30 de septiembre al
3 de octubre 2025

Marriott Panama Hotel
Albrook Mall
Ciudad de Panamá

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología

APANAC 2025

40 años de ciencias y tecnología

ACTA DE ARTÍCULOS

GOBIERNO NACIONAL
CON PASO FIRME

SENACYT
Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación

APANAC
Asociación Panameña para el avance de la ciencia

Proceeding del Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología - APANAC 2025

Editores: Ariel Magallón Tejada
Marissa Talavera

Publicado por: Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia (APANAC)

Publicado en: Sitio Web de Publicaciones del Congreso APANAC

Obra bajo Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Descargo de responsabilidad
La responsabilidad de las opiniones expresadas en los artículos y otras contribuciones en esta publicación recae únicamente en sus autores, esta publicación no constituye un respaldo por parte del XIX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología - APANAC 2025 de las opiniones expresadas en ellos.

Tabla de Contenido

XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Panamá APANAC 2025 VIII

Comité Organizador del Congreso IX

Comité Científico Asesor por Área Temática X

Evaluadores XII

Instituciones XV

Palabras de Bienvenida del Presidente de APANAC XVI

Palabras de Bienvenida del Presidente del Congreso APANAC 2025 XVII

Miembros de la Junta Directiva de APANAC XVIII

Trabajos Completos 70

EXPLORANDO EL POTENCIAL DE STEAM EN LA ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA: ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN ACCIÓNEN UN COLEGIO OFICIAL DE PANAMÁ OESTE 71

Evaluación del Estado Ambiental de la Subcuenca del Río Curundú mediante la Aplicación Integrada de los Índices de Calidad del Agua y de Hábitat 77

Estudios de redistribución de suelo en la microcuenca de la quebrada La Zanguenga (Canal de Panamá) utilizando métodos convencionales y modelos de conversión 84

Estudio sobre la redistribución del suelo en la cuenca del Canal de Panamá utilizando metodologías FRN y CSSI 91

Calibración de medida materializada de longitud en el Laboratorio Secundario de Interferometría del CENAMEP AIP 98

Valorización del uso de agua residual tratada para elaboración de hormigón 108

Avances en la Implementación del Servicio de Sincronización al UTC(CNMP) por NTP de Manera Segura 116

Cálculo de periodos de retorno de crecidas máximas en ríos de Panamá y su aplicación con la herramienta ArcGIS 123

Diseño del marco externo de una máquina de pesos muertos de 10 kN en el CENAMEP AIP 128

La dramatización como herramienta didáctica para la adquisición de aprendizaje significativo en alumnos de noveno nivel del colegio José Santos Puga en Panamá 136

El sentido político y ético de la práctica docente universitaria frente a los desafíos epistémicos en contextos de crisis y posmodernidad 142

Caracterización de parámetros fisicoquímicos y su relación con los servicios ecosistémicos en un estuario tropical durante la temporada seca 148

COMPARACIÓN EDAFOLÓGICA ENTRE SUELOS TROPICALES Y TEMPLADOS: ESTUDIO DE FINCAS CAFETALERAS PANAMEÑAS Y SISTEMAS AGRÍCOLAS EN VORÓNEZH, RUSIA 155

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo como herramienta predictiva de la calidad en café de especialidad: Panama Geisha 161

Substratos en Humedales Artificiales Subsuperficiales: Estado del Arte de su Caracterización Hidráulica y Fisicoquímica 167

Implementación de Estrategias Logísticas y Tecnológicas para el Almacenamiento y Distribución del Cacao: Caso CEDI de COCABO R.L. 175

Influencia de El Niño de 2023-2024 en las características hidrológicas de un estuario tropical 181

Metodología estratégica para levantamientos geológicos extensivos: caso de estudio en la Región Central de Panamá.. 190

Sistema de información geográfica como peritaje en los delitos de vertidos de sustancias tóxicas en áreas protegidas... 198

Formulación de Protectores Solares, Validación de su Metodología Analítica y Determinación del Factor de Protección

Solar (FPS) 205

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD: UN CASO DE ESTUDIO EN LA DISTRIBUCIÓN DEL QUETZAL RESPLANDECIENTE 212

Hacia una movilidad inteligente: diagnóstico y solución tecnológica para el transporte público en Santiago de Veraguas 219

Desempeño de cimientos superficiales aislados en suelos colapsables bajo la acción de cargas excéntricas 227

Bacterias heterótrofas marinas: estrategias de vida, ecología y utilidad como bioindicadores en un ambiente cambiante 235

Modelación de Alternativas para la Mejora de la Seguridad Vial en Intersecciones Críticas en David 243

ANÁLISIS ESPACIAL DE ZONAS CRÍTICAS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN PANAMÁ POR CORREGIMIENTO 250

Caracterización del comportamiento de los conductores y peatones ante un cruce peatonal en David 258

Desarrollo metodológico de un sistema de monitoreo IoT-ML para la red de acueducto de Los Santos, Panamá 266

Reservas de carbono azul en sedimentos costeros: implicaciones para la mitigación del cambio climático 272

ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL EN ESCUELAS RURALES DE COCLÉ, PANAMÁ, MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES AÉREAS 279

Evaluación de la DBO y la DQO como Indicadores de Eficiencia en el Tratamiento de Aguas Residuales de la PTAR Juan Díaz y su Relación con la Generación Potencial de Gases de Efecto Invernadero (2020–2024) 286

URBANIZACIÓN, CAMBIO CLIMÁTICO E INUNDACIONES: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR DE LA CUENCA DEL RÍO JUAN DÍAZ 293

CALIDAD DEL AGUA COSTERA EN EL PACÍFICO DE PANAMÁ: TENDENCIAS ENTRE 2016-2024 303

Impacto y Tendencias para la Optimización del Nearshoring en la Cadena de Suministro de Autopartes para Vehículos Eléctricos 312

SENTIBOX: Marco Híbrido para Detección de Bots en X 320

Estimación del Tiempo de Permanencia Portuaria mediante el Aprendizaje Automático: Un Análisis Basado en Datos AIS para la Competitividad de los Puertos de Panamá 331

Propuesta de modelado numérico en la cinética de reacciones de distinto orden 338

PERCEPCIÓN CIUDADANA SOBRE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES Y LA ACCESIBILIDAD TERRITORIAL EN EL DISTRITO DE DAVID 345

Técnicas de Regresión e Interpolación Aplicadas a la Metrología 354

Evaluación del impacto de los hábitos alimentarios en la salud y el bienestar de los profesionales de la salud en la Ciudad de Panamá, 2025: Protocolo de investigación 363

Analysis of the impact of emerging technologies and Fab Labs on higher education 370

MESA REDONDA SOBRE EL CAMBIO DE PARADIGMA DENTRO DE LAS CIENCIAS DEL CONOCIMIENTO Y SU IMPORTANCIA PRACTICA EN LAS CIENCIAS JURIDICAS Y SOCIALES 378

Sistema de visualización exacta en la medición de trazos en cintas métricas 386

Automatización del sistema de ajuste del menisco en instrumentos volumétricos de vidrio en el CENAMEP AIP 393

Medición de las tasas de infiltración en los suelos de la microcuenca de la quebrada La Zanguenga (Canal de Panamá) 400

Caracterización de Mediciones al Femtosegundo en el Análisis de Patrones Atómicos 407

Estado de la Detección de Interferencias en el Arreglo de Antenas GNSS del CENAMEP AIP 414

Hallazgos en la Enseñanza de la Metrología: Un Análisis de 10 Años 421

EVALUACIÓN DE LA CIBERSEGURIDAD EN LA METROLOGÍA: ANALIZANDO LA RESILIENCIA ANTE AMENAZAS DIGITALES 428

¿ERES MI COMPAÑERO DE COLONIA? 434

Experiencia basada en compañeros de nido en obreras de Atta colombica 434

Punto del hielo para el seguimiento de termómetros: análisis comparativo de su realización utilizando agua destilada, filtrada y de grifo 441

Diseño y Construcción de un Sistema Portátil para la Verificación en Sitio de Medidores de Energía Eléctrica a Nivel Residencial 448

Evaluación tecnoeconómica de un Ciclo Rankine Orgánico para el aprovechamiento de energía térmica residual. 455

Comparación de los valores de humedad relativa obtenidos por el método de dos presiones vs temperatura de punto de rocío 462

Nuevas capacidades en par torsional en Panamá 469

Verificación del Apantallamiento de una Cámara Anecoica de Radiofrecuencia de Tipo Tolda 476

Solis Betancur, Raúl Fernando 476

Avances en la calibración de fuentes de referencia de potencia de radiofrecuencia 483

Percepción del Impacto sobre la Salud y Bienestar Cognitivo y Físico de un Programa de Intervenciones en Personas Mayores en la Ciudad de Panamá 491

EVALUACIÓN DE LA DUREZA COMO INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA EN EL DISTRITO DE TONOSÍ, PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ 499

Estrategias de construcción para abordar la resiliencia frente al cambio climático: estructuras verdes, grises e híbridas 507

Investigating the presence of yeast in ensiled Multispecies and Perennial Ryegrass – White Clover Grasses using PCR ... 515

Resultados de un programa piloto de intervención multidominio para promover la salud cognitiva, física y emocional en adultos mayores en Panamá 523

Evaluación de la conducta suicida en población de 18 a 50 años de edad, provincia de Chiriquí, Panamá: reporte preliminar 532

Asociación entre la realización de actividades deportivas y las capacidades cognitivas en jóvenes en situación de vulnerabilidad social en la Ciudad de Panamá en el 2024 538

Una Propuesta para la Creación de un Mediador Artificial en el Marco de la Justicia Comunitaria 547

Desarrollo de un Permeámetro de Carga Constante para la Evaluación de la Conductividad Hidráulica en Agregados de Capa Base 553

Aislamiento y caracterización de cepas de Pseudomonas aeruginosa y Acinetobacter baumannii multirresistentes a antimicrobianos a partir de aguas residuales de efluentes hospitalarios y de la PTAR de la Ciudad de Panamá. 561

UNA METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE LOS VIRUS ENDÉMICOS, EMERGENTES Y DE POTENCIAL EMERGENCIA EN LA REGIÓN DE COCLÉ DEL NORTE 570

Estimación del perfil de velocidad de onda cortante en suelos residuales de Panamá mediante correlaciones con ensayo de penetración estándar 576

Arqueosub Portobelo. Modelo para la implementación de cartas arqueológicas subacuáticas en América Central. Caso de Estudio Bahía de Portobelo 583

Desarrollo de un modelo hidrogeológico conceptual, utilizando hidrología isotópica y variables hidroquímicas para la cuenca del río La Villa, Panamá 590

La Bioinspiración como Camino hacia la Innovación Tecnológica 597

Red de Tiempo y Frecuencia del SIM: Aplicación de la Diplomacia Científica en la Metrología y su Resultado en Panamá 605

Análisis de calidad de jarabes herbarios pediátricos mediante cromatografía de gases acoplado a un detector FID 612

Sustainable Practices for Farming Around Forests 620

Caracterización Metrológica Integral de un Sistema Portátil de Microondas para la Inhibición del Crecimiento del Parásito de la Malaria desarrollado en Panamá.....626

Workshop Report
EMAS-IA: Enseñanza de la Matemática Aplicada y Sostenible con Inteligencia Artificial.....633

El A-B-C de la investigación en neurociencias del envejecimiento del PARI-HD.....648

XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Panamá APANAC 2025

El Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Panamá, organizado por la Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia (APANAC), se prepara para celebrar en 2025 su vigésima edición, consolidándose como el evento emblemático que impulsa la investigación y el desarrollo científico en el país desde 1995.

En las últimas décadas, Panamá ha experimentado un crecimiento sostenido en ciencia, tecnología e innovación, reflejado en el aumento de investigadores capacitados, la expansión de la producción científica y el desarrollo de nuevas tecnologías desde universidades, institutos nacionales y centros de investigación a nivel nacional.

El XX Congreso APANAC 2025 se proyecta como un foro clave para promover el intercambio de conocimientos y destacar el trabajo de las instituciones científicas panameñas. Reunirá a investigadores, empresarios, estudiantes, miembros de la sociedad civil y ciudadanos interesados en el avance de la ciencia y la tecnología. Contará con el apoyo de patrocinadores, instituciones líderes y asociaciones comprometidas con la excelencia científica.

Este congreso será especialmente significativo, ya que coincide con el 40 aniversario de APANAC, conmemorando bajo el lema: “Cuatro décadas de impacto global y excelencia científica en Panamá”. Su programa incluirá presentaciones, conferencias magistrales, talleres, mesas redondas y actividades de divulgación, con la participación de conferencistas nacionales e internacionales en diversas áreas temáticas.

Las áreas del congreso abarcarán ambiente y cambio climático, biodiversidad, biotecnología, ciencias agropecuarias, salud, ciencias sociales y educativas, así como innovación y tecnologías de la información y la comunicación, entre otras. Para ello, se ha conformado un Comité Organizador y un Comité Científico Asesor con representantes de diversas instituciones públicas y privadas, responsables de la evaluación de resúmenes, la selección de conferencias y el diseño de la agenda académica.

El XX Congreso APANAC 2025 busca fomentar alianzas estratégicas, visibilizar la ciencia panameña en el ámbito internacional, promover la transferencia de conocimiento científico-tecnológico y motivar la participación de estudiantes. Su impacto alcanzará a investigadores, instituciones educativas, empresas, entidades gubernamentales y a la sociedad en general, contribuyendo al desarrollo sostenible y tecnológico del país.

Dr. Ariel Magallón-Tejada, Presidente del Congreso
Marissa Talavera, Vicepresidenta

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

Comité Organizador del Congreso

Presidente
Ariel Magallón-Tejada, ICGES

Vicepresidenta
Marissa Talavera, ITSE

Secretaria
Gissel Guerra, UTP

Dir. Comité Científico Asesor
Ariel Magallón-Tejada, ICGES
Bruno Zachrisson, IDIAP

Dir. Comité Financiero
Dr. Humberto Álvarez, UTP
José Fábrega, UTP
Iris Arjona, UTP

Dir. Comité de Comunicaciones y Redes Sociales
Rella Rosenshain, SENACYT
Nichol Sánchez, UTP
Ana Lorena González, ICGES
Melissa Adames, SENACYT

Dir. Comité de Gestión y Logística
José Fábrega, UTP
Elsa Flores, UTP
Mairim Solis, ICGES

Dir. Comité de Patrocinio
Luisa Morales, UP

Dir. Comité de Premiación
Javier Sánchez Galán, UTP
Mairim Solis, ICGES

Dir. Comité de Registro del Congreso
Luisa Morales, UP

Comité Científico Asesor por Área Temática

1. Ciencias de la Sostenibilidad y el Medio Ambiente

Gissel Guerra Saval (UTP)
Anette Sarmiento (UTP)
Paola Gómez (STRI)

2. Ciencias Naturales y Exactas

Anakena Castillo (ICGES)
Anayansi Valderrama (ICGES)
Lorena Coronado (INDICASAT)
Abel Batista (UNACHI)
Oris Rodriguez (UP)
Tatiana Salgado (UTP)
Griselda Arteaga (UP)

3. Ciencias de la Ingeniería y Tecnologías

Javier Sanchez-Galán (UTP)
Maria Ortega Del Rosario (UTP)
Edwin Segura (ITSE)
Alberto Alonzo (UTP)

4. Ciencias de la Salud y Biomedicina

Argentina Ying (UP)
Amador Goodridge (INDICASAT)
Leyda Ábrego (ICGES)
Chystrie Rigg (ICGES)
Sandra Lopez-Verges (ICGES)
Rosa De Jesus (INDICASAT)

5. Ciencias Agrícolas y Alimentarias

Bruno Zachrisson (IDIAP)

Comité Científico Asesor por Área Temática

6. Ciencias Sociales, Jurídicas, Humanísticas y de la Educación

Marissa Montesano (ITSE)
Aura López (CIEDU)
Beatrice Di Biase (UP)
Marixa Lasso (CIHAC AIP)
Nadia De Leon Porter (Consultora e Investigadora en Ciencias Sociales y Educación)

7. Ciencias Interdisciplinarias y Temáticas Emergentes

Norma Miller (UTP)
Luisa Morales Maure (UP)

Evaluadores

Abel Batista (UNACHI)
Alberto Alonzo Christopher (UTP)
Alexander Augusto Martinez Caballero (ICGES)
Alexander Esquivel (UTP)
Alexander Gonzalez (UTP)
Alexis Mojica (UTP)
Alfredo Campos (UTP)
Alonso Santos Murgas (UP)
Ana Franco (UTP)
Anakena Castillo (ICGES)
Aneth Sarmiento (UTP)
Angie Estrada (Parque Summit)
Anibal Fossatti Carrillo (UTP)
Antonio Jaén Ortega (Ghent University)
Antony Garcia (UTP)
Argentina Ying (CIEDU-UP)
Ariel Grey (UTP)
Ariel Magallon-Tejada (ICGES)
Aura López de Ramos (CIEDU)
Aydeé Cornejo (ICGES)
Azael Saldaña (UP)
Beatrice Di Biase (UP)
Belka Bonnett (UIP)
Bruno Zachrisson (IDIAP)
Carlos Alberto Donado Morcillo (INDICASAT)
Carlos Boya (ITSE)
Chystrie Rigg (ICGES)
Davis Beltran (ICGES)
Dayra Álvarez (UP)
Delfina D'Alfonso (CIEDU)
Diana Berrocal (UTP)
Diana Oviedo (UTP)

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

Evaluadores

Edson Galagarza (UTP)
Ender Enrique Carrasquero Carrasquero
Fernando Arias (UTP)
Fernando Merchan (UTP)
Gabriel Fuentes (NHH)
Gabriela Alberola
Gisselle Guerra (UTP)
Gustavo Quintero (UTP)
Héctor Poveda (UTP)
Jaime Gonzalez Gonzalez (UTP)
Javier Lloyd (UTP)
Javier Sanchez Galan (UTP)
Jessie Abrego Bonilla (University of Arkansas)
José Antonio Suarez (InfectoTropico)
José Calzada (ICGES)
José Carlos Rangel (UTP)
Jose Causadias (Arizona State University)
Jose Fabrega (UTP)
José González Santamaría (ICGES)
José Ulises Jiménez (UTP)
Kadir Gonzalez (ICGES)
Kathia Broce (UTP)
Khristel Rodríguez (UTP)
Leyda Ábrego (CRIVB)
Lorena Coronado (INDICASAT)
Lucas Calvo (UTP)
Luisa Morales (UP)
Luiyiana Perez (UTP)
Mairim Solis (ICGES)
Marcos J. Ramos (UTP)
Maria De Los Angeles Ortega Del Rosario (UTP)
Mario Pimentel (Neuropsyedu)

Evaluadores

Marisa Montesano (ITSE)
Marixa Lasso (CIHAC)
Mauricio Hooper (UTP)
Miguel Chen Austin (UTP)
Miguel Salceda (UTP)
Moisés Bernal (Auburn University)
Nadia De León (CIEDU)
Nathalia Tejedor (UTP)
Norma Miller (UTP)
Omar Lopez (IAI for Global change)
Oris Rodriguez (UP)
Oscar Carlos Medina
Oscar Garibaldi (UTP)
Reinhardt Pinzon (UTP)
Rosa De Jesus (INDICASAT)
Sandra Lopez Verges (ICGES)
Tatiana Salgado (UTP)
Ubaldo Ábrego-Delgado (UTP)
Vasco Duke (UTP)
Victoria Saavedra (CENAMEP)
Yazmín Mack-Vergara (UTP)
Yostin Añino (UP)
Yuly Esteves (UPEL)

Instituciones

Arizona State University
Auburn University
CENAMEP: Centro Nacional de Metrología de Panamá
CIEDU: Centro de Investigación Educativa de Panamá
CIHAC: Centro de Investigaciones Históricas, Antropológicas y Culturales
Ghent University
IAI for Global change
ICGES: Instituto Conemorativo Gorgas de Estudios de la Salud
IDIAP: Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá
INDICASAT: Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología
InfectoTropico
ITSE: Instituto Técnico Superior Especializado
Neuropsyedu
NHH: Norwegian School of Economics
Parque Summit
UIP: Universidad Interamericana de Panamá
UNACHI: Universidad Autónoma de Chiriquí
UPEL: Universidad Pedagógica Experimental Libertador
University of Arkansas
UP: Universidad de Panamá
UTP: Universidad Tecnológica de Panamá

Palabras de Bienvenida del Presidente de APANAC

En el marco del cuadragésimo aniversario de la Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia (APANAC), presentamos con gran satisfacción este Libro de Resúmenes del XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Esta edición no solo recoge la producción científica que será discutida en nuestras jornadas, sino que también representa cuatro décadas de compromiso sostenido con el fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación en Panamá.

El Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de APANAC se ha consolidado, desde su primera edición, como el espacio más amplio de encuentro de la comunidad científica nacional, abierto también a la participación de investigadores internacionales. Aquí convergen estudiantes, docentes, investigadores, tomadores de decisiones y actores del sector productivo, unidos por la convicción de que el conocimiento científico es un motor indispensable para el desarrollo humano y sostenible.

El 40º aniversario de APANAC nos invita a reflexionar sobre la trayectoria recorrida y a proyectarnos hacia el futuro. En estas páginas se plasma la diversidad de temas y enfoques que caracterizan a la ciencia panameña contemporánea: desde las ciencias básicas y aplicadas hasta las humanidades y ciencias sociales, pasando por los grandes retos globales que exigen respuestas inter y transdisciplinarias.

La publicación de este Libro de Resúmenes tiene un doble propósito: servir como testimonio del dinamismo de nuestra comunidad científica y ofrecer un recurso de consulta que promueva el intercambio de ideas y la generación de nuevas colaboraciones. Cada resumen aquí incluido es una contribución al diálogo que fortalece la red de conocimiento en beneficio del país y de la región.

A nombre de APANAC, expresamos nuestro reconocimiento a todos los investigadores que han compartido sus trabajos, a las instituciones que apoyan este esfuerzo y a los voluntarios y organizadores que han hecho posible la realización de este Congreso. Confiamos en que este compendio inspire nuevas investigaciones, motive a las futuras generaciones de científicos y reafirme el valor de la ciencia como pilar del desarrollo nacional.

José R. Fábrega Duque, PhD.
Presidente de APANAC

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

Palabras de Bienvenida del Presidente del Congreso APANAC 2025

El primer sentimiento que siente mi corazón es el de gratitud. Gratitud a cada uno de ustedes por su valiosa presencia en este XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología, porque sin su participación este evento no tendría razón de ser. También extiendo un reconocimiento sincero a quienes me han precedido en el camino que hoy transitamos juntos, pues como dijo Newton: "Si he podido ver más allá es porque me encaramé a hombros de gigantes".

Durante los meses de preparación, he tenido el privilegio de compartir esta responsabilidad con distinguidos colegas de la comunidad científica, la Junta Directiva y el Comité Organizador de APANAC, con quienes hemos trabajado intensamente para que este Congreso sea un verdadero espacio de encuentro, reflexión y construcción colectiva.

Quiero dedicar de manera especial esta vigésima edición al Profesor Luis D'Croz, quien en vida fue un referente de nuestra comunidad, desempeñándose como presidente de congresos APANAC y de la Junta Directiva de APANAC. Su legado de liderazgo y compromiso con el avance científico de Panamá me inspiró, y a muchos nos sigue inspirando para continuar forjando una cultura de ciencia sólida y con visión de futuro. Como decía el Prof D'Croz, el Congreso APANAC es más que un evento académico: es una manera de hacer ciencia en comunidad, de sembrar conocimiento, de abrir caminos a la innovación y de tender puentes entre generaciones. Para nuestros jóvenes estudiantes, esta es una oportunidad única de escuchar, aprender, dialogar y descubrir que la ciencia no solo se estudia, sino que se vive, se comparte y se construye colectivamente. Ustedes son el presente y el futuro de nuestra sociedad, y espacios como este buscan fortalecer sus vocaciones y despertar nuevas pasiones.

Con el lema "Cuatro Décadas de Impacto Global y Excelencia Científica en Panamá", hemos querido reflejar ese camino, esa trayectoria de tantos Profesionales que empezaron con ímpetu a forjar la ciencia en el país, logrando grandes avances.

En esta versión XX, además, damos continuidad a ese camino resaltando la riqueza de las disciplinas y el compromiso de trabajar en equipo por un país que reconoce en la ciencia y la tecnología motores de desarrollo sostenible, inclusivo y de calidad para Panamá.
Sean todos bienvenidos a este XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología APANAC 2025. Que sea esta una experiencia transformadora, que nos inspire a seguir soñando, investigando y creando juntos el Panamá que queremos.

Dr. Ariel Magallón-Tejada
Presidente del Congreso APANAC 2025

Miembros de la Junta Directiva de APANAC

Presidente
Dr. José Fábrega

Vicepresidente
Dra. Mairim Alexandra Solís

Tesorero
Dr. Humberto Álvarez

Secretario
Dra. Javier Sánchez Galán

Director de Programas
Dr. Bruno Zachrisson

Directora de Admisión
Dra. Luisa Morales

Directora de Divulgación
Dra. Luiyiana del Carmen Pérez

01- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R005	Eyleen Heleen Montero Romero	Evaluación del Impacto de los Hábitos Alimentarios en la Salud y Bienestar de los Profesionales de la Salud en la Ciudad de Panamá, 2025.
R006	Raisa Urribarri	MEDIOS DE COMUNICACIÓN Y CANDIDATURAS INDEPENDIENTES: ¿PUNTOS DE FUGA EN PANAMÁ?
R007	María de La Luz Caballero Serapio, Juan Gabriel Rodriguez Ortiz, Jesús Hazael García Gallegos, Rubén Espinoza Castro & Louis Felipe Meziat Castro	SISTEMA DIGITAL MEDIANTE TECNOLOGIA ARDUINO® PARA LA MEDICION DE VARIABLES ATMOSFERICAS
R008	David Fernando Balaguera Quinche	LOS BIOMODELOS DIDÁCTICOS EN LA ENSEÑANZA DE LA FISIOLOGÍA MÉDICA VETERINARIA
R010	Mario Quijada, Anna Vicco, Ilaria Dorigatti, Reina Roa, Fulvia Bajura, Lizbeth Cerezo, Lourdes Moreno & Daniel Laydon	EPIDEMIOLOGY & SPATIOTEMPORAL DYNAMIC OF DENGUE IN PANAMA FROM 2000 TO 2024
R015	Daysi Noemí Jackson Tapia, Nelson Mendoza & Nitzie Arauz	EXPLORANDO EL POTENCIAL DE STEAM EN LA ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA: ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN EN UN COLEGIO OFICIAL DE PANAMÁ OESTE
R016	Nila Navarro	EcoCampus UNIBERO: Análisis de prácticas ambientales y propuesta de una solución inteligente para la gestión de residuos
R019	Haydee Osorio-Ugarte & Annette Sáenz	Evaluación del Estado Ambiental de la Subcuenca del Río Curundú mediante la Aplicación Integrada de los Índices de Calidad del Agua y de Hábitat
R020	Víctor Castro, Moisés Lima & Gisselle Guerra-Chanis	DESARROLLO DE UN PLAN DE MONITOREO DE EROSIÓN COSTERA MEDIANTE MEDICIONES IN SITU E IMÁGENES SATELITALES
R021	Stephanie Arango & Gisselle Guerra-Chanis	IMPACTO DEL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR EN LA ECONOMÍA PORTUARIA DE BAHIA DE PARITA
R023	Axel Villalobos Cortes, Ana Flores De León & Marcelinno Jaen	COMPARACIÓN MORFOMÉTRICA Y CLASIFICACIÓN DIGITAL DE RAZAS GUAYMÍ Y GUABALÁ MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO
R024	Sergio Cortes, Karina Otero, Nicole De León & Benito Delgado	Nivel de autoestima en estudiantes de primer ingreso en la Licenciatura en Psicología de una universidad privada en Ciudad de Panamá, periodo A-2025.
R026	Jeremy Pomare, Jimena Juri Ayub, Manuel Arcia & Alexander Esquivel-Lopez	Estudios de redistribución de suelo en la microcuenca de la quebrada La Zanguenga (Canal de Panamá) utilizando métodos convencionales y modelos de conversión

02- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R027	Ana Saavedra, Shantale Gómez, Jimena Juri Ayub, José Luis Peralta, Xavier Sánchez, Isaías Flores & Alexander Esquivel	Estudios sobre la redistribución del suelo en la cuenca del Canal de Panamá utilizando metodologías FRN y CSSI.
R029	Katherine Quezada & Edwin Aizpurua	CALIBRACIÓN DE MEDIDA MATERIALIZADA DE LONGITUD EN EL LABORATORIO SECUNDARIO DE INTERFEROMETRÍA DEL CENAMEP AIP
R030	Nadine Caicedo, Ana Scott, Euclides Deago, José Sánchez & Jesús Villar	Valorización del uso de agua residual tratada para elaboración de hormigón
R031	Luisa F Echeverría-King, Daniela Moreno Garcia, Branislav Pantovic & Kleinsy Bonilla	La diáspora científica venezolana: potencialidades de colaboración y vinculación para el desarrollo de ecosistemas científicos en la región de América Latina y el Caribe
R032	Raul Fernando Solis Betancur	AVANCES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO DE SINCRONIZACIÓN AL UTC(CNMP) POR NTP DE MANERA SEGURA
R040	Elsa Isabel Montenegro	JUNTAS DE CONCILIACIÓN Y DECISIÓN PARA LA RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS LABORALES INDIVIDUALES EN PANAMÁ A CINCO DÉCADAS DE SU CREACIÓN
R042	Mariana Leon, Nadia De Leon, Luz Caballero, María Alejandra Quintero, Ricardo Acosta, Elías De León, Laura Villarreal, Maria Beatriz Fernández & Carmen Montecinos	¿QUÉ APRENDEN LOS FUTUROS MAESTROS? UN ANÁLISIS CURRICULAR DE PROGRAMS DE FORMACIÓN INICIAL DOCENTE A TRAVÉS DEL MARCO TPACK
R043	Mariana Leon, Nadia De Leon, Elías De León, Laura Villarreal, Luz Caballero, Ricardo Acosta, María Alejandra Quintero, Carmen Montecinos & Maria Beatriz Fernández	DE LA PROGRAMACIÓN ANALÍTICA AL ESTÁNDAR: MAPEO DE LA FORMACIÓN INICIAL DOCENTE EN PANAMÁ SEGÚN EL REFERENTE CHILENO
R046	Anthony A. Hurtado Escobar, Guido Esquivel & Lorena Jerez	Transformación digital en implantología para la optimización de los procesos clínicos
R050	Sherlenys Vega & Alexander Esquivel	Cálculo de los periodos de retorno de crecidas máximas en ríos de Panamá y su aplicación con la herramienta ArcGIS desde el IMHPA
R051	Edgardo I. Garrido-Pérez, Narciso Mali-Mali Bastidas & Sara C. Justo	COIBA: LECCIONES DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EMANADAS DE LA CÁRCEL.
R053	Reynaldo Jorge-Rodríguez & Gisselle Guerra-Chanis	Modelling Coastal & Fluvial Processes in Parita Bay, Panama, with the IBER 2D Model
R055	Victoria Yovana Saavedra & José Eliezer Kuruc	DESARROLLO DE CAPACIDADES METROLÓGICAS EN FUERZA PARA CUBRIR NECESIDADES DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y PRODUCCIÓN EN PANAMÁ
R056	Jacqueline de Los Ángeles Pérez Camacho, Zulia Bárcena Fonseca, María Tomasa González Echevarria & Yohanis de la Torre Galiano	DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN SITIOS CONSERVADO Y AFECTADOS POR EL USO DEL SUELO EN SAN UBALDO-SABANALAMAR (PINAR DEL RÍO, CUBA)

03- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R058	Migdalia Bustamante, Víctor Álvarez, Regina Carranza & José Rogelio Fung Corro	Inteligencia Artificial, Ética y Desarrollo Educativo
R059	José Rogelio Fung Corro, Eric Magdiel Abrego Santana, Indira Carrasquilla & Mitzy Monterrey	Prototipo de aplicación móvil para prevenir riesgo cardiovascular en adultos mayores
R061	José Rogelio Fung Corro, Alexis De La Cruz Lombardo & Mitzy Marín	Redes Atencionales y Técnicas de Atención Plena en la Enseñanza del Idioma Inglés en Panamá Oeste
R065	Devaki Ahir & Virginia Torres-Lista	INDICADORES PSICOSOCIALES QUE CONTRIBUYEN EN LA NORMALIZACIÓN DE LA VIOLENCIA HACIA LAS MUJERES EN PANAMÁ
R066	Isaac Araúz & Virginia Torres-Lista	Perspectiva del Femicidio en Panamá. Estrategias de Prevención a nivel territorial.
R069	Helen Saray Herrera Soberon & Jose Rogelio Fung Corro	PLATAFORMA PARA LA OPTIMIZACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL CUIDADO DE ENFERMERÍA EN PEDIATRÍA Y NEONATOLOGÍA
R072	Ana López, Edward González, Guillermo López & Maria De Los Angeles Ortega Del Rosario	Aero-Structural Analysis of an H-Rotor VAWT Wind Turbine Using CFD for Micro-Scale Electricity Generation in Remote Communities of Panama
R078	Sergio I. Martinez-Luis	EFECTO INHIBITORIO DE EXTRACTOS DE HONGOS ENDÓFITOS DE PLANTAS MANGLAR EN LA FUNCIÓN DE ALFA GLUCOSIDASA
R079	Sergio I. Martinez-Luis	IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA AVANZADA PARA EL ESTUDIO METABOLÓMICO DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN PLANTAS PANAMEÑAS
R080	Lilia Chérigo Rodríguez & Sergio I. Martínez Luis	AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE INHIBIDORES DE LA ALFA-GLUCOSIDASA DE LA PLANTA DE MANGLAR PANAMEÑA MORA OLEIFERA (TRIANA EX HEMSL.) DUCKE.
R081	Eduardo Zamorano	La dramatización como herramienta didáctica para la adquisición de aprendizaje significativo en alumnos de noveno nivel del colegio José Santos Puga en Panamá
R082	Ivan Bonilla, Romas Lescure, Cristian Moreno, Nichol Sánchez, Yanela Medina, Abdiel Ostia, Carlos Medina, Luis Mendoza & Huriviades Calderon	Towards a research output data visualization tool, case study Universidad Tecnológica de Panamá
R083	Juan Fernández & Sergio I. Martínez Luis	EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN Y LA ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES DE DIVERSAS VARIEDADES DE CAFÉ.
R088	Gladys Edith Cedeño Arboleda, Raúl Jacobo Delgado Macuil, María del Consuelo Gómez Garcia, Carlos Edmundo Aguilar Pérez, Salvador Peréz-Mora & David Guillermo Pérez Ishiwara	Biosensor óptico para la detección de miRNAs en muestras de orina y tejido prostático: una herramienta de innovación para el diagnostico no invasivo del cáncer de próstata
R095	Lorenzo Cáceres Carrera, Luis Piedra, Rolando Torres Cosme, Anakena Castillo, Antonio Bruno, José Luis Ramírez, Dan Martínez, María Magdalena Rodríguez & Juan Bisset	Estado de la resistencia a insecticidas en larvas de Aedes aegypti y Aedes albopictus de Panamá

04- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R096	Abel Batista & Michelle Quiroz	Status & conservation of the Atelopus spp. (Amphibia:Anura) from Eastern Panama
R102	Idulfo Arrocha, Raimund Burger, María Nazareth Gómez & Yolanda Vásquez	Simulación de la dispersión de bacterias promotoras de crecimiento vegetal en la rizósfera.
R104	Victoria Atencio, Carla Fernández, Digna Rodríguez, Anyi Tuñon, Dan Martínez, Hermes Santos, Mileyka Santos, Rolando Torres, Lorenzo Cáceres, Claudia Pérez, Anayansi Valderrama, Luis F. De León & Anakena M. Castillo	Depredadores acuáticos como aliados naturales en el control de vectores: un enfoque combinado de muestreo ecológico, NGS, y experimentos en mesocosmos
R105	Omar Bonilla Arza & J. Daniel Sánchez Miller	Mejoras a la Capacidad Operacional del Aeropuerto Internacional de Tocumen a base de Aproximaciones Paralelas
R106	Samuel Robles	Rompiendo el alba: el papel de la música militar francesa en el proceso de construcción de identidad en el Panamá republicano
R109	Sandra Lopez-Verges, Courtney Cohen, Jean Paul Carrera, Josefrancisco Galue, Davis Beltran, Rita Corrales, Luis Felipe Rivera, Zumara Chaverra, Michelle Rock, Megan Ha, Darrell Wetzel, Dafna Abelson, Larry Zietlin, John Dye, Juan Miguel Pascale & Andrew Herbert	Los sobrevivientes del virus de la encefalitis equina venezolana y del virus Madariaga tienen una respuesta inmune de memoria humoral y celular balanciada
R111	Manuel Montero Lora	Usos, percepciones y desafíos de la inteligencia artificial generativa en la educación superior dominicana
R114	Ricardo Moreno, J. Antonio De la Torre, Natalia Young, Josué Ortega, Arturo Puertes & Roland Kays	USO DEL ESPACIO POR JAGUARES EN UN PAISAJE MIXTO DE DARIÉN, PANAMÁ
R115	Andrea Polanco, Ildemán Abrego & Gricelda Bethancourt	INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA EN LAS PROPIEDADES SENSORAS DE NANOTUBOS DE SnO2
R117	Humberto Ortega, Hermógenes Fernández-Marín, Carmenza Spadafora & Nivia Ríos	MOLÉCULAS BIOACTIVAS PRODUCIDAS POR MICROORGANISMOS SIMBIONTES DE HORMIGAS ATTINI
R121	Surhay Monterrey, Kevin González, Martin Candanedo & Viccelda Dominguez	METODOLOGÍA QUE UTILIZA SIG PARA LA IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS CASO DE ESTUDIO: MUNICIPIOS DE PANAMÁ Y SAN MIGUELITO
R123	Clifton Clunie, Sucel López, Elida Gonzalez & Yazmina Villarreal	ACTITUDES Y COMPETENCIAS EN PENSAMIENTO COMPUTACIONAL: EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE INFORMÁTICA
R125	Josefrancisco Galué, Rolando Torres-Cosme, Carlos Lezcano-Coba, Zeuz Capitan-Barrios, Rafael Samudio, Lorenzo Cáceres Carrera & Jean-Paul Carrera	Perspectivas ecológicas de los virus de la Encefalitis Equina Venezolana y Madariaga: Seroprevalencia en pequeños mamíferos y ensamblajes de comunidades de mosquitos en dos regiones endémicas de Panamá

05- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R128	Sucel López-Hernández	INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR DE AMÉRICA LATINA: UN ANÁLISIS DESDE PANAMÁ
R129	Lisberh Del Carmen Ng Corrales & Mario Enrique Hernandez	Analysis of the impact of emerging technologies & Fab Labs on higher education
R130	Aura Franco Gutierrez, Sebastián Reyes Alvarado & Gustavo Mizraim González Rodríguez	EL SENTIDO POLÍTICO Y ÉTICO DE LA PRÁCTICA DOCENTE UNIVERSITARIO FRENTE A LOS DESAFÍOS EPISTÉMICOS EN CONTEXTOS DE CRISIS Y POSMODERNIDAD
R133	Oris Rodriguez Reyes	NUEVAS EXPLORACIONES DE LOS BOSQUES MÁS ANTIGUOS DE PANAMÁ
R136	Valerie Ramos-Esquivel, Kathia Broce & Carlos Vergara-Chen	Caracterización de parámetros fisicoquímicos y su relación con los servicios ecosistémicos en un estuario tropical durante la temporada seca
R140	José Carlos Castillo Marciaga & Delia Barrios Barrios	Inteligencia emocional y empatía en los estudiantes de enfermería y su relación con variables sociodemográficas, centro regional universitario de azuero,2024.
R141	Tatiana Salgado, Nikolai G. Myazin, Anna N. Elizarenkova & Alexander Pérez	COMPARACIÓN EDAFOLÓGICA ENTRE SUELOS TROPICALES Y TEMPLADOS: ESTUDIO DE FINCAS CAFETALERAS PANAMEÑAS Y SISTEMAS AGRÍCOLAS EN VORONEZH, RUSIA
R142	Alexander Pérez & Tatiana Salgado	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO COMO HERRAMIENTA PREDICTIVA DE LA CALIDAD EN CAFÉ DE ESPECIALIDAD: PANAMA GEISHA
R143	Aura López de Ramos, Belka Bonnett-Bogallo, Dimas Concepción, Gustavo Quintero-Barreto, Jarles Durán, Nelly Meléndez & Yuly Esteves	CHATGPT COMO REVISOR ACADÉMICO: METODOLOGÍA DE ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN COMPARATIVA
R145	Lina Solís Castillero, Carmenza Spadafora, Ricardo Correa, Lorena Coronado, Laura Pineda, Michelle Ng & Esteban Rua	LA IRRADIACIÓN DE MICROONDAS PULSADA INDUCE MUERTE CELULAR SIMILAR A LA APOPTOSIS EN PLASMODIUM FALCIPARUM A TRAVÉS DE LA VÍA EQUIVALENTE AL RECEPTOR DE MUERTE FAS/FASL
R146	Yovana Benítez	Programa de formación en Liderazgo pedagógico del docente de educación primaria en las asignaturas de Español y Matemática
R148	Ángel A. Morales, Miguel A. Mánica & Luis A. Pinzón	Efectos de la direccionalidad sísmica en la estabilidad de taludes
R149	Neidha Nadal, Juan J. Moreno M. & Jose Jauregui	Mas allá de la ciudad: Brechas y desafíos en la vida de las mujeres
R153	Geraldine Yorett & Euclides Deago	Sustratos en humedales artificiales subsuperficiales: estado del arte de su caracterización hidráulica y fisicoquímica
R157	Lucas Calvo, Noé Serrano, Michele Mossa & Diana De Padova	Validación de un modelo numérico SPH para simular la mezcla de salinidad en esclusas: Aplicación al Canal de Panamá
R158	Didio Alberto Ortiz Aguilar, Tomás Aragon, Montserrat Arrasate & Nuria Peregrin	Explorando el rol y potencial terapéutico de la Respuesta Intergrada al Estrés en la Esclerosis Lateral Amiotrófica

06- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R160	Andrea Melgar Castillo & Veronica Melgar	Perspectivas de familiares y educadores acerca del impacto del Programa de Alimentación Complementaria Escolar (PACE) en la malnutrición infantil
R161	Jennifer Eileen Izaga Guiraud & Lucas Enrique Calvo Gobbetti	Impacto de nuevas fuentes de agua en las confiabilidades hídrica y de calado del Canal de Panamá
R163	Carlos Villarreal, Jorge Muñoz, Walter Peraza Padilla & Tina A. Hofmann	CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE HONGOS NEMATÓFAGOS (ORBILIALES) AISLADOS A PARTIR DE SUELOS AGRÍCOLAS EN CHIRIQUÍ, PANAMÁ
R167	Vidal Aguilera-Cogley, Randy Atencio-Valdespino, Leidis Jiménez, Yolanys Valderrama & Ruth Castro	CARACTERIZACIÓN DE AISLADOS DE Metarhizium ASOCIADOS A CÍTRICOS Y SU PATOGENICIDAD SOBRE Diaphorina citri
R168	Martin Gomez, Gabriel Fuentes & Javier Sanchez Galan	Identificación Automatizada de Áreas de Alta Densidad de Tráfico Marítimo mediante cuadrículas H3 y agrupamiento DBSCAN Localizado
R170	Jacobo Araúz, Indra Candanedo, Melquiades Castillo, Anabel Almanza & Sheila Aguirre	ANOTACIONES SOBRE LOS MAMÍFEROS TERRESTRES EN UN SECTOR DE LA RESERVA FORESTAL CHEPIGANA Y DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE MATUSAGARATÍ, PROVINCIA DE DARIÉN, PANAMÁ
R171	Yolanys Valderrama-Macías, Vidal Aguilera-Cogley, Alex Marcel Vásquez Osorio, Marta Higuera-Gómez & Randy Atencio-Valdespino	PRESECENCIA DE ENEMIGOS NATURALES DE Diaphorina citri (KUWAYAMA) (HEMIPTERA: LIVIIDAE) EN PLANTACIONES DE CÍTRICOS EN COCLÉ, PANAMÁ
R172	Lilibeth Jiménez & Vanesa E. Peñalba Achurra	Implementación de Estrategias Logísticas y Tecnológicas para el Almacenamiento y Distribución del Cacao: Caso CEDI de COCABO R.L
R174	Yessica Sáez, Lissette Peña, Cristian Ureña, Julia Valenzuela, Edwin Collado & Antony García	MONITOREO CUANTITATIVO DE TEMBLORES EN LA ENFERMEDAD DE PARKINSON MEDIANTE UN DISPOSITIVO VESTIBLE BASADO EN IOT: VALIDACIÓN DEL PROYECTO ELENA
R176	Rita Salinas, Ashly Marín, Luis Quijada, José Fábrega & Carlos Saito	PROBLEMAS Y SOLUCIONES DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE-PROVINCIA DE COCLÉ
R181	Anyi Tuñon, Anayansi Valderrama, Brigitte Henríquez, Angélica Castro, Hermes Santos & Joel Degracia	Culicoides paraensis durante el brote de oropouche 2025 en Darién, panamá: implicaciones para la vigilancia entomológica y la salud pública
R184	Jhoselin Espinosa, Keytly Moreno & Lisseth Samudio	Caracterización de la exposición ocupacional a plaguicidas en trabajadores agrícolas de fincas plataneras en Baco, Chiriquí (Panamá, 2024)
R186	Datyel Velasquez, Angel Medrano, Jessica Guevara & Vanessa Quintero	SEGUNDA VIDA DE LAS BATERÍAS: EVALUACIÓN Y PROTOCOLOS
R188	Dumas Gálvez, Daniel Murcia, José Rodríguez & Roderick Valdés	LA PÉRDIDA DE DEPREDADORES IMPULSA CAMBIOS FUNCIONALES EN LA DESCOMPOSICIÓN DE LA MADERA MEDIADA POR TERMITAS EN LOS BOSQUES TROPICALES
R193	Sayith Padilla & Rowan McGinley	Explorando el rol de las medias en el cortejo de las arañas

07- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R194	Humberto López Castillo, Lorna E. Jenkins Sánchez & Víctor I. Peñafiel Medina	Estado cardiometabólico de los adultos que viven con VIH en Colón, Panamá: Resultados iniciales del Estudio C3
R195	Geraldine Yorett, Ian Deago, Omar Rodríguez, José Fábrega & Carlos Saito	ANÁLISIS INTEGRAL DE PROBLEMÁTICAS Y SOLUCIONES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA 140 DEL RÍO CAIMITO
R196	Siara Hernández, Elisa Jiang, Yostin Añino, Hermógenes Fernández & Andrés Rivera Mondragón	HIDROXIMETILFURFURAL Y ACTIVIDAD DIASTÁSICA COMO MARCADORES DE FRESCURA EN MIEL COMERCIALMENTE DISPONIBLE EN PANAMÁ
R200	Emmanuel Santos Castillo, Maravi Marrone, Juan Fernandez & Sergio I. Martinez-Luis	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA Y ANTIPARASITARIA DEL PROPÓLEO PANAMEÑO.
R201	Ilka Esmeralda Fiol, Alexis Baules & Javier Sanchez Galan	Uso del SIG y la Teledetección para el análisis de residuos sólidos en la cuenca del Río Juan Díaz
R203	Daniel Cubilla-Bonnetier, Delfina D'Alfonso, Nadia De León Sautú, Raquel García-Gómez & Laura Sánchez-Vincitore	Resultados de un programa de conciencia fonológica en escuelas oficiales panameñas con y sin vulnerabilidad
R204	Abdel Alexander Solís Rodríguez	Importancia del abordaje integral del COVID-19, una enfermedad de amenaza latente: evidencias de las secuelas en memoria y funcionamiento ejecutivo a largo plazo en una muestra de sobrevivientes al COVID-19 en Panamá.
R215	Ián Deago, Marlene Matos & Gisselle Guerra-Chanis	Revisión Bibliográfica de estudios científicos en el sitio RAMSAR Bahía de Panamá
R217	Yaliana Chichaco, Helio Quintero-Arriati & Matthieu Leray	Searching for the elusive Largetooth Sawfish (Pristis pristis) in the Pacific coastline of Panama
R218	Karol Arjona, Gabriela Martinez-Sanchez, Marcos Moreno, Jose Fabrega-Duque & Carlos Saito	Cuenca del río Parita: retos y estrategias para una gestión hídrica sostenible
R220	Nayelhi Karin Mojica Gonzalez, Sara Rojas, Candelario Rodriguez, Ricardo Correa, Carmenza Spadafora & Maria Fernanda Alves-Rosa	Evaluación de la activación de células THP-1 y producción de vesículas extracelulares en respuesta a LPS
R221	Hilda Morán, Annie López, Jacobo Araúz, Edwin Domínguez, Ricardo Pérez & Ricardo Moreno	Determinación de la dieta del jaguar en las fincas ganaderas de la zona de Agua Buena en Darién, Panamá
R222	José Angel Herrera Vásquez, Juan Gordón, Betzy Pérez, Lidia De Gracia, Andrea Martínez, Anovel Barba, Giselle Rangel, Jorge Jaén, Amed Arcia, Angie Jiménez & José Jaén	IDENTIFICACIÓN Y COMPORTAMIENTO DEL VIRUS PYMPV Y DE SU INSECTO VECTOR, EL COMPLEJO Bemisia tabaci (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE), EN TOMATE DE LA PROVINCIA DE LOS SANTOS
R226	Javier Rivas, Yolanda Vásquez & Matías Alvarado Mentado	Aprendizaje automático en la predicción de la respuesta inmunológica de pacientes con cáncer de mama triple negativo
R229	Adelaida Gonzalez Salazar & Jorge Nuñez Cano	Evaluación de fertilización de variedades mejoradas de maíz con Azolla pinnata en sustitución de fertilizantes químicos tradicionales

08- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R231	Luisa Villa	VERIFICACIÓN DE LA PRECISIÓN Y EXACTITUD DEL CONTADOR HEMATOLÓGICO MYTHIC 22-AL MEDIANTE LOS PROTOCOLOS EP15-A3 Y EP26-A2 EN EL LABORATORIO CLÍNICO E INVESTIGACIÓN GAMALAB
R237	Steven Gonzalez, Rina Sobarzo, Ariel Magallón-Tejada & Oriel Lezcano	Cucarachas Urbanas como Reservorios de Parásitos de Importancia Zoonótica: Evidencia de Panamá
R242	Luzmery Jiménez, Carlos Vergara-Chen & Paco Quintana	INFLUENCIA DE LA MAREA Y LA ESTACIONALIDAD EN LAS FLUCTUACIONES NICTEMERALES DE PH Y TEMPERATURA EN ESTUARIO TROPICAL
R243	Alvaro Mogoruza & Oscar Garibaldi	CARACTERIZACIÓN DE RENDIMIENTO DE UN PERFIL AERODINAMICO CON PINTURAS SENSIBLES AL FLUJO
R246	Carlos Peralta, Javier Arroyo & Danilo Cáceresd	Desarrollo de una Brazo Robot de 6 Grados de Libertad para Aplicaciones Educativas
R248	Andy Valdés & Oscar Garibaldi	Estudio de las interacciones fluido-estructurales en instrumentación de anemometría sónica en aeronaves no tripuladas
R250	Jon Jairo Tamayo, Nayelhi Karin Mojica Gonzalez, Leighanne Bonner, Carmenza Spadafora & María Fernanda Alves-Rosa	Protocolo de diferenciación de células THP-1 a macrófagos utilizando Forbol Miristato Acetato (PMA) para ensayos in vitro de infección por Trypanosoma cruzi cepa Y y obtención de microARN
R251	Gabriela Martinez-Sanchez & Carlos Vergara-Chen	INFLUENCIA DEL NIÑO DE 2023-2024 EN LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE UN ESTUARIO TROPICAL
R258	Andres Mauricio Garcia, Mahmud Sheku, Luz Adriana Urbina Urbina, Laura Parra Baena, Carlos Espinal & Diana Carolina Rivera	STRATEGIC PUBLIC HEALTH OBJECTIVES IN LATIN AMERICA & AFRICA: A REVIEW OF NATIONAL HEALTH PLANS & THEIR ALIGNMENT WITH POPULATION NEEDS
R263	Jorge Luis Navarro, Melisabel Munoz, Salvador Rodríguez, Karina García & Antonio Martínez	Precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá: Análisis Histórico y Proyecciones Climáticas de Alta Resolución mediante Reducción de Escala Dinámica
R267	Kian Chung, Juan Medina, Jordi Querol-Audi & Marialena Salvatierra	Corresistencia bacteriana a los aminoglucósidos y b-lactámicos de E. coli aisladas de Aguas Residuales y Naturales en la Ciudad de Panamá.
R268	Franck Aguilar & Alfredo Campos	Propiedades Morfológicas, Ópticas y Estructurales de Nanopartículas De FTO Obtenidas por Síntesis Hidrotermal
R270	Jorge Manuel Castillo Beitia, Roberto Lombardo, Eimy Suaza, Yerson Cruz Meldivelso, Santiago Jiménez Arias, Luisa López Lozano & Diekel Saavedra	EVALUACIÓN TRIENAL DE LA ACTIVIDAD DE ANIDACIÓN DE LA TORTUGA MARINA CHELONIA MYDAS EN PLAYA LAGARTO, LOS SANTOS, PANAMÁ
R271	Ariel Magallón, Ana L. González, Rodolfo Montes & Lariza Mendoza	EFECTOS DE DIBENZYL TRISULFIDE EN EL PROCESO DE INVASIÓN DE PLASMODIUM FALCIPARUM

09- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R272	Javier Sanchez Galan, Fernando Merchan, Kenji Contreras, Héctor Poveda, Rocío M. Estévez & Héctor M. Guzmán	Utilización de Modelos de Visión Artificial y Monitoreo Aéreo Inteligente de Manatíes del Gran Caribe (Trichechus manatus) en la Cuenca del Canal de Panamá
R274	Yinela Y. Solís M., Rita D. Rodríguez, Ernesto Martínez, Francisco Grajales-Saavedra & Maynor N. Quintero A.	Metodología estratégica para levantamientos geológicos extensivos: caso de estudio en la Región Central de Panamá
R276	Fernando Merchan, Javier Sanchez Galan, Kenji Contreras, Héctor Poveda & Héctor M. Guzmán	Identificación Individual de Manatíes del Gran Caribe mediante Agrupamiento Acústico No Supervisado
R277	Fernando Merchan, Javier Sanchez-Galan, Kenji Contreras, Héctor Poveda, Rocio M. Estévez & Héctor M. Guzmán	Identificación Demográfica de Manatíes del Gran Caribe mediante Aprendizaje de Características Acústicas
R282	Laura Mercedes Baldrich Mora, Martha Vargas, Kristin Saltonstall & Hector M. Guzmán	Detección de manatíes (Trichechus manatus manatus) con ADN ambiental en el Lago Gatún, Canal de Panamá.
R283	Laura Mercedes Baldrich Mora, Martha Vargas, Kristin Saltonstall & Hector M. Guzmán	Diversidad y estructura genética entre poblaciones introducida y nativa del manatí del Gran Caribe (Trichechus manatus manatus) en Panamá. ¿Qué tan diferentes son?
R285	Javiera Mora	Diet of sister reef fish across the Isthmus of Panama
R288	Isaac Tuñón-Lorenzo, Félix González-Castillo, Dalkiria Campos, Patricia Valdés-Torres, Dalel Zegarra, Paola Galán-Jurado, María Blanquer, Carmen Rivas & José González-Santamaría	EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIVIRAL DE LOS COMPUESTOS MARINOS RADICICOL Y MARIZOMIB CONTRA EL VIRUS MAYARO Y OTROS VIRUS DE IMPORTANCIA MÉDICA
R298	Mabel Martínez-Montero, Ámbar Poveda-Caballero, Joseph Arauz, María Leung, Jorge Cervera, Melanie Ortega & Leyda Abrego	NOROVIRUS COMO PRINCIPAL AGENTE ETIOLÓGICO DE GASTROENTERITIS AGUDA: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO CENTRAL DE REFERENCIA EN SALUD PÚBLICA, 2024
R300	Alexandre Olivié & Jose Robles	Interoperabilidad, criptografía y telecomunicación de la primera estación de monitoreo de la contaminación lumínica en Panamá.
R312	Rogemif Fuentes, Ignacio Zea-Monteza, Alexis Baules, Erick Barria, Jesse Ashcroft, Isamar Ortega, Helio Quintero-Arrieta & Yostin Añino	Diversidad de mamíferos e impactos humanos en el ParqueNacional Portobelo, Corredor Biológico Colón, Panamá
R313	Julio Castillo	Mapeando la Defensa del Mosquito ante el Arbovirus Emergente Mayaro
R317	Fernando Higuera, Oscar Gil, Eduardo Chung, Oscar Arnache, Carlos Ostos & Juan Jaén	SÍNTESIS DE PEROVSKITA $LaFeO_3$ MEDIANTE ESTADO SÓLIDO ASISTIDO POR MOLIENDA DE BOLAS DE BAJA ENERGÍA Y SU CARACTERIZACIÓN MAGNÉTICA
R322	Griselda Caballero Manrique, Oscar Gil & Juan Jaén	CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DE PEROVSKITAS DE LANTANO Y HIERRO CON USO POTENCIAL EN CELDAS DE COMBUSTIBLE DE METANOL
R323	Ixis Taymes, Alejandra Gonzales, Militza Gomez & Yariela De Noriega	FORMULACIÓN DE PROTECTORES SOLARES, VALIDACIÓN DE SU METODOLOGÍA ANALÍTICA Y DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE PROTECCIÓN SOLAR (FPS).

10- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R324	María Gabriela Castrellón, Carlos Lu, Iván Domínguez & Ioana Popescu	Caracterización y mitigación de la intrusión salina en el embalse Gatún
R325	Alfredo Campos, Yaneris Velásquez, Albania Urriola & Héctor Miranda	Propiedades ópticas de películas delgadas metálicas para aplicaciones sensoras
R326	Mahmud Sheku, Ike Solomon Okosun & Iynnah Kargbo	The Effectiveness & Safety of Maternal Respiratory Syncytial Virus (RSV) Vaccines: A Systematic Review & Meta-Analysis
R330	Marco Leonelli, Javier Sanchez-Galan, Raquel Martinez & Jose Jodra	DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ESTADOS DE ESTRÉS Y RELAJACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE BIOSEÑALES USANDO APRENDIZAJE AUTOMÁTICO
R334	Yarelis Batista, Milagros Jaén-Vargas & Héctor Montes	Implementación y calibración de un sistema optoelectrónico de captura de movimientos para el análisis biomecánico de extremidades
R337	Agustin Guerra, Ehsan Amini & Lily Elefteriadou	OPTIMIZANDO LA EFICIENCIA DEL TRÁFICO CON VEHÍCULOS AUTÓNOMOS CONECTADOS: UN ENFOQUE BASADO EN ALGORITMOS DE BÚSQUEDA QUE APROVECHAN LA ALEATORIEDAD
R338	Milagros Jaén-Vargas, Josué Pagán, Shiyang Li, Niloufar Kazemi & José Javier Serrano Olmedo	EVALUACIÓN DEL EQUILIBRIO IMPULSADA POR IA: UN ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PERSONAS CIEGAS Y NO CIEGAS UTILIZANDO LA PRUEBA MINI-BESTEST
R343	Hector M. Guzman, Rocío M. Estévez, Kenji Contreras, Héctor Poveda, Javier E. Sanchez-Galan & Fernando Merchan	Residencia y movimiento migratorio de manatíes del Gran Caribe (Trichechus manatus manatus) en Panamá y Costa Rica
R344	Hector M. Guzman, Rocío M. Estévez, Kenji Contreras, Héctor Poveda, Javier E. Sanchez-Galan & Fernando Merchan	Evaluación espaciotemporal del manatí del Gran Caribe (Trichechus manatus) en el Canal de Panamá: Alternativas para su Manejo y Control.
R345	Génesis Argueta, Sherine Chung, Ashley Galarza, Bruno Cisterna, Juan Lezana, Luis Luis & Diego Reginensi	DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE INGENIERIA TISULAR EN LA DIFERENCIACIÓN CELULAR CEREBRAL, COMO POSIBLE HERRAMIENTA TERAPEUTICA EN LESIONES DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)
R350	Mairim Alexandra Solis, Sandra Lopez-Verges, Julio Itamar Delgado, Alejandra Purcell, Rebbeca Vergara, Guadalupe Perez & Jaime Sanchez	Células Madre Mesenquimales en la Atenuación de la Hiperinflamación en Pacientes con Diabetes Mellitus
R351	Mairim Alexandra Solis, Magalys Quintana & Lynn Chambonnet	MARCO REGULATORIO PARA EL USO BIOÉTICO Y LEGAL DE CÉLULAS MADRE EN PANAMÁ: UN LLAMADO A LA ACCIÓN
R353	Maribel Salazar & Ariel Grey	IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD: UN CASO DE ESTUDIO EN LA DISTRIBUCIÓN DEL QUETZAL RESPLANDECIENTE
R361	Thomas Rodríguez, Edwin Collado, Nacarí Marín & Marina P. Arrieta	Efecto de las nanopartículas de TiO_2 en las propiedades térmicas y mecánicas de los compuestos PLA/rPLA para aplicaciones de impresión 3D
R363	Ricardo Rios, Euclides Deago & Nacari Marin	Evaluación Numérica del Comportamiento Térmico y Dinámico en Reactores Anaeróbicos de Mezcla Completa y su Influencia en la Cinética Biológica

11- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R364	Kenel Rodríguez, Jorge Rodríguez, Jafet González, Marietta Batista & Rolando Mora De León	HACIA UNA MOVILIDAD INTELIGENTE: DIAGNÓSTICO Y SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO EN SANTIAGO DE VERAGUAS
R366	Adalberto Nieto & Nacari Marin	Diseño biomimético de palas de aerogenerador inspiradas en las alas de Tyto alba
R368	Wenddy Pinzon-Atencio, Carlos Vargas & Francisco Grajales-Saavedra	DESEMPEÑO DE CIMIENTOS SUPERFICIALES AISLADOS EN SUELOS COLAPSABLES BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXCÉNTRICAS.
R370	Carlos Adams, Sebastian Alonso, Ana Pérez, Paola Grimaldo, Rosa De Jesus, Bruno Cisterna, Luis Luis & Diego Reginensi	PARCHE OXIGÉNICO, UNA ESTRATEGIA INNOVADORA PARA LA REGENERACIÓN DE HERIDAS CRÓNICAS CUTÁNEAS.
R377	Dayan Palacio, Roselin Chérigo, Sara Miranda, Fermin Acosta, Priya Patel, Anel Pérez, Elvin Cano, Mitchelle Morán, Edith Maldonado, Gilberto Chávez-Gris & Amador Goodridge	Evaluation of various liquid & solid culture media for isolation of Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis from bovine fecal samples, soil & water in Panama
R378	Edwin Rios, Fernando Merchan, Javier Sanchez Galan, Héctor Poveda & Héctor M. Guzmán	Sistema Bioacústico Autónomo para Detección de Manatíes del Gran Caribe mediante Microcontroladores y Alerta de Colisión en Tiempo Real
R380	Nayliz Hidalgo, Ricardo Montenegro & Carlos Vergara-Chen	BACTERIAS HETERÓTROFAS MARINAS: ESTRATEGIAS DE VIDA, ECOLOGÍA Y UTILIDAD COMO BIOINDICADORES EN UN AMBIENTE CAMBIANTE
R381	Viviane Ali Suarez, Helio Quintero-Arrieta, Eunice Tapia, E. Catalina Guerra, Andrew Sellers, Juan José Alvarado, Cindy Fernández García, Sean R. Connolly & Matthieu Leray	Bajo el Dosel de Coral: Diversidad bentónica de los arrecifes coralinos del Pacífico Este Tropical de Panamá y Costa Rica, por medio de ADN ambiental
R383	Fernando Arauz & Helene Muller-Landau	Large-scale crown mapping in closed-canopy tropical forests: methods, data, & applications in Panama
R388	Carlos Vergara-Chen, Susania Ávila, Katherine Bakes, Humberto Garcés, Gustavo Collado & Marissa Quintero	LA COMUNIDAD MACROBENTÓNICA DEL ESTUARIO DEL RÍO SALADO, ÁREA PROTEGIDA MANGLARES DE LA BAHÍA DE CHAME
R393	Carlos De Gracia, Orangel Aguilera & Félix Rodríguez	UN PARGO FÓSIL DE AGUAS PROFUNDAS (ACTINOPTERYGII: LUTJANIDAE) EN EL ÚLTIMO ESTRECHO INTEROCEÁNICO DEL ISTMO DE PANAMÁ
R394	Nadiuska Platero-Alvarado, Nashka Araúz Pitti & Juan Oliveros López	DISCAPACIDAD VISUAL EN LA POBLACIÓN INDÍGENA GUNA DE NARGANÁ, PANAMÁ
R395	Linneth Suira, Abner Al Berda, Rita Ramos & María Andrea Rojas	Modelo para la implementación de cartas arqueológicas subacuáticas en América Central. Caso de estudio: Bahía de Portobelo, Colón, Panamá" (ArqueoSub Portobelo)
R399	Cristopher A. Boya P., Gabriela Rodríguez, Victor Cantilo-Diaz, Randy Mojica-Flores, Grace E. Ruiz O., María Obaldía & Marcelino Gutiérrez	METABOLÓMICA DEL MICROBIOMA CORALINO PANAMEÑO: UN ESTUDIO DE BIOPROSPECCIÓN Y ECOLOGÍA QUÍMICA.

12- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R403	Yarelis Melgar, Yaxuri Muñoz, Paola Torres, Carlos H. Saito & José Fábrega	Matriz problemas-soluciones de la Cuenca Hidrográfica 126: Ríos entre río Tonosí y río La Villa en el Arco Seco de Panamá
R406	Patricia Valdés-Torres, Dalkiria Campos, Paola E. Galán-Jurado, Félix González, Isaac Tuñón, María Blanquer-Garate, Carmen Rivas & José González Santamaría	Broad-spectrum inhibition of RNA virus replication by the rocaglate Zotatifin
R407	Toby Fuentes, Mairim Alexandra Solis & Sandra López-Vérges	Capacidad Inmunomoduladora de las Células Madre Mesenquimales derivadas de la Placenta Humana frente a las Células Mononucleares de Sangre Periférica (PBMC) de Pacientes Diabéticos Tipo 1
R408	Nadiuska Platero-Alvarado, Katlen Quintero Solís & Juan Oliveros López	Errores de refracción en comunidades Gunas de zonas urbana y rural en Panamá en sujetos de 8 a 31 años
R413	Nadia De León Sautú, Delfina D'Alfonso, Sandra López-Vergès & Neil Guerrero	RETOS Y OPORTUNIDADES DE INVESTIGADORES DE CARRERA TEMPRANA DE PANAMÁ Y COLOMBIA
R414	Stefanie Lan-Li, Analissa Icaza, Roberto Rodríguez-Rodríguez, Angelino Harris & Jorge Quijada-Alarcon	Modelación de Alternativas para la mejora de la seguridad vial en intersecciones críticas en David
R415	Pedro Rivera-Quirós, Jorge Quijada-Alarcon, Analissa Icaza, Roberto Rodríguez-Rodríguez & Angelino Harris	ANÁLISIS ESPACIAL DE ZONAS CRÍTICAS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN PANAMÁ POR CORREGIMIENTO
R416	Meybi Valdés-González, Jorge Quijada-Alarcon, Analissa Icaza, Roberto Rodríguez-Rodríguez & Angelino Harris	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES Y PEATONES ANTE UN CRUCE PEATONAL EN DAVID
R420	Yarelis Melgar & Mauricio Hooper	Desarrollo metodológico de un sistema de monitoreo IoT-ML para la red de acueducto del distrito de Los Santos, Panamá
R421	Carlos Peralta & Carlos Vergara	Reservas de carbono azul en sedimentos costeros: implicaciones para la mitigación del cambio climático
R423	Guillermo Iribarren, Jorge Quijada-Alarcon, Roberto Rodríguez-Rodríguez, Analissa Icaza & Angelino Harris	ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL EN ESCUELAS RURALES DE COCLÉ, PANAMÁ, MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES AÉREAS
R425	Dalkiria Campos, Patricia Valdés & José González Santamaría	El análisis de productos naturales marinos identifica a Plitidepsina como un antiviral de amplio espectro contra virus de ARN
R428	Liz Cano	Evaluación de la DBO y la DQO como Indicadores de Eficiencia en el Tratamiento de Aguas Residuales de la PTAR Juan Díaz y su Relación con la Generación Potencial de Gases de Efecto Invernadero (2020–2024)
R431	Aaron Peregrina-Bonilla & Haydée Osorio-Ugarte	URBANIZACIÓN, CAMBIO CLIMÁTICO E INUNDACIONES: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR DE LA CUENCA DEL RÍO JUAN DÍAZ.
R432	Beatriz Reyes & Ariel Grey	Riesgo climático y su relación con las actividades económicas y los medios de vida en Panamá
R434	Isaac López, David Gaitán, Aychel Medina & Carlos Vergara	CALIDAD DEL AGUA COSTERA EN EL PACÍFICO DE PANAMÁ: TENDENCIAS ENTRE 2016-2024

13- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R435	Angela Agudelo, Gabriel Vergara Villarreal & Axel Rodríguez	Impacto y tendencias para la optimización del nearshoring en la cadena de suministro de autopartes para vehículos eléctricos
R448	Axel Rodríguez, Janzel Villalaz, Javier Fernández Pájaro, Gabriel Vergara & William Ávila	SENTIBOX: Hybrid Framework for Bot Detection on X.
R453	Carlos Rodríguez-Chong, Yestheimi Diaz-Rodríguez & José Rangel	Estrategias digitales para el fortalecimiento de la continuidad en la rehabilitación de la motricidad fina: escenarios virtuales y juegos serios
R454	Alfonso Mosquera & Jorge Quijada-Alarcon	POTENCIAL DE LOS SIMULADORES DE TRÁFICO EN ZONAS VERDES PROTEGIDAS CON ALTO FLUJO VEHICULAR
R455	Ezequiel Aguilar & Alvaro Lasso	Estimación del Tiempo de Permanencia Portuario mediante Aprendizaje Automático: Un Análisis Basado en Datos AIS para la Competitividad de los Puertos de Panamá
R456	Yanelys Lourdes Jaén Alvarado, Erika Nicolle Guerrero Haughton, Rebbeca Joam Vergara Ambulo & Mairim Alexandra Solis	ROMPECABEZAS DE LA GLUCOSA: TRANSDIFERENCIACIÓN DE CÉLULAS MADRE MESENQUIMALES DERIVADAS DE PLACENTA A PROGENITORES PANCREÁTICOS EN DIFERENTES MICROAMBIENTES DIABÉTICOS
R457	Isocrates Brown Bastidas & Esthefanie Taylor	PROPUESTA DE MODELADO NUMÉRICO EN LA CINÉTICA DE REACCIONES DE DISTINTO ORDEN
R459	Diego Valladares, Andrew Sellers, Carmen Schloeder & Mark Torchin	Impacto del afloramiento en la actividad alimenticia de peces arrecifales en el Golfo de Panamá
R460	Gabriel Bethancourt-Lasso & Jorge Quijada-Alarcón	PERCEPCIÓN CIUDADANA SOBRE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES Y LA ACCESIBILIDAD TERRITORIAL EN EL DISTRITO DE DAVID
R461	Mayra Díaz, Sherine Chung, Didio Ortiz, Génesis Argueta, Inés Donoso, Ricardo Correa, Juan Lezana, Bruno Cisterna & Diego Reginensi	PARTÍCULAS EXTRACELULARES ENCEFÁLICAS, COMO TERAPIA REGENERATIVA EN LESIONES DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.
R465	Jose Kuruc	TÉCNICAS DE REGRESIÓN E INTERPOLACIÓN APLICADAS A LA METROLOGÍA
R467	Cecilia I. Díaz V, Alcibíades Guerra & Ariel Magallon-Tejada	LOS ÍNDICES DEL ESTRÉS OXIDATIVO EN UNA MUESTRA DE ADULTOS JÓVENES DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ
R468	Jaime Sevillano, Nora Rodriguez, Samruddhi Shinde, Grace Thompson, Cady de Oliveira, Christopher Duncan, Wilyerson Quintero, Rajesh Kirpalani, Jose Acevedo, Juan Rodríguez, José Jessany, Tamara Salcedo, Lorena Merlo, Virginia Nuñez & Lina Moses	Using the Health Belief Model as a tool to identify modifiable behavioral components in the Panamanian population to improve the elimination of Aedes Aegypti larval habitats.
R469	Zuri Rodriguez, Thomas Hermans & Miguel Salceda	SWAT & MODFLOW models to evaluate the interaction of surface water-groundwater in the Zaratí Catchment, Panama
R470	Ildeman Abrego & Gricelda Bethancourth	NFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA GEOMETRIA EN LA RESPUESTA SENSORA EN NANOESTRUCTURA DE SnO2 y ZnO

14- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R475	Enós Jesús Juárez González, Blas Armién & Joseph Cook	Selección de sitos para la vigilancia estratégica de patógenos zoonóticos, en Panamá
R477	Mihail Perez, Blas Armien & Jonathan Dunnum	Filo del Tallo Virus: Identification & Protein Structure Modeling of a Novel Bat-Borne Hantavirus in Darién-Panamá
R478	Ruth Marie de Jong Montero	Evaluación del Psychological Outcome Profiles (PSYCHLOPS) como Herramienta de Medición de Resultados Centrada en la Persona para Intervenciones en Salud Mental: Una Revisión Sistemática
R480	Yuriza María Guerrero Pineda & Audino Melgar Moreno	APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NIVEL 2 DEL IPCC PARA EL CÁLCULO DE FACTORES DE EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO EN GANADO BOVINO EN PANAMÁ
R484	Ana Quirós, Juan Ramos & Kleveer Espino	EVALUACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA EN CULTIVOS DE ARROZ
R486	Juan Di Trani, Virginia Meléndez, Anovel Barba & Yostin Añino	EFICIENCIA EN POLINIZACIÓN DE ABEJAS VISITANTES EN CULTIVOS DE SANDÍA, EN LOS SANTOS, PANAMÁ
R490	Marcelino Gutiérrez, Cristopher Boya, Candelario Rodriguez, Randy Mojica Flores, Víctor Matias Cantilo Diaz, Gabriela Rodríguez, Ana G. Alvarado, Jean C. Urrutia & Luis C. Mejía	PRODUCTOS NATURALES DE HONGOS ENDOFITOS CON ACTIVIDAD AGRICOLA Y BIOMEDICA
R491	Tania Romero Gonzalez, Grisel Nunez, Estefania Espinosa, Milton Sandoval & Rachel Collin	Evaluating Total Ecosystem Carbon Stock (TECS) in Restored & Natural Mangrove Zones: Insights from Panama´s Shrimp Aquaculture Legacy
R492	Publio González & Blas Armién	Ecoepidemiología y Factores Sociales como Predictores de Riesgo de Hantavirus en Tonosí, Los Santos, Panamá, 1999-2019.
R495	Argelis Martínez, Fabián Rico & Tatiana Salgado	Impacto del achiote (Bixa orellana) en la calidad de embutidos de cerdo: evaluación fisicoquímica y microbiológica.
R502	Michelle Quiroz Espinoza, Madian Miranda & Abel Batista R.	Las Salamandras de Panamá: Un estudio enfocado en la Bolitoglossa magnifica
R504	Humberto López Castillo, Lorna E. Jenkins Sánchez & Víctor I. Peñafiel Medina	DIFERENCIAS POR SEXO EN LOS DETERMINANTES SOCIALES DE LA SALUD EN ADULTOS QUE VIVEN CON VIH: RESULTADOS DEL ESTUDIO C3
R506	Juan Vernaza & Kathia Broce	Integración de técnicas isotópicas al monitoreo de calidad de agua en una cuenca hidrográfica tropical de uso mixto en Panamá: una perspectiva complementaria a los métodos tradicionales
R514	José Gálvez, Hector Miranda, Hannah Fernández & Eleicer Ching	Sensor Óptico Basado en Película Delgada de BFO: Maduración de Bananas

15- LISTADO DE PONENCIAS ORALES POR NÚMERO DE RESUMEN (#)

#	AUTORES	TÍTULO DE LA PONENCIA ORAL
R515	María Vásquez, Rodrigo Pineda & Guillermo Lopez	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LAS ENERGÍAS OCÉANICAS EN PANAMÁ PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
R526	Aneth Sarmiento, Ana Cristina Hipólito, Ernesto Martín Uliarte, Lesley Hope, Carolina Leisen & Abadi Teklehaimanot	ENVIRONMENTAL IMPACT OF SOLAR PANEL INSTALLATIONS IN RURAL AREAS OF THE GLOBAL SOUTH: OPPORTUNITIES & BIODIVERSITY TRADE-OFFS
R527	Aneth Sarmiento	PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF URBAN TREES GROWING IN POLLUTED ENVIRONMENTS: INTERNATIONAL REPORTS & PRELIMINARY FINDINGS FROM PANAMA CITY
R530	Miguel Angel Esbri Montoliu & Rosa Elena Durán González	LIDERAZGO EDUCATIVO: HABILIDADES DE LOS BUENOS DIRECTORES DE ESCUELAS PUBLICAS EN PANAMA
R532	Arturo Dominici Arosemena, Paola Lizmari Osorio Artunduaga, Quiriatjaryn Ortega Samaniego, Beatriz del Carmen Medina, Yessenia González, Karly Urriola & José Ulises Jiménez Salgado	Caracterización ecológica y amenazas de peces diádromos en las cuencas urbanas de Panamá
R535	Roderick A. Gonzalez Murray, Miguel A. Sanchez Castro, Milton G. Thomas, Scott E. Speidel & R. Mark Enns	Heterosis & its potential influence on pulmonary arterial pressure in beef cattle
R538	Eric Manzané-Pinzón, Jorge Hoyos-Santillan & Martijn Slot	Efecto de factores antrópicos en la fisiología de las plántulas de manglar, Rhizophora mangle L.
R541	Roderick A. Gonzalez Murray, Timothy Holt, Stephen Coleman, Milton G. Thomas, R. Mark Enns & Scott E. Speidel	Heterosis & Breed Percentage Effects on Reproductive Performance & Preweaning Traits in a Multibreed Beef Cattle Herd in Panama
R544	Jorge González-Chan	DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ANALÍTICA PARA DETERMINAR FÁRMACOS ADULTERANTES EN SUPLEMENTOS DIETÉTICOS POR HPLC-PDA (CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTO DESEMPEÑO CON DETECTOR DE ARREGLO DE FOTODIODOS)
R545	Aura Atencio & Indira Franco	Análisis comparativo de bioplásticos a base de cáscaras de diferentes variedades de plátano en Panamá

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025

SALÓN MIRAFLORES

4:00pm a 7:00pm

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R011	Jose Moreno, Jordi Querol-Audi & Ariel Magallón	Evaluación in vitro de la eficacia y el impacto en la expresión génica de blaADC, blaOXA-51, CarO, AdeB y Omp33-36 de combinaciones de meropenem, sulbactam y colistina contra A. baumannii multirresistentes aislados en Panamá
R035	Belén Hernández & Humberto Ortega	Aislamiento de los compuestos bioactivos producidos por el hongo escovopsiodes nivea aislado de una colonia de hormigas acromyrmex echinatior
R041	Jeogeth Pacheco, Denise Castillo, Edwin Domínguez & Nayda Flores	Asociaciones entre insectos y dos géneros de briófitas de la familia Leskeaceae (Hypnales, Bryophyta)
R054	Abraham Mordock, Nivia Ríos, Hermógenes Fernández & Humberto Ortega	POLICÉTIDOS PRODUCIDOS POR EL HONGO LUTEOMYCES TRICHODERMOIDES 08.COL AISLADO DE UNA COLONIA DE HORMIGAS APTEROSTIGMA DENTIGERUM
R068	Xacdiel Rodríguez, Carlos Lezcano-Coba, Josefrancisco Galué, Yelissa Juárez, Luis Felipe Rivera, María Mercedes García & Jean-Paul Carrera	Epidemiología de la fiebre hemorrágica venezolana en el estado Barinas, Venezuela
R070	Yelissa Juarez, Josefrancisco Galué, Carlos Lezcano, Xacdiel Rodriguez, Luis Felipe Rivera, Jean Paul Carrera, Rodrigo De Antonio, Blas Armien, Nikos Vasilakis, Kathryn Handle & Christl Donnelly	Evidencia serológica de transmisión enzoótica de Alfavirus en la interfaz urbano- selvática en Panamá
R071	Vivian Sara Orribarra, Sabrina Amador & Angelica Rodriguez	¿Eres mi compañero de colonia? Experiencia de compañeros de nido en obreras de Atta colombica.
R076	Isaac Domínguez, Humberto Ortega, Hermógenes Fernández-Marín, Carmenza Spadafora, Yamel Mendoza & Laura Pineda	EXPLORACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTILEISHMANIA DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS PRODUCIDOS POR LA ACTINOBACTERIA FIT23-7-22 AISLADA DEL EXOESQUELETO DE HORMIGAS ACROMYRMEX SP
R085	Ilka Anabel Grajales, Jean Paul Carrera & Yelissa Juarez	Seroprevalencia del Virus de la Encefalitis Equina Venezolana y el Virus Madariaga en Animales Domésticos en una Comunidad Endémica de Panamá

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R090	Niccolò Meneghello, Blas Armién, Rodrigo De Antonio, Josefrancisco Galué, Xacdiel Rodríguez, Carlos Lezcano & Jean-Paul Carrera	Evaluación seroepidemiológica del virus dengue durante el periodo de cuarentena por COVID-19 en Panamá en el año 2020
R091	Xacdiel Rodríguez, Zeuz Capitan-Barrios, Yelissa Juarez, Carlos Lezcano-Coba, Josefrancisco Galue, Luis Felipe Rivera, Rodolfo Contreras & Jean-Paul Carrera	Caracterización del brote por fiebre de Oropouche en Bejuco, Chame, 1989
R092	Zuleyka Gonzalez, Niccolo Meneghello, Yelissa Juarez, Luis Rivera, Ilka Grajales, Ellianys Walters, Juan Antioco, Kiriam Escobar, Aaron Abouganem, Xacdiel Rodríguez, Josefrancisco Galué, Carlos Lezcano & Jean Carrera	Caracterización epidemiológica del brote de Oropouche (OROV) en la Provincia de Darién, 2025.
R093	Luis Guillermo Santos Mejía, Diana Oviedo, Ámbar Pérez-Lao & Gabrielle B Britton	Evaluación teleneuropsicológica en adultos mayores de 50 años de edad en la República de Panamá 2023-2025
R094	Luis Felipe Rivera, Carlos Lezcano-Coba, Josefrancisco Galué, Yelissa Juarez, Xacdiel Rodriguez, Abdiel Menacho, Kiriam Escobar, Aaron Abouganem, Zeuz Capitan-Barrios, Juan Miguel Pascale, Sandra Lopez-Verges, Kathryn A. Hanley, Nikos Vasilakis & Jean Paul Carrera	Fortaleciendo la Vigilancia de Arbovirus y la Respuesta ante Brotes en Panamá: Experiencias desde la Red CREATE-NEO
R097	Brayan Collymore & Humberto Ortega	ANSACARBAMITOCINAS PRODUCIDAS POR UNA ACTINOBACTERIA SIMBIONTE DE HORMIGAS MYCETOMOELLERIUS SP.
R098	Ellianys Walters, Juan Antioco, Josefrancisco Galué, Jean-Paul Carrera, Ilka Grajales, Yelissa Juárez, Xacdiel Rodriguez, Carlos Lezcano, Zuleyka Gonzales & Niccolo Meneghello	Seropositividad de los virus Madariaga y de Encefalitis Equina Venezolana en roedores silvestres de La Peñita y Aruza, Darién, Panamá
R099	Juan Antioco, Ellianys Walters, Josefrancisco Galué, Ilka Grajales & Jean Paul Carrera	Virus de la Rabia: Monitoreo en poblaciones silvestres de murciélagos y roedores en Darién, Panamá
R100	Marina Quirós, Humberto Ortega, Yamel Mendoza, Nivia Rios, Laura Pineda, Hermógenes Fernández, Michelle Ng & Carmenza Spadafora	ESTUDIO DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS DE LA ACTINOBACTERIA FID23-7-1 AISLADA DEL EXOESQUELETO DE HORMIGAS ACROMYRMEX ECHINATIOR.
R103	Aidamalia Vargas Lowman, Maxwell Scott & Adyani Arias Arias	Improving the sex-specificity of a conditional female lethal system for genetic biocontrol of the New World screwworm, Cochliomyia hominivorax

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R112	Zeuz Capitan-Barrios, Zuleima Caballero, Jean Paul Carrera, Leyda Ábrego, Eduardo Ortega-Barría & Paulina Franceschi	Una visión a futuro para el beneficio de la salud de la población: Centro Regional de Innovación en Vacunas y Biofármacos
R113	Ricardo Márquez, Kevin Mata, María Carreira & Patricia Llanes	Caracterización de métodos densitométricos y morfológicos, utilizando el software ImageJ, para el análisis de las respuestas in vivo de microglía al Beta-Amiloide
R116	Yoana Pimentel, Orlando Serrano, Griselda Arteaga & Gabriela Ramirez	IMPACTO DE LA CORRECTA TITULACIÓN DE ANTICUERPOS MONOCLONALES EN CITOMETRÍA DE FLUJO
R126	Carlos Lezcano, Josefrancisco Galué, Zuleyka González, Xacdiel Rodríguez, Luis Felipe Rivera, Yelissa Juarez, Ilka Grajales & Jean-Paul Carrera	Dinámica de transmisión del virus Oropouche en Panamá: Estudio de casos y contactos durante el brote de 2025
R131	Doriana Dorta, Alexa Prescilla, Michelle Ng, Jafeth Carrasco, Rosa de Jesus, Carmenza Spadafora & M. Fernanda Alves-Rosa	Establecimiento y caracterización de un modelo murino de infección aguda por Trypanosoma cruzi cepa Y en ratones Swiss
R132	Leighanne Bonner Tejada, Jon Jairo Tamayo, Jafeth Carrasco, Carmenza Spadafora & Maria Fernanda Alves-Rosa	Clonación, Sobreexpresión y Purificación de Cruzipaína para la producción de Anticuerpos Policlonales
R134	Alberto Ariel Montezuma & Amparo Castillo	DETERMINACIÓN DE ENDOPARÁSITOS ZOONÓTICOS EN HECES DE PROCIÓNIDOS DE ÁREAS PERIURBANAS Y SILVESTRES EN CHIRIQUÍ
R135	Stephany Young, Alexa Prescilla, Hildaura Acosta de Patiño, Alexander Augusto Martinez Caballero & Celestino Aguilar	Estudio de la diversidad bacteriana en la cavidad oral y el veneno de serpientes de la familia Viperidae mantenidas en cautiverio
R138	Gesabel Navarro-Velasco, Celestino Aguilar, Stephany Young, Alexander Augusto Martinez Caballero & Alexa Prescilla	Caso de histoplasmosis diseminada en niña de un año en Panamá
R144	Stephany Young, Gilberto Eskildsen, Dimelza Araúz, María Chen, Brechla Moreno, Melanie Vega, Lisseth Sáenz, Mabel Martínez & Melanie Ortega	Evaluación de la Sensibilidad Analítica y Eficiencia Diagnóstica del Panel SD Biosensor STANDARD M10 Arbovirus

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R151	David Pérez, Ilka Grajales, Yelissa Juárez, Josefransisco Gaule & Jean Paul Carrera	Seroprevalencia y Distribución Espacial de las Encefalitis Equinas por Alphavirus en Equinos en la Provincia De Darién
R152	Berta Muñoz, Carolina Rodríguez, Adam E. Tratner, Diana C. Oviedo, Alcibiades E. Villarreal, Sofía Rodriguez-Araña, Gabrielle B. Britton & Giselle A. Rangel	RELACIÓN DE LA EXPOSICIÓN INDIVIDUAL O MÚLTIPLE A PATÓGENOS INFECCIOSOS, EL DESEMPEÑO COGNITIVO Y BIOMARCADORES INFLAMATORIOS EN UNA MUESTRA DE PERSONAS MAYORES EN PANAMÁ
R175	Abdiel Bonilla, Fanny Franco, Faride Rodríguez & Fermina Chamorro	ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL DURANTE EL EMBARAZO Y EN EL POST PARTO EN PANAMÁ. RESULTADOS PRELIMINARES.
R180	Nathalie Aguilar, Alanna Madrid, Rosa De Jesús & Lizzi Herrera	MONITOREO FISIOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE ANIMALES CENTINELAS SWISS
R199	Maravi Marrone, Lilia Cherigo & Sergio I. Martinez Luis	ACTIVIDAD INHIBITORIA SOBRE LA ENZIMA ALFA-GLUCOSIDASA PRODUCIDA POR EXTRACTOS DE MACROHONGOS PANAMEÑOS.
R208	Luz Pérez & Janeth Agrazal	CREENCIAS Y PRÁCTICAS DE CUIDADO CULTURAL QUE REALIZA LA PUÉRPERA PARA SÍ MISMA Y EL RECIÉN NACIDO, EN EL PRIMER NIVEL DE ATENCIÓN, 2025.
R209	Maria Leung, Ambar Poveda-Caballero, Joseph Arauz, Jorge Cervera, Melanie Ortega & Mabel Martinez-Montero	DETECCIÓN DE ANTICUERPOS IgG FRENTE AL VIRUS LINFOTRÓPICO HUMANO DE CÉLULAS T (HTLV) MEDIANTE UN INMUNOENSAYO EN LÍNEA EN PANAMÁ, 2023 – 2024.
R210	Joseph Araúz, Ámbar Poveda-Caballero, María Leung, Jorge Cervera, Melanie Ortega & Mabel Martínez-Montero	IMPORTANCIA DE CONTAR CON UN ALGORITMO NACIONAL PARA OPTIMIZAR EL DIAGNÓSTICO SEROLÓGICO DEL VIRUS DE LA HEPATITIS C EN PANAMÁ

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R211	Ambar Poveda-Caballero, María Leung, Joseph Araúz, Jorge Cervera, Melanie Ortega & Mabel Martínez-Montero	CONFIRMACIÓN SEROLOGÍCA DE SÍFILIS EN DONANTES: ROL DEL LABORATORIO CENTRAL DE REFERENCIAS EN SALUD PÚBLICA
R212	Lorena Coronado, Sody Nuriyeh, Lisbeth Rodríguez, Doriana Dorta, Jafeth Carrasco & Carmenza Spadafora	Sobrexpresión y purificación de la proteína recombinante TOG1/2 para su uso en el aislamiento de tubulina de Plasmodium falciparum
R213	Gabriela Estefany Morán Boniche, Emmanuel Oscar Núñez Segundo & Leyda Abrego	Caracterización Molecular de Adenovirus Humano (AdVh) asociado a Infecciones Respiratorias Agudas en Panamá durante los años 2011-2019 en niños menores de cinco años mediante análisis de los genes del Hexón y la Fibra.
R214	Sara Vasquez, Maria Carreira, Armando Castillo & Bernardino Denis	Análisis de espinas dendríticas para el estudio de cultivos primarios expuestos a Beta-amiloide y APOE-4
R216	Josefrancisco Galué, Xacdiel Rodríguez, Carlos Lezcano-Coba, Yelissa Juarez & Jean Paul Carrera	Animales silvestres como reservorios potenciales de los virus de la Encefalitis Equina Venezolana y Madariaga en la Amazonía peruana
R228	Omar Camargo, Millie Ramos, Dionisio Olmedo & Pablo Solis	EVALUACIÓN IN SILICO DE PRODUCTOS NATURALES FRENTE A DIANAS TERAPÉUTICAS DE MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS MEDIANTE MODELADO MOLECULAR
R230	Dionisio Antonio Olmedo, Andrés Rivera Mondragón & Pablo N. Solís	Potencial antidiabético in silico de compuesto aislados de especies del genero Cecropia de Panamá
R232	Edgardo Lasso, Analia Von Chong & Diana Oviedo	Asociación entre la realización de actividades deportivas y las capacidades cognitivas en jóvenes en situación de vulnerabilidad social en la Ciudad de Panamá en el 2024
R233	Josué Bernal, Moises Bethancourth, Luisa Villa, Cristhian Ramos & Leidy Bastidas-Legarda	APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA LEAN PARA EL DIAGNÓSTICO DE PROCESOS EN LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA: HACIA LA INNOVACIÓN Y EXCELENCIA OPERATIVA

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R241	Dilan Moreno, Carlos M Restrepo, Alejandro Llanes, Lizzi Herrera, Esteban Ellis, Iliana Quintero & Patricia Llanes Fernández	Caracterización de la interacción Leishmania panamensis–macrófago murino: implicaciones inmunológicas y transcripcionales.
R244	Erika Figueroa & Joel Degracia Jaen	ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA DIVERSIDAD PARASITARIA GASTROINTESTINAL EN CAPRINOS DE DOS ZONAS DE VIDA EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ
R249	Abigail De Avila & Miryam Venegas	Análisis bioinformático de miRNAs novedosos en vesículas extracelulares cerebrales de Sus scrofa
R253	Priya Patel, Mariela Vergara, Laura Solis, Odemaris Luque, Ana Mitchell De Chavez, Julio Jurado, Lizbeth Garibaldi, Geydy Cañate, Fermin Acosta, Dilcia Sambrano & Amador Goodridge	Evaluación diagnóstica y operativa de pruebas microscópicas y moleculares para tuberculosis pulmonar en Panamá
R256	Johanna Elizabeth Ku, Fermín Acosta, Egor Shitikov, Priya Patel, Dilcia Sambrano, Mariela Delgado, Laura Solís, Christophe Guyeux, Igor Mokrousov, Christophe Sola & Amador Goodridge	Clúster Endémico A de Panamá (PECA) del sublinaje L2.2.M3 de Mycobacterium tuberculosis: un análisis profundo con TB-Annotator
R259	Sara Rojas Coparropa, Candelario Rodriguez, Nayelhi Mojica, Ricardo Correa & Carmenza Spadafora	“Nuevas perspectivas en la comunicación intercelular mediada por vesículas extracelulares de Plasmodium falciparum in vitro”
R260	Jhonatan Moreno-Madrid, Alcibiades Méndez-Arcia, Juan Medina-Sánchez, Sean Romaña, Jordi Querol-Audi & Alex O. Martínez-Torres	Aislamiento y caracterización biológica de bacteriófagos contra Staphylococcus aureus, Enterococcus faecalis y Enterococcus faecium a partir de aguas residuales hospitalarias y de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Panamá.
R261	Janeth Agrazal García, Lydia Gordón de Isaacs, Elsa Lucia Escalante-Barrios & Sergi Fàbregues	Creencias y perspectiva social-cultural sobre el hantavirus en una comunidad endémica en Panamá. Un estudio de etnoenfermería.
R262	Andres Mauricio Garcia, Mahmud Sheku, Luz Adriana Urbina, Laura Parra Baena, Carlos Espinal & Diana Carolina Rivera	PUBLIC HEALTH NEEDS IN LATIN AMERICA & AFRICA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SOCIAL, ENVIRONMENTAL, & EPIDEMIOLOGICAL DETERMINANTS
R265	Jennifer Escobar, Bernardino Denis, Kevin Mata, Giselle Rangel, Gabrielle Britton, Lizzi Herrera, Armando Castillo & María Carreira	ESTABLECIMIENTO Y ESTANDARIZACIÓN DE PROTOCOLO PARA AISLAR ASTROCITOS EN UN CULTIVO PRIMARIO MIXTO

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R266	Maryory Rodríguez, Josué Quiroz, Danilo Franco, Zeuz Capitan-Barrios, Brechla Moreno & Leyda Ábrego	Caracterización molecular de genotipos de Rinovirus humano (RVh) asociado a infecciones respiratorias agudas (IRA) en Panamá, entre los años “2011- 2016”
R280	Raúl Almanza, Mileyka Santos & Edgar Pérez	INVENTARIO DE LOS CHINCHES BESUCONES (TRIATOMINAE: HEMIPTERA) DEPOSITADOS EN LA COLECCIÓN ZOOLÓGICA DR. EUSTORGIO MÉNDEZ
R287	Fermin Acosta, Carlos Agrazal, Priya Patel, Johanna Ku, Dilcia Sambrano & Amador Goodridge	Genotipos L2 y L4 de Mycobacterium tuberculosis causantes de la tuberculosis en privados de libertad de la Provincia de Colón.
R290	Mabel Martínez-Montero, Ámbar Poveda-Caballero, Jorge Cervera, Joseph Arauz, Melanie Ortega & María Leung	EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DIAGNÓSTICO DE UN INMUNOENSAYO EN LÍNEA PARA LA DETECCIÓN DE ANTICUERPOS ESPECÍFICOS DE TREPONEMA PALLIDIUM
R292	Fergie Ruíz Aponte, Dianik Moreno, Jazmin Murillo & Milena Aguilar	Detección de Leptospira spp. en fuentes hídricas rurales: un riesgo silencioso para la salud pública en Panamá
R294	Ana Jazmine Uriarte, Dayan Palacio, Elvin Cano, Yarebys Arias, Anabel García, Fermín Acosta, Sara Miranda, Tamara Romero, Alexander Perez, Claudia Reginfo, Venancio Polanco, Gilberto Gris, Edith Maldonado, Amador Goodgridge & Antonio Medina	Reporte de caso: Infección por Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis en una vaca lechera del occidente de la República de Panamá
R297	Andrea González, José García & Mariel Monrroy	Determinación de la autenticidad y parámetros de calidad en aceites de Olea europaea mediante técnicas moleculares y químicas
R299	Karen Morales, Mariel Monrroy & José Renán García M.	Aplicación de técnicas moleculares para la detección de alérgenos derivados de crustáceos del género Litopenaeus spp.
R301	Fermin Acosta, Daniela Candanedo, Priya Patel, Alejandro Llanes, Johanna Elizabeth Ku, Kharla Salazar, Mitchelle Moran, Dilcia Sambrano, Julio Jurado, Isolina Matinez, Lisbeth Garibaldi, Mariela Delgado, Laura Solis, Odemaris Luque, Kesia Da Silva, Jason Andrews & Amador Goodridge	Transmisión endémica de Mycobacterium tuberculosis sublinaje L2.2.M3 mediante análisis genómicos en Panamá.
R303	Yeritza Cabrera & Oris Rodríguez	Análisis Comparativo de Frutos Fósiles y Modernos en la Región de Búcaro, Tonosí
R288	Isaac Tuñón-Lorenzo, Félix González-Castillo, Dalkiria Campos, Patricia Valdés-Torres, Dalel Zegarra, Paola Galán-Jurado, María Blanquer, Carmen Rivas & José González-Santamaría	EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIVIRAL DE LOS COMPUESTOS MARINOS RADICICOL Y MARIZOMIB CONTRA EL VIRUS MAYARO Y OTROS VIRUS DE IMPORTANCIA MÉDICA

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R305	Miguel Martínez, Carlos De Gracia & Oris Rodríguez	Nuevos registros de Condrictios (chondrichthyes) fósiles de la Formación Tonosí (Los Santos, Panamá)
R306	Yetsenia Fruto, Dayana Acevedo, Carmen I. Espino, Jordi Querol-Audi, Jose Moreno, Alex Martinez, Fermin Mejia & Sean Romaña	AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE Staphylococcus aureus, Enterococcus faecium Y Enterococcus faecalis MULTIRESISTENTES PROCEDENTES DE AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR, CSS Y ESTACIÓN DE BOMBEO DE PANAMÁ.
R307	Jeemy Vega-Herrera, Alejandra Adames-Real, Carmen Indira Espino, José Moreno, Sean Romaña, Fermín Mejía, Jordi Querol-Audi & Alex Martínez-Torres	Aislamiento y caracterización de cepas de Pseudomonas aeruginosa y Acinetobacter baumannii multirresistentes a antimicrobianos a partir de aguas residuales de efluentes hospitalarios y de la PTAR de la Ciudad de Panamá.
R308	Katia Ríos-Sanjur, José Emigdio Moreno & Oriel Lezcano-Troya	CARACTERIZACIÓN GENÓMICA DE SALMONELLA EN PANAMÁ: UN APORTE A LA SALUD PÚBLICA
R309	Roderick Valdes & Dumas Galvez	“SELECCIÓN DE PLANTA HOSPEDERA Y COMPORTAMIENTO DE DISPERSIÓN EN ARAÑAS TEJEDORAS DE ACACIAS”
R310	Dilcia Sambrano, Fermin Acosta & Priya Patel	Vitamin D receptor BsmI haplotype BB confers lower 25(OH)D levels during tuberculosis: A cross-sectional study.
R314	Liz Marie Castillo, José Renán García & Mariel Morroy	Identificación de especies de peces de interés en Panamá mediante técnicas moleculares
R316	Julio Castillo, Yusara González & Liz Díaz	Descifrando la Respuesta Antiviral al Mayaro en Mosquitos
R318	Melanie Montes & José Renán García M	AUTENTICACIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS DEL MERCADO LOCAL MEDIANTE PCR EN TIEMPO REAL CON SYBR GREEN
R319	Kevin Mata, Bernardino Denis, Julio Flores-Cuadra, Alanna Madrid, Rosa DeJesus & María Carreira	Modulación de CCL-1 y su receptor CCR8 por isoformas de APOE en un modelo in vitro de agregación de amiloide β

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R327	Anabel A. Garcia, Karren M. Plain, Jenny-Ann L.M.L. Toribio & Richard J. Whittington	Evaluation of a test-and-cull strategy to control bovine paratuberculosis based on the detection of Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis DNA in feces using the HT-J test
R328	Oriel Lezcano-Troya, Katia Ríos-Sanjur, Steven X. Gonzalez Del Cid, Rina A. Sobarzo & Ariel Magallón-Tejada	Caracterización de bacterias de relevancia clínica aisladas del contenido intestinal de Periplaneta americana
R331	Carlos Lezcano, Luis Rivera, Josefrancisco Galué, Zuleyka González, Xacdiel Rodríguez, Yelissa Juarez, Niccolò Meneghello, Juan Antíoco, Ellianys Walter, Ilka Grajales, Kiriam Escobar, Aaron Abouganem-Shaw, Tamara Salcedo, Jonatan Guerra & Jean Carrera	Factores de riesgo y síntomas asociados al brote de dengue en la Región Metropolitana de Salud de Panamá en 2024: un estudio de casos y controles
R332	Edwin Tovio, Jorge Bermudez, Jonatan Bustos & Carlos De Gracia	DESCRIPCIÓN SISTEMÁTICA DE RESTOS FÓSILES DE CETÁCEOS PROVENIENTES DE LA FORMACIÓN CHAGRES, COLÓN
R333	Jennifer Gonzalez & Janeth Agrazal	Neumonía asociada a ventilación mecánica y factores de riesgo en Unidad de Cuidados Intensivo en un hospital de segundo nivel. Panamá 2020-2023
R340	Bernardino Jose Denis Wing, Julio Flores-Cuadra & Maria Carreira	Efectos de la proteína beta-amiloide y las isoformas de APOE en la viabilidad de cultivos neuronales primarios.
R346	Coraima Melendez, Kevin Mata & Maria Carreira	Impacto del envejecimiento acelerado inducido por D-galactosa en la conducta motivacional: diferencias por sexo en ratas Sprague Dawley
R348	Yamilka Diaz, Isela Guerrero, Yaneth Pitti, Daniel Castillo, Juan Arbiza & Sandra Lopez	Caracterizacion de la respusta inmune neutralizante hacia las variantes B.1. A.2.5 y Omicron de SARS-CoV-2
R349	Daniel Ortega, Kevin Mata & María Carreira	Análisis de trastornos neuropsiquiátricos en ratas macho y hembras Sprague Dawley mediante un modelo de envejecimiento acelerado con D-galactosa.
R352	Jim Chang, Javier Sanchez Galan, Alexander Martinez, Yamilka Díaz & Gabriel Wallau	UNA METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE LOS VIRUS ENDÉMICOS, EMERGENTES Y DE POTENCIAL EMERGENCIA EN LA REGIÓN DE COCLÉ DEL NORTE.

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R354	Alvis Nuñez Batista, María Carreira & Kevin Mata	EFECTO DE UNA DIETA DE CAFETERÍA PANAMEÑA SOBRE LA OBESIDAD Y EL SISTEMA DE SACIEDAD BASADO EN LEPTINA
R355	Shaiel Amira Argandoña Camargo, Rachel Page & Camilo Calderon	FENOLOGÍA Y DINÁMICA DEMOGRÁFICA DE MURCIÉLAGOS DEL GÉNERO Carollia EN UN SITIO DE PERCHA EN GAMBOA
R356	Yumeily De Hoyos & Erika Guerrero	Análisis de vías de resistencia a quimioterapéuticos en células de cáncer de mama triple negativo con resistencia adquirida a Paclitaxel y Docetaxel
R358	Alejandra Purcell Medina, Julio Delgado, Sandra López-Vergés & Mairim Solis	DESCIFRANDO EL CÓDIGO INMUNOLÓGICO DE LA DIABETES TIPO 2: ANÁLISIS MULTIPARAMÉTRICO DE CÉLULAS MONONUCLEARES DE SANGRE PERIFÉRICA COMO ROADMAP PARA TERAPIAS INMUNOMODULADORAS CON CÉLULAS MADRE MESENQUIMALES.
R359	Fabiola Guerrero, Sherlyn Robinson, Abdy Morales, Hugo Sánchez, Maricselis Díaz, Estela Guerrero, Juan Moran, Jesus Rodilla, Nswadi Kinkela & Maria da Silva	ACEITE ESENCIAL DE LANTANA CAMARA L.: ESTUDIO IN VITRO DE SU PERFIL ANTIOXIDANTE, ANTIINFLAMATORIO Y CITOTÓXICO
R360	Giselle Rangel, Maria Beatriz Carreira, Bernardino Denis, Kevin Mata, Lizzi Herrera, Jennifer Escobar & Gabrielle B. Britton	DATOS PRELIMINARES SOBRE LA EVALUACIÓN DE A LA COESTIMULACIÓN CON LPS Y Aβ EN LA INDUCCIÓN DE IL1-β MEDIADA POR NLRP3 EN MICROGLIAS MURINAS
R369	Yobelis Quintero, Juan Castillo Mewa, Danilo Franco, Brechla Moreno & Leyda Ábrego	Detección molecular de Coronavirus endémicos y Enterovirus D-68 en muestras respiratorias del año 2016 en Panamá
R372	Gerardo Samudio, Marisin Pecchio, Ng Michelle, Ricardo Correa, Jessica Cruz-Mora, Arelys Fuentes, Carmenza Spadafora, Lorena Coronado & Johant Lakey-Beitia	Insights into the Structural Patterns in Human Glioblastoma Cell Line SF268 activity & ADMET prediction of Curcumin Derivatives
R373	Abdiel Bonilla, Fanny Franco, Faride Rodríguez & Fermina Chamorro	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL EN NIÑOS DE 6-24 MESES, MEDIANTE USO DE TÉCNICAS DE ISOTOPOS ESTABLES, CENTRO DE SALUD DE SANTA ANA, PANAMÁ 2021
R374	Nadiuska Platero-Alvarado, Laishany Livingston Perry & Juan Oliveros López	CARACTERÍSTICAS VISUALES DE LA POBLACIÓN GUNA ALBINA DE LA ASOCIACIÓN SOS ALBINOS PANAMÁ ATENDIDOS EN ABRIL 2025

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R375	Victor Cantilo-Diaz, Randy Mojica-Flores, Grace E. Ruíz O., Gabriela Rodríguez, Marcelino Gutiérrez & Cristopher A. Boya P.	ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS DE BACTERIAS ASOCIADAS A CORALES CONTRA CEPAS MULTIRESISTENTES
R376	María Obaldía, Gabriela Rodríguez, Cristopher A. Boya P. & Marcelino Gutiérrez	BIOPROSPECCIÓN HONGOS MARINOS DE PANAMÁ: INDUCCIÓN DE METABOLITOS BIOACTIVOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CULTIVO
R379	Kevin Amaya, Carolina Alvarado & Armando Castillo	Correlación SEM–CLEM para el análisis morfofuncional multiescala de muestras biológicas autofluorescentes
R382	Milixa Y. Perea V., Santiago Montilla, Marlon Nuñez, Vanessa M. Vásquez Castillo, Vanessa Jenny Pineda Segundo, Ariel Magallon & Jose Calzada	Análisis filogenético de Blastocystis sp. en Aotus lemurinus lemurinus, primate modelo para la investigación de la malaria en Panamá
R384	Anyi Tuñon, Anayansi Valderrama, Brigitte Henríquez & Angélica Castro	Primeros pasos hacia la vigilancia entomovirológica de Culicoides en Panamá
R386	Andrew Sellers	Variación espacial y estacional de los efectos de consumo en gradientes de surgencia tropical
R387	Ixis Taymes & Fergie Beltran	PREFORMULACIÓN DE UN JARABE DE MIEL Y VERIFICACIÓN DE COMPATIBILIDAD DE INGREDIENTES MEDIANTE ESTUDIO DE ESTABILIDAD
R390	Carlos De Gracia, Orangel Aguilera & Félix Rodríguez	MORENAS FÓSILES (MURAENIDAE) EN LA VÍA MARÍTIMA INTEROCEÁNICA DE CENTROAMERICA
R396	Suranis Marín & Erika Guerrero	Establecimiento y caracterización de líneas celulares de cáncer de mama positivo para receptores de estrógeno (RE) y evaluación de la resistencia cruzada in vitro
R398	Yaxuri Muñoz, José Fábrega & Miguel Salceda	DESARROLLO DE UN MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE HIDROLOGÍA ISOTÓPICA Y PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO LA VILLA, PANAMÁ.

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R401	Marco Antonio Mendizábal-Castillero, Manuel Alejandro Merlo, María Esther Rodríguez, Alberto Arias-Pérez, Ismael Cross & Laureana Rebordinos	DINÁMICA DE EXPRESIÓN DE GENES HOX EN FASES LARVARIAS Y ESTADOS METAMÓRFICOS DEL LENGUADO SENÉGALES
R402	Juan Oliveros Lopez & Nadiuska Platero Alvarado	Terapia visual dicóptica con realidad virtual para ambliopía
R404	Joanna Rivas & Andreas Haag	Evaluating Mycobacterium spp. JERR01 as a model organism for Mycobacterium tuberculosis resistance studies
R405	Gaspar Bruner-Montero, Ana Mirones, Denisse Acevedo & Rebeca Vasquez	Tolerancia Termica en el Mutualismo entre las Hormigas Attini y su Hongo Simbionte
R410	Vanessa J. Pineda Segundo, José E. Calzada, Azael Saldaña & Kadir A. González	Distribución Geográfica y Diversidad Genética de Trypanosoma cruzi en Triatominos en Panamá: Un Estudio de la Infección y Tipificación de Unidades Discretas de Tipificación (UDTs)
R411	Gaspar Bruner-Montero, Raul Cogley & Catherine Guardado	Variación filogenética y geográfica en la incidencia de Escovopsis en hormigas cultivadoras de hongos del archipiélago de Coiba
R427	Yorlenis Gonzalez & Sabrina Amador	Durante un evento de El Niño, ¿varían las recompensas para las hormigas según la defensa que brindan a la planta?
R433	María José Bolivar, Carlos Lezcano, Josefrancisco Galué, Yelissa Juarez, Luis Felipe Rivera, Tamara Salcedo, Jonatan Guerra, Javier Sánchez Galán, Jean-Paul Carrera Carrera & Grimaldo Ureña	Dinámica temporal y espacial del dengue en la Ciudad de Panamá (2023–2024): patrones de propagación y oportunidades para el control focalizado
R436	Hugo Alexis Sánchez-Martínez, Juan A. Morán-Pinzón, Esther Del Olmo Fernández, Estela Guerrero de León, José Luis López-Pérez & Alfonso Alejo-Armijo	Evaluación in vitro de derivados benzimidazólicos sobre la actividad del músculo liso en íleon y vejiga: enfoque farmacológico y toxicológico

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R439	Hugo Alexis Sánchez-Martínez, José Luis López-Pérez, Estela Guerrero de León, Juan A. Morán-Pinzón, Esther Del Olmo Fernández & José F. Adserias Vistué	Revisión estructural de piranoxantonas: combinación sinérgica de NAPROC-13 y análisis computacional de 13C RMN basado en DFT.
R441	Oriel Lezcano-Troya, Katia Ríos-Sanjur, Katherin Guerra, Xenia León, José Emigdio Moreno & Marilyn Pérez	Vigilancia epidemiológica de Candida en Panamá: un reto para la salud pública
R442	Ana Domínguez, Yulissa Quintero, Alejandro Almanza, Ovidio Castillo & Luis Ramírez	IDENTIFICACIÓN Y POTENCIAL ANTAGONISTA IN VITRO DE TRICHODERMA SPP FRENTE A HONGOS FITOPATÓGENOS DEL MAÍZ EN PANAMÁ
R444	Kiriam Escobar Lee, Luis Felipe Rivera, Carlos Lezcano, Josefrancisco Galué, Xacdiel Rodriguez, Yelissa Juarez, Aaron Abouganem-Shaw, Zeuz Capitan-Barrios, Jonathan Guerra, Tamara Salcedo & Jean-Paul Carrera	Determinantes socioeconómicos de la transmisión del dengue: un estudio de casos y controles en la Región Metropolitana de Salud de Panamá durante la epidemia de 2024
R445	Joel Contreras, Miguel Rodriguez & Andres Riveras	Evaluación de la capacidad antioxidante en mieles comerciales y artesanales utilizando los métodos DPPH y FRAP
R446	Osnar Joseph Hernández Suira & Amparo Castillo	Descripción de los perfiles endoparasitológico de dos especies de la familia Procyonidae, en Panamá
R450	Jessica Cruz-Mora, Arelys L. Fuentes C., Marisín Pecchio & Johant Lakey-Beitia	ANÁLISIS BIOFARMACÉUTICO DE CAROTENOIDES CON POTENCIAL NEUROPROTECTOR MEDIANTE SIMULACIÓN IN SILICO DE LAS PROPIEDADES ADMET
R458	Marggie Rodriguez, Juan Castillo Mewa, Julissa Moreno, Alcibiades Villarreal, Jacinto Pérez, Adam Tratner, Gabrielle Britton, Diana Oviedo & Yaxelis Mendoza	Asociación de la función cognitiva con la variación genética de la apolipoproteína E en panameños con y sin infección por VIH
R463	Yanelys Lourdes Jaén Alvarado, Javier Sánchez Galán & Mairim Alexandra Solis	Dulce Convergencia: Pipeline Transcriptómico de Célula Única para la Generación de Células Beta Funcionales
R471	Gustavo Rivera, Yelkaira Vásquez, Edith Madrid, Andrés Rivera & Pablo Solís	“IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA EN PLANTAS DE LA FLORA PANAMEÑA SELECCIONADAS POR CRITERIOS ETNOMÉDICOS, QUIMIOTAXONOMÍA Y BIOPROSPECCIÓN, CON POTENCIAL TERAPÉUTICO”

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R473	Jazmin Murillo Castillo, Fergie Ruiz Aponte, Milena Aguilar & Dianik Moreno	Leptospirosis Humana en Panamá 2021-2025: Dinámica epidemiológica y evaluación del diagnóstico en la vigilancia nacional
R474	Yelkaira Vásquez, Doralis Álvarez, Dionisio Olmedo, Ana Santana, Edith Madrid, Alex Espinosa, Lourdes García, Kendall Andino & Pablo Solís	EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD CITOTÓXICA EN Artemia salina DE EXTRACTOS DE PLANTAS PANAMEÑAS SELECCIONDAS
R476	Milena Aguilar, Jazmin Murillo, Dianik Moreno & Fergie Ruíz Aponte	Diversidad de Serovares de Leptospira spp. en Panamá: Detectados en humanos, mediante evidencias recientes de circulación
R481	Edith Madrid, Carolina Polanco, Dionisio Olmedo, Ana Santana, Alex Espinosa, Yelkaira Vásquez, Brianna Figueroa & Pablo Solís	EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE EXTRACTOS DE LA FLORA PANAMEÑA
R483	Orlando O. Ortiz	Evidencia filogenética de radiaciones recientes y rápidas del género neotropical Philodendron (Araceae) en el Istmo de Panamá: alta diversidad en un área geográfica reducida
R488	Rut Urriola-Mendieta, Angely Cruz, Jennifer Otero-González, Whitney Querini-Sanguillén, Marcos H. Salazar, Mario Miranda, Denis Fuentealba & José Robinson-Duggon	ESTUDIO DEL EFECTO DE LOS PROCESOS FOTOSENSIBILIZADOS DE UN DERIVADO DEL AZUL DE TOLUIDINA SOBRE LA CATALASA BOVINA COMERCIAL PURIFICADA Y CARACTERIZADA POR ELECTROFORESIS EN GEL DE POLIACRILAMIDA
R489	Maria Borráez, Gesabel Navarro-Velasco, Alexa Prescilla, Celestino Aguilar, John Erick Cleghorn Camarena & Hildaura Acosta	Caracterización micológica de levaduras de la cavidad bucal de serpientes Porthidium lansbergii en cautiverio, Provincia de Panamá
R493	Natasha Gómez, Claudia Gonzalez, Orlando Serrano, Xenia Hernández, Alexander Martínez & Griselda Arteaga	Identificación de polimorfismos del gen ADIPOQ asociados al riesgo metabólico por PCR en mosaico y secuenciación
R494	Alanis Castro, Gabriela Rodríguez, Candelario Rodríguez & Marcelino Gutiérrez	EXPLORACIÓN DEL POTENCIAL BIOMÉDICO DE CUATRO BACTERIAS SIMBIÓTICAS, MARINAS Y TERRESTRES
R496	Stephanie Blake, Gesabel Navarro, Jorge Gutiérrez, Raúl Carranza, Carolina Guevara, Celestino Aguilar & Hildaura Acosta	Evaluación de hongos entomopatógenos asociados a escorpiones provenientes de la Isla de Coiba.

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R499	Luis Jaén, Franklyn Samudio, Julia Moreno, Adelys Maritza Reina, José Antonio Suarez, Margarita Ríos, Betty Cerrud, Nadia Castro & Adriana Weeden	Cuantificación de la carga parasitaria de Leishmania panamensis en muestras clínicas de Panamá, mediante el desarrollo de un qPCR basado en el gen Mini-Exón
R503	Zeuz Capitan, Luis Felipe Rivera, Carlos Lezcano-Coba, Josefrancisco Galue, Yelissa Juárez, Xacdiel Rodríguez, Abdiel Menacho, Anyi Tuñon, Joel Degracia, Brigitte Henriquez, Angelica Castro, Kiriam Escobar Lee, Anayansi Valderrama, Sandra Lopez-Verges, Kathryn A. Hanley, Nikos Vasilakis & Jean-Paul Carrera	Arbovirus en Panamá: Coordinación de la Investigación Sobre Potenciales Arbovirus Emergentes que abarcan el Neotrópico
R507	Humberto López Castillo, Lorna E. Jenkins Sánchez, Víctor I. Peñafiel Medina, Omar Martínez & Loura García	Perspectivas sobre atención primaria cardiovascular y VIH de profesionales de la salud y participantes del Estudio C3
R509	Ilein Gómez, Annyurith González, Mirla De León & Catherina Caballero-George	ANÁLISIS DE CALIDAD EN JARABES HERBARIOS PEDIÁTRICOS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADO A UN DETECTOR FID
R510	Fergie Ruíz Aponte, Milena Aguilar, Jazmin Murillo, Dianik Moreno & Jiniveth Gomez	Expansión geográfica de la mansonelosis humana en Panamá: evidencias recientes más allá de la región endémica tradicional
R511	Paola Grimaldo, Jaidith Arrocha, Jenifer Rodríguez, Ivan Gomez, Claudia Pérez, Jorge Ceballos, Cecilio Hernandez, Luis Luis & Diego Reginensi	¡EL GEL QUE RESPIRA!
R512	Roni A. Fernández, Andres Vlieg-Wong, Johant Lakey-Beitia & Rugyel Reyes	METODOLOGÍA DE SÍNTESIS DE DERIVADOS DE CURCUMINA CON UN POSIBLE POTENCIAL NEUROPROTECTOR
R516	Juan Burbano-Fonseca, Jorge González-Chan, Dayubeth Pinzón-Nuñez, Jenella Perea-Gayle, Ana Santimateo-Trejo, Orlando Leone & Denis Vega Montenegro	OPTIMIZACIÓN DE MÉTODOS VOLTAMPEROMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VITAMINA C EN MEDICAMENTOS, SUPLEMENTOS Y BEBIDAS.
R517	Dayubeth Pinzón-Nuñez, Jorge González-Chan, Stefanie Robles, Juan Burbano-Fonseca, Denis Vega Montenegro & Orlando Leone	DETERMINACIÓN DE TEOBROMINA Y CAFEÍNA EN MUESTRAS DE CHOCOLATE MEDIANTE HPLC-UV

SESIÓN DE PÓSTERS - MIÉRCOLES 1 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R519	Asley Caballero, Luis Ramírez, Yulissa Quintero, Indira Martínez & Nidiris Rojas	IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA Y POTENCIAL BIOCONTROLADOR DE HONGOS ASCOMICETOS AISLADOS DE SUELOS DE CULTIVO DE MAÍZ
R520	Toby Fuentes, Mairim Alexandra Solis & Sandra López-Vérges	La Capacidad Inmunomoduladora de las Células Madre Mesenquimales derivadas de la Placenta Humana frente a las Células Mononucleares de Sangre Periférica (PBMC) de Pacientes Diabéticos Tipo 1
R521	Inés Donoso, Mayra Diaz, Didio Ortiz, Sherine Chung, Génesis Argueta, Staicy Cera, Nardy Diez, Ricardo Correa, Bruno Cisterna & Diego Reginensi	Vesículas extracelulares, como terapia avanzada en regeneración axonal.
R528	Moisés Barría, Jorge González-Chan, Iris Rivera, Gabriel Sanguillen & Dayubeth Pinzón	COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE CERVEZAS ARTESANALES Y CERVEZAS INDUSTRIALES COMERCIALIZADAS EN PANAMÁ
R534	Jacqueline Salazar, Alexis Montenegro, Karina Correa, Annyurith González, María Ruíz, Paul Bayman, Huzefa Raja & Catherina Caballero-George	Estudio filogenético de levaduras termotolerantes involucradas en la fermentación aeróbica de Coffea arabica var. Catuaí de la Finca Maestra Chela, Boquete, Panamá.
R540	Prudencio González, Juan Carlos Dominguez, Pedro Del Cid, Evelyn Ortíz & Samantha Rosas	Aplicación de secuenciación dirigida (Deeplex® Myc-TB) para la vigilancia epidemiológica de cepas multidrogorresistentes del complejo Mycobacterium tuberculosis en Panamá, 2025
R542	Kimberly Carrera-Morales, Marcos Diaz, Jorge González-Chan & Cristofer Abrego	DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ACICLOVIR EN FORMAS FARMACÉUTICAS SÓLIDAS, LÍQUIDAS Y SEMISÓLIDAS POR HPLC-UV
R543	Enmanuel Gaitán, Jorge González-Chan, Andrés Gutiérrez, Denis Vega Montenegro & Héctor Montenegro	OPTIMIZACIÓN DE PROTOCOLO DE ELECTROSÍNTESIS PARA LA DERIVATIZACIÓN DE COMPUESTOS FARMACÉUTICOS

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025

SALÓN MIRAFLORES

4:00pm a 7:00pm

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R003	Euribiades Huertas Madrid, Nelva Villarreal, Italo Goti & Juan Gómez	Alteración de la comunidad meiobentónica por efecto del pisoteo en la zona intermareal baja de playa arenosa
R009	Brizeida Hernández Sánchez, Greisy González Cedeño & Berenice Carrera de Vallejos	ESTUDIANTES CON DISCAPACIDAD EN LA UNIVERSIDAD, ESTAR Y PARTICIPAR: PERCEPCIÓN DE LA COMUNIDAD EDUCATIVA (EdUP)
R012	Raúl Archibold Suárez Raúl Archibold Suárez, Thaiska Tuñón de Archibold, Luis Zurdo & Julio Suárez	Metodología Invertida para la investigación Científica (MIIC) para la formación de nuevos investigadores desde la educación primaria en Panamá
R013	Nayelín Rivera, Humberto Rivera, Jerlyn Gutiérrez, Humberto Rivera & Raúl Archibold Suárez	Temperatura ambiental del aula y comportamiento de los estudiantes de educación primaria durante sus clases
R014	Naiby Margarita Salazar	USO DE LA MESA DE DISECCIÓN VIRTUAL ANATOMAGE TABLE EN EL APRENDIZAJE DE LA ANATOMÍA HUMANA EN LA CARRERA DE DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA DE LA UNIVERSIDAD LATINA DE PANAMÁ
R017	Raúl Archibold Suárez, Thaiska Tuñón de Archibold, Héctor De Gracia, Jesús Carreiro, Javier Solis & Julio Suárez	Prototipo de aplicación web MIIC Panamá para la formulación de preguntas, objetivos, títulos e hipótesis en protocolos de tesis
R018	Roderick Famania, Guillermo López & Jorge Chen	Structural Behavior Modeling of Offshore Infrastructures under Multiaxial Dynamic Loads Induced by Waves & Wind | A FEM-Based Approach with Hydrodynamic Coupling
R022	Elia González & Katherine Quezada	SISTEMA DE VISUALIZACIÓN EXACTA EN LA MEDICIÓN DE TRAZOS EN CINTAS MÉTRICAS
R025	Marta Núñez, Eyleen Espinosa & Johanna Espinosa	Automatización del sistema de ajuste del menisco en instrumentos volumétricos vidrio en el CENAMEP AIP
R028	Falconeris Vergara, Manuel Arcia & Alexander Esquivel	Medición de las tasas de infiltración en los suelos de la microcuenca de la quebrada La Zanguenga (Canal de Panamá)

XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencia y tecnología

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R033	Raul Fernando Solis Betancur	CARACTERIZACIÓN DE MEDICIONES AL FEMTOSEGUNDO EN EL ANÁLISIS DE PATRONES ATÓMICOS
R034	Raul Fernando Solis Betancur	ESTADO DE LA DETECCIÓN DE INTERFERENCIAS EN EL ARREGLO DE ANTENAS GNSS DEL CENAMEP AIP
R036	Alejandra Ledezma, Stephanie Arango & Gisselle Guerra-Chanis	Programa de Ciencia de las Costas para la divulgación científica en temas de hidrodinámica costera
R037	Joaquin Ortega, Luis Ortiz & Guillermo López	Integration of Hybrid Ocean Thermal Energy Systems for Green Hydrogen Production as a Sustainable Energy Strategy
R038	Adriana Sautu & Diana Marcela Zárate	Historia reciente de la comunicación de la ciencia en la República de Panamá
R039	Manuel Adolfo Garcia Gonzalez & Maricella Corpas	Contabilización de créditos del carbono
R044	Raul Fernando Solis Betancur	HALLAZGOS EN LA ENSEÑANZA DE LA METROLOGÍA: UN ANÁLISIS DE 10 AÑOS
R045	Diego Arrocha & Marilín Rodríguez	PRELIMINARY ASSESSMENT OF MACROINVERTEBRATES & WATER QUALITY IN TRIBUTARIES OF EL MONTOSO FOREST RESERVE, TRES PUNTAS, HERRERA, PANAMA (2022–2023)
R049	Julio César Mora Quintero, Gretchell Regalado & Alexis De La Cruz	Evaluación del uso de Trichoderma sp. y microorganismos de montaña como bioestimulantes del crecimiento de Phaseolus sp.
R052	Edwin González & Alfonso Carrión	EVALUACIÓN DE LA CIBERSEGURIDAD EN LA METROLOGÍA: ANALIZANDO LA RESILIENCIA ANTE AMENAZAS DIGITALES
R057	Eduardo Concepción Rodíguez	TENSIÓN SUPERFICIAL DE MEZCLAS ACUOSAS DE DIGLICOLAMINA A DISTINTAS TEMPERATURAS

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025 – ALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R062	Laura De La Cruz & Diego Ponce	Espirulina como Solución Natural para la Reducción de Pesticidas en el Cultivo de Apio y Tomate
R063	Paul Franklin & Laura De La Cruz	Agricultura Circular: Uso de Nutrientes Orgánicos Derivados del Suelo en Sistemas Aeropónicos Solares
R067	Paul Schalin, Gabriela Mock & Gisselle Guerra-Chanis	ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUA Y SALINIDAD EN RÍOS CON DESEMBOCADURA EN LA BAHÍA DE PANAMÁ - RÍO PACORA Y JUAN DÍAZ
R073	Héctor Acevedo, Ebony Prado & Fanny Castro	PUNTO DEL HIELO PARA EL SEGUIMIENTO DE TERMÓMETROS: ANÁLISIS COMPARATIVO DE SU REALIZACIÓN UTILIZANDO AGUA DESTILADA, FILTRADA Y DE GRIFO
R074	Hector Deng & Isaac Ruiz	Diseño y Construcción de un Sistema Portátil para la Verificación en Sitio de Medidores de Energía Eléctrica a Nivel Residencial
R075	Ana Loo, Jorge Chen & Guillermo Lopez	TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF AN ORGANIC RANKINE CYCLE FOR WASTE HEAT RECOVERY IN INDUSTRIAL PROCESSES
R077	Emily De León, Gabriela Parks, Guillermo López & Yeremi Pinilla	INNOVATION IN WATER FILTRATION | DESIGN, DEVELOPMENT, & EVALUATION OF A CAP WITH INTEGRATED MINERALIZING FILTER
R084	Fanny Castro, Ebony Prado & Héctor Acevedo	COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE HUMEDAD RELATIVA OBTENIDOS POR EL MÉTODO DE DOS PRESIONES VS TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCÍO
R087	Carmen Elizabeth Castaño Reyes, Maria De Los Angeles Ortega Del Rosario, Ricardo Caballero, Juan Carlos Noguera, Miguel Chen Austin & Max Medina	Del Aula a la Fábrica: Formación en Ingeniería Sostenible con un Módulo Extracurricular con Reciclaje, Fabricación Digital y Competencias Clave
R089	Nicomedes Ariel Jaramillo Gonzalez, Mónica Miranda & Rosa Elena Caballero	Optimización del proceso de esterificación con ácido cítrico para la obtención de un bioadsorbente a base de bagazo de caña

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R101	Tailín Díaz Flores, Mario L Miranda & Darío E Córdoba	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS CONCENTRACIONES DE CADMIO Y PLOMO EN MATRICES AMBIENTALES Y TEJIDO DE ALMEJA Leukoma sp. PLAYA BIQUE, PANAMÁ OESTE
R107	Yilveth Jacob, Leydis Botacio, Nidia Sandoval, Mario Arosemena & Diorene Smith	CONTROL DE ENTEROPARÁSITOS EN JAULAS DE PRIMATES NO HUMANOS DEL PARQUE MUNICIPAL SUMMIT: EVALUACIÓN DE TÉCNICAS FISICOQUÍMICAS IN VIVO
R108	Kevin Mitre, Dimas Gracia & José Kuruc	NUEVAS CAPACIDADES EN PAR TORSIONAL EN PANAMA
R110	Gabriela Botello & Darío Córdoba González	EVALUACIÓN ECOLÓGICA DE POBLACIONES DE LA ALMEJA BLANCA DEL GÉNERO LEUKOMA SPP. EN DOS ESTACIONES DE PLAYA BIQUE, ARRAIJÁN, PANAMÁ OESTE
R118	Raul Fernando Solis Betancur, Luis Mojica & Isaac Ruiz	VERIFICACIÓN DEL APANTALLAMIENTO DE UNA CÁMARA ANECOICA DE RADIOFRECUENCIA DE TIPO TOLDA
R120	Walkiria Rivas & Vanesa Elizabeth Peñalba Achurra	ESTRATEGIAS EMERGENTES: INTELIGENCIA ARTIFICIAL REDEFINIENDO EL MARKETING DIGITAL EN LAS PYMES PANAMEÑAS
R122	Alberto Lizondro, Ariel Solís & Viccelda Domínguez de Franco	Evaluación de la absorción de cobre en macrófitas : Hydrocotyle bonariensis, Eichhornia crassipes y Lemna minor
R124	Julio Alberto González Vannucchi, Carlos Espinosa Bejarano, Jorge Anderson, Amalkis González & Einar Barrios	COMPARACIÓN INTERLABORATORIO EN MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN PANAMÁ: UNA ACTIVIDAD CLAVE PARA ASEGURAR LA CALIDAD Y VALIDEZ DE LOS RESULTADOS
R137	Jayguer Vasquez Torres, Sucel López-Hernández, Clifton Clunie & Luis Joyanes Aguilar	Inteligencia artificial, medios digitales y brechas en América Latina: hallazgos desde el Observatorio TIC de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP)
R139	María Cedeño, Thasnee Solano & Miguel Chen	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN UNA VIVIENDA EN CLIMA TROPICAL: LÍNEA BASE HACIA UN ACONDICIONAMIENTO INTELIGENTE DEL AIRE

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R147	José B. Batista, Eduardo Chung, Adam'S Martínez, Joaquín Fábrega & Carlos Fernández	UNA IMPLEMENTACIÓN ABIERTA BASADA EN MONTE CARLO DEL MÉTODO DE GAUSS PARA LA DETERMINACIÓN INICIAL DE ÓRBITAS
R150	Samuel Marín, Victor Hernández & Luiyiana Pérez	Diseño UI/UX de una App para el registro de indicadores previos o posterior de un evento sísmico
R154	Luis Mojica, Raúl Solís & Cristy Sánchez	AVANCES EN LA CALIBRACIÓN DE FUENTES DE REFERENCIA DE POTENCIA DE RADIOFRECUENCIA
R155	Constantin Kruger & Klaus Winter	Efecto de la elevada temperatura de crecimiento en la fisiología de plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle L.) a diferentes salinidades
R156	Maria Martinez, Elianne Pauli Quirós, Stephanie Lammie, Gabrielle Britton, Elsa Fajardo & Diana Oviedo	PERCEPCIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA SALUD Y BIENESTAR COGNITIVO Y FÍSICO DE UN PROGRAMA DE INTERVENCIONES EN PERSONAS MAYORES EN LA CIUDAD DE PANAMÁ
R159	Keyla Boniche & Edmanuel Cruz	Entrenamiento y optimización de modelos de Deep learning para la monitorización de la población de pollos en plataformas Edge Computing.
R162	Yadyra Yanez, Lia Nadir Caballero Hidalgo & Diana Oviedo	Medición del impacto de un programa de arteterapia sobre el estado emocional y cognitivo de personas mayores institucionalizadas en un albergue público de la Ciudad de Panamá durante el 2024/2025.
R164	Natasha A. Gómez-Zanetti, Dina Henríquez, Jorge Olmos & Yazmin L. Mack-Vergara	EVALUACIÓN DE LA DUREZA COMO INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA EN EL DISTRITO DE TONOSÍ, PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ
R166	Kathleen Castillo-Martínez & Yazmin L. Mack-Vergara	Estrategias de construcción para abordar la resiliencia frente al cambio climático: estructuras verdes, grises e híbridas
R169	Andrea Martinez	Investigating the presence of yeast in ensiled Multispecies & Perennial Ryegrass – White Clover Grasses using PCR
R173	Bey de la Guardia, Álvaro Terán Quezada, Viccelda Domínguez de Franco & Víctor López-Cabrera	Implementación de la inteligencia artificial para la segregación de residuos, al utilizar como caso de estudio los residuos sólidos de la Universidad Tecnológica de Panamá

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R178	Jefrey Almengor & José Gallardo	ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS RAYLEIGH EN ESTRATOS POCO PROFUNDOS MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW)
R179	Yazmin L. Mack-Vergara, Natasha A. Gómez & Karol Arjona	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES HACIA UNA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE
R182	Elianne Pauli, Diana C. Oviedo, Gabrielle B. Britton, Giselle Rangel, Alcibiades Villarreal, Adam Tratner, Stephanie Lammie, María Fernanda Martinez, Natalia López, Jemila Juarez & Hjalmar Jones	Resultados de un programa piloto de intervención multidominio para promover la salud cognitiva, física y emocional en adultos mayores en Panamá
R183	Victoria Atencio, Carla Fernández, Digna Rodríguez, Anyi Tuñon, Dan Martínez, Hermes Santos, Mileyka Santos, Rolando Torres, Lorenzo Cáceres, Claudia Pérez, Anayansi Valderrama, Luis F. De León & Anakena M. Castillo	INTERACCIONES ECOLÓGICAS ENTRE LARVAS DE MOSQUITOS, DEPREDADORES ACUÁTICOS Y FACTORES AMBIENTALES EN ECOSISTEMAS DULCEACUÍCOLAS DE PANAMÁ
R185	Lucia Morales, Aaron O'Dea & Erin Dillon	Crecimiento Pre y Posnatal del Tiburón Martillo Común (Sphyrna lewini) en el Pacífico Panameño
R187	Rafael Romero, Jessica Guevara & Vanessa Quintero	SEGUNDA VIDA DE LAS BATERÍAS: APLICACIONES EN EL CONTEXTO NACIONAL
R189	Joel Guevara, Gricelda Bethancourt & Ildemán Abrego	Diseño y Construcción de un sistema de anodizado de dos pasos para la determinación del espesor de la capa barrera a diferentes voltajes en películas ⟦Al⟧_2 O_3
R190	Analkarys Andrew, Hector Poveda & Carlos Boya-Lara	Mapas de características y clasificadores explicables para el diagnóstico de descargas parciales en sistemas de alta tensión
R191	Benito Acuña, Alvaro Maturell & Carlos Boya-Lara	Sistema embebido con sensores UHF y Edge Computing para detección y procesamiento de descargas parciales en aisladores eléctricos externos
R192	Martin Chang & Jhonny Correa	Exploración del potencial biotecnológico de bacterias halofílicas y halotolerantes en suelos forestales y salinos de Panamá
R197	Raul Fernando Solis Betancur, Luis Mojica, Isaac Ruiz, Kevin Chaw, Carlos A Donado Morcillo & Carmenza Spadafora	CARACTERIZACIÓN METROLÓGICA INTEGRAL DE UN SISTEMA PORTÁTIL DE MICROONDAS PARA LA INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DEL PARÁSITO DE LA MALARIA DESARROLLADO EN PANAMÁ

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R198	Alanis González, Carlos Abadía & Krysna Samudio	Implementación de conexiones eléctricas a tierra en puertos panameños como estrategia de mitigación de emisiones atmosféricas conforme al Anexo VI del Convenio MARPOL
R202	Ana Cristina González-Valoys, Jorge Quijada-Alarcón, Jorge Olmos, Javier Lloyd, Jonatha Arrocha, Yarisel Velásquez, Fidedigna Ortiz, Felipe Segundo, Itzel Melissa Muñoz Pérez, Paola Torres, Efrén García-Ordiales, Francisco Jesús García-Navarro & Pablo Higueras	EL MONITOREO AMBIENTAL COMO LÍNEA BASE PARA LA RESTAURACIÓN DE SITIOS MINEROS
R206	Ana Alejandra Espinosa Mojica	Perfil lingüístico-cognitivo en un niño con una microduplicación Yq11.221: aportes de un estudio de caso a la investigación en enfermedades raras
R207	Carlos González & Ka Lai Ng Puga	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO UTILIZANDO CENIZAS DE HOJA DE BAMBÚ COMO MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO EN AMBIENTES COSTEROS
R219	Eric Enrique Flores De Gracia & Joelbin Rafael De la Cruz Aparicio	Tasas de depredación de Dendrobates auratus en el pacífico de Panamá, usando modelos artificiales
R223	Andrés Iglesias, Douglas Thain, Ben Tovar, Scott Hampton & Paul Brenner	Acelerando el uso intensivo de datos en flujos científicos a través de contratos de consistencia
R224	Ana Castro, Jenifer Chen, Alexis Ng & Andrey Kuehlkamp	Análisis Integral de Blockchain en la mejora de la Seguridad, Eficiencia y Confianza en la Red de Ethereum
R225	Rosalin Ríos, María Nieves Pérez Marfil, Manuel Fernández Alcántara, Francisco Cruz Quintana & María Carreira	EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN EN CONDUCTA SUICIDA EN LA POBLACIÓN DE 18 A 50 AÑOS DE EDAD, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ
R234	Daniela Cheng & Samuel Rund	Pronóstico de enfermedades: datos de vigilancia de mosquitos y predicción utilizando herramientas de inteligencia artificial
R235	José Robles, Alfredo Campos, Rachel Page, José Cornó, José Jaén & Alexandre Olivié	Primera estación de Contaminación lumínica en Panamá

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R236	Emily Chon Sin	IMPACTO PSICOLÓGICO DEL DUELO, POR LA PÉRDIDA DE UN SER QUERIDO, EN NIÑOS DE 7 A 11 AÑOS QUE ASISTEN A LA FUNDACIÓN PIERO RAFAEL MARTÍNEZ DE LA HOZ, 2024-2025
R238	Rafael Castillo Watts & Maria De Los Ángeles Ortega Del Rosario	DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS BIORECEPTIVAS EN ARCILLA MEDIANTE MANUFACTURA ADITIVA
R239	Dionisio Antonio Olmedo, Erick Correa Padilla, Manuel López Ortiz & Pablo N. Solís	Aplicación de Aprendizaje Automático e Inteligencia Artificial en el Descubrimiento de Fármacos
R240	Edgar Vásquez & María Ortega	MODELO DE DISEÑO PARAMETRICO PARA ARRECIFES ARTIFICIALES FABRICADOS MEDIANTE MANUFACTURA ADITIVA
R245	Jhonatan Martínez & Luis Ramirez	CARACTERIZACIÓN DEL HONGO CAUSANTE DE LA MANCHA FOLIAR EN Terminalia catappa EN PANAMÁ
R247	José G. Cornó, Alfredo Campos & José L. Robles	Instrumentación y Control de la primera estación de Contaminación lumínica en Panamá
R252	Michael Uriel Gutiérrez Bucardo, Abril del Pilar Castillo Suncin, David Alberto Cerda Granados & María Eugenia Cerda Castillo	Efecto del cambio climático en la distribución del género Pinus para el 2050 en Nicaragua
R255	Pon Shun Camaño, Alex Espinosa, Ana Isabel Santana Tenorio & Pablo N. Solís G.	Composición Química del Aceite Esencial de Mespilodaphne morae (Gomez-Laur.)
R264	Samantha Miranda, Marita Mojica, Diana C. Oviedo & Gabrielle B. Britton	AFECTACIONES DE LAS FUNCIONES COGNITIVAS DE LAS PERSONAS MAYORES CON ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES ENTRE LAS EDADES DE 60 A 80 AÑOS EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ
R275	Martin Gomez, Joséfrancisco Galue, Carloz Lezcano, Yelissa Juarez, Luis Felipe Rivera, Javier Sanchez Galan & Jean Paul Carrera	Desarrollo de un Chatbot para el Registro y Notificación de Casos en el Sistema Integrado de Vigilancia y Alerta Temprana (SIVAT), con enfoque One-Health
R278	Ilka Esmeralda Fiol, Carlos Lezcano, Josefrancisco Galue, Yelissa Juarez, Luis Felipe Rivera, Tamara Salcedo, Jonatan Guerra, Javier Sanchez Galan & Jean Paul Carrera	Determinación de la asociación entre la incidencia de casos de Dengue y variables climáticas, biofísicas y sociales en la región metropolitana de Salud de Panamá, utilizando modelados geoespaciales

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R279	Marcos J. Ramos	ENTENDIENDO LOS EFECTOS DE LA SOMBRA SOBRE LA REGULACIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN SISTEMAS AGROFORESTALES A BASE DE CACAO
R281	Adriana Maldonado, Mileyka Santos & Edgar Pérez	COLECCIÓN DE PIELES DE AVES DE LA COLECCIÓN ZOOLÓGICA DR. EUSTORGIO MÉNDEZ: UNA HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN Y LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN PANAMÁ
R284	Grace Ruiz, Gabriela Rodriguez, Marcelino Gutierrez & Cristopher Boya	AISLAMIENTO Y BIOACTIVIDAD DE LA MICROBIOTA ASOCIADA A UN CORAL CEREBRO DEL CARIBE PANAMEÑO
R286	José Jaén, José Robles & Rafael Vejarano	AUTOMATIZACIÓN PARA LA DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES NOCTURNAS PARA EL MONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ
R289	Janeth D. Jaen J., Carlos Vergara-Chen & Hector Guzmán	EVALUACIÓN ACÚSTICA E HIDRO-CLIMÁTICA EN EL HUMEDAL SAN SAN POND SAK: IMPACTO DEL RUIDO DE BOTES PARA LA CONSERVACIÓN DE MANATÍES
R291	Cecyl Franco Tuñón, Allison Piper Vargas, Marian Moreno Martínez, Jessibeth Caballero González & Abdel Solís Rodríguez	IMPACTO DEL ENVEJECIMIENTO SALUDABLE SOBRE LA CALIDAD DE VIDA Y EL BIENESTAR PSICOLÓGICO Y COGNITIVO DEL ADULTO MAYOR EN PANAMÁ.
R293	Jose Rodriguez, Dumas Galvez, Thomas Hesselberg, John Styrsky & Candelario Rodriguez	Mimetismo químico en el sistema Acacia–Hormiga Pseudomyrmex y Arañas Eustala
R295	Mariel Monrroy, José Renán García & Mariel Monrroy	CAPACIDAD DE LA PLANTA DE CAJANUS CAJAN PARA ABSORBER Y BIOACUMULAR METALES PESADOS DE SUELOS CONTAMINADOS
R296	Nayeli Mathews, José Renán García & Mariel Monrroy	Caracterización fisicoquímica de mieles de apiarios en la provincia de Chiriquí
R302	Samantha Villarreal, Josué Gonzalez, Juan Díaz, Elsy Lezcano & Javier Sánchez-Galán	Una Propuesta para la creación de un Asistente Artificial a la Mediación en el Marco de la Justicia Comunitaria

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R304	Estefany Castillo & Francisco Grajales-Saavedra	DESARROLLO DE UN PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN AGREGADOS DE CAPA BASE
R311	Jorge Manuel Castillo Beitia, Géminis Vargas, Osiris Murcia & Jorge Manuel Morales Saldaña	MACROFAUNA ASOCIADA AL SUSTRATO BLANDO EN UN ECOSISTEMA DE MANGLAR EN LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ
R315	M.D.L.A. Villarreal Martino, M.D.R. Rivera Reyes, A. Solís-Rodríguez & J. Caballero	El Aula y sus Ecos Silenciosos: Ansiedad y Bullying en Estudiantes Panameños
R320	Jahir Ureña, Lurys Martinez & Hellys Saurí	Producción y análisis de bebidas alcohólicas elaboradas a partir de mermas de frutas tropicales de Nance (Byrsonima crassifolia), papaya (Carica papaya L) y piña (Ananas comosus) cultivadas en Panamá.
R321	Andrea Pipino, Lucia Cárdenas, Fausto Rivera & Marcos Núñez	SISTEMA PARA EL MONITOREO EN TIEMPO REAL Y PREDICCIÓN DE CALIDAD DEL AGUA EN EL LAGO ALHAJUELA, CUENTA HIDRÓGRAFICA DEL CANAL DE PANAMÁ
R329	Arnulfo Alvarez, Carlos Gaytan & Guillermo López	ESTIMATION OF THERMAL CONDUCTIVITY IN BIOCOMPOSITE PANELS MADE FROM RICE HUSK, CLAY & HYDRATED LIME AS AN ECO-FRIENDLY THERMAL INSULATION ALTERNATIVE
R335	Euclides Deago & Julieth Alvarez	Calathea Lutea (Bijao) y su papel fisiológico en la depuración de agua residual en Humedales artificiales
R336	Anabel Castro, Jessica Guevara & Vanessa Quintero	ESTIMACIÓN DEL ESTADO DE CARGA CON TARJETAS DE BAJO COSTO
R339	Yazmin L. Mack-Vergara, Nazareth Batista, Ka Lai Ng Puga, Ana Raquel Ulloa, Ricardo Herrera & Wolfram Schmidt	¿QUÉ ES UN CONCRETO SOSTENIBLE EN PANAMÁ?
R341	Yazmin L. Mack-Vergara, Natasha A. Gómez-Zanetti, Kathleen J. Castillo-Martínez & Vanderley John	SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN PANAMA: CHALLENGES & OPPORTUNITIES

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R342	Yazmin L. Mack-Vergara, Nazareth Batista, Edgar Moreno, Ka Lai Ng Puga, Marco Quattrone & Vanderley John	DESEMPEÑO AMBIENTAL DEL HORMIGÓN EN PANAMÁ: ¿CÓMO MEDIR?
R347	Melany Nicole Medina Pérez, Maria De Los Angeles Ortega & Diego Antonio Griffith	Evaluación Integral de Biocompuestos de Arcilla para Manufactura Aditiva: Innovación Sostenible desde Recursos Naturales en Panamá.
R357	David Rodríguez, Fausto Rivera & José Carlos Rangel	Reconstrucción 3D de la Mano a partir de Cámara Única para Control Gestual en Entornos Virtuales
R362	María C. Córdoba B. & Nicomedes A. Jaramillo G.	Evaluación preliminar de la capacidad adsorbente de una muestra de bagazo de caña funcionalizado y su eficiencia de remoción del 4-aminofenol
R365	José Urriola, Juan Blandon & María Ortega	Experimental & Numerical Evaluation of Interlaminar Adhesion in Multimaterial 3D Printing
R367	Wenddy Pinzon-Atencio, Rosana Vergara, Nicomedes Vergara, Manuel Castillero, Rogelio Mogoruza, Jose Harris, Naicolette Agudo, Alexis Mojica & Francisco Grajales-Saavedra	ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE VELOCIDAD DE ONDA CORTANTE EN SUELOS RESIDUALES DE PANAMÁ MEDIANTE CORRELACIONES CON ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR
R371	Carlos Jimenez, Arnaldo Diaz & Rachel Collin	Integración del monitoreo biogeoquímico con ensayos experimentales para evaluar la degradación de materia orgánica en sedimentos de manglar
R385	Carlos Peters & María de Los Ángeles Ortega	La Bioinspiración como Camino hacia la Innovación Tecnológica: Un Análisis del Proyecto
R391	José Gallardo, Mauricio Miranda & Karem Samudio	Análisis comparativo de frecuencias (2016–2025) de puentes en la vía Panamericana, tramo Bugaba–San Félix
R392	José Renán García & Mariel Monrroy	PERFIL FITOQUÍMICO Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS DE HOJAS DE CAJANUS CAJAN

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R397	Genesis Villarreal, Helene Muller-Landau, Liza Comita & Nohemi Huanca Nuñez	CARACTERIZACIÓN DE VARIABILIDAD INTRAESPECÍFICA E INTERESPECÍFICA DE PLÁNTULAS DE ÁRBOLES Y LIANAS TROPICALES USANDO DATOS DE REFLECTANCIA ESPECTRAL, EN UN GRADIENTE AMBIENTAL DEL CENTRO DE PANAMÁ
R400	Juan Oliveros Lopez, Jose Alvarado Pitti & Nadiuska Platero Alvarado	ERRORES DE REFRACCIÓN EN ESCUELAS RURALES Y URBANAS DE PANAMÁ
R409	Sergio Gonzalez-Serrud, Ana Gonzalez-Valoys & Marina P. Arrieta	DESARROLLO DE PELÍCULAS DE PLA REFORZADAS CON PARTÍCULAS DE HOJA DE PIÑA Y KOMBUCHA DE HOJA DE PIÑA: EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DE BARRERA Y BIODEGRADABILIDAD
R412	Ana Gabriela Carrasco González, Jimena Salazar, Jessibeth Caballero & Abdel Solís	ANÁLISIS DEL PERFIL COGNITIVO EN UNA MUESTRA DE NIÑOS DE 7 A 8 AÑOS, COMO MODELO DE LÍNEA BASE QUE ORIENTE UNA INTERVENCIÓN NEUROPSICOLÓGICA INFANTIL
R417	Carlos Peters & María de Los Ángeles Ortega	La Bioinspiración como Camino hacia la Innovación Tecnológica
R418	Tanisha Pérez, Jalelys Leones, Martha Cuenca, Indira Franco & Juan Serrato	Formulación de una bebida alcohólica fermentada a base de miel y frutas tropicales: alternativa con valor agregado para la apicultura.
R419	Miguel Cardozo, Mónica Miranda, Nicomedes Ariel Jaramillo Gonzalez & Rosa Elena Caballero	Optimización de un protocolo integrado de fermentación y bioadsorción para la decoloración de vinazas de caña de azúcar utilizando diseños de superficie de respuesta
R422	Guillermo Rivera, Luis Rolón & Guillermo Lopez	Design & evaluation of a spherical system for seawater desalination via thermally driven distillation assisted by solar energy..
R424	Emili Espino, José Vergara & Guillermo López	Estimation of Thermal Conductivity in Biopanels Based on Particulate Lignocellulosic Residues
R426	Daniel Diaz, Víctor López Cabrera & Javier Sánchez-Galán	Sistema de reconocimiento facial con detección de vida consumible a través de internet, mediante un servicio web tipo REST
R430	Johan Montenegro, Carmen Castaño, Ricardo Caballero & Maria Ortega	Uso Sostenible de Desecho Plástico Tipo HDPE/PP para la fabricación de filamento de impresión 3D

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R437	María José Bolivar & Grimaldo Ureña	Evaluación de métodos de reducción de dimensionalidad para la identificación de patrones de expresión genética en GIST
R438	Yulissa Quintero, Luis Ramírez, Indira Martínez & Román Gordon	DIVERSIDAD FÚNGICA EN SUELO DE CULTIVO DE MAÍZ Y SU ACTIVIDAD INHIBITORIA CONTRA Fusarium verticillioides
R440	Shannon Weeks & Joan Artolas	CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS EN LA REGIÓN COSTERA DE ANTÓN Y SU IMPACTO EN LA ESPECIE DE CAMARÓN BLANCO LITOPENAEUS VANNAMEI
R443	Ivana Tejada, Diana Oviedo, Gabrielle Britton, Alcibiades Villarreal & Anna Diaz	Impacto Psicológico de la Devolución de Biomarcadores asociado a la enfermedad de Alzheimer
R447	Onix Araúz, Adrian Serrano, Mariel Monrroy & José Renán García	Determinación del contenido de azúcares en bebidas no alcohólicas por HPLC y espectroscopia infrarroja
R449	Azael Saldaña, Kadir González, Milixa Perea, Chystrie Rigg, Vanessa Pineda, José E. Calzada & Nicole Gottdenker	MUESTREO SIN HACHA: EFICIENCIA COMPARADA DE TRAMPAS TIPO NOIREAU EN PALMAS REALES INFESTADAS POR RHODNIUS PALLESCENS EN TRES HÁBITATS RURALES DE PANAMÁ
R452	David Montenegro, Moises Puerta, Néstor Quijano & Guillermo López	EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE GALVANIZADO POR ELECTRODEPOSICIÓN SEGÚN LA VELOCIDAD DEL FLUJO
R462	Krystie Miranda Gonzalez, Amparo Catillo-Vigil & Milena Freitas	EVALUACIÓN ENDOPARASITARIA DE ANIMALES DOMÉSTICOS COMO ESPECIES INVASORAS EN AMBIENTES SINANTRÓPICOS ZONAS CAFETALERAS, CHIRIQUÍ.
R464	Jesús A. Santamaria, Gabriela Quintana-Mendez & Virgilio Castillo	Producción de energía eléctrica a bordo de buques mediante la quema de hidrógeno aplicado a un Ciclo Rankine
R472	Viviana Carrasco & Diana Gómez	Evaluación del estrés térmico y regulación hídrica en especies de Bromeliaceae como aproximación a estudios de cambio climático

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R479	Raul Fernando Solis Betancur	RED DE TIEMPO Y FRECUENCIA DEL SIM: APLICACIÓN DE LA DIPLOMACIA CIENTÍFICA EN LA METROLOGÍA Y SU RESULTADO EN PANAMÁ
R482	Ana Karen Franco-Abrego, Jose Fabrega-Duque, Miguel Salceda-Gonzalez, Sidney Saavedra, Betzabe Atencio, Xavier Sanchez, Elsa Flores, Iris Arjona, Rita Rodriguez & Eilon Adar	Evaluación del Potencial Hidrogeológico en Zonas Vulnerables de Panamá (Arco Seco de Panamá)
R487	Juan Di Trani, Virginia Meléndez Ramírez, Anovel Barba & Yostin Añino	Foraging patterns of bees in watermelon (Citrullus lanatus Thunb.) flowers in Panama
R497	Joselli Fossatti, Gesabel Navarro-Velasco, Ariadna Bethancourt, Fermín Mejía, Celestino Aguilar, Alex Martínez-Torres, Jordi Querol-Audi & Carolina Guevara	ESTUDIO MOLECULAR DE HONGOS CON POTENCIAL PATÓGENO PRESENTES EN BIOAEROSOLES DE LA BAHÍA DE PANAMÁ
R498	Jorge Molina, Gricelda Bethancourt & Ildeman Abrego	PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, ELÉCTRICA Y SENSORA DE NANOHILOS DE SnO_2 SOBRE PLANTILLAS DE Al_2O_3
R500	Mary Foster, Angel Caballero & Gabriela Mero	ANSIEDAD SOCIAL ANTE MULTITUDES Y ATAQUES DE PÁNICO EN ESPACIOS PÚBLICOS CONCURRIDOS EN ADOLESCENTES DE 13 A 17 AÑOS EN ESCUELAS SECUNDARIAS DE PANAMÁ OESTE
R501	Fernando Castro, Joisleen Ramírez & Arthur James	Evaluación del biocarbón como potenciador en la generación de metano con biomasa lignocelulósica y residuos municipales
R505	Héctor Miranda, José Trelles & Eleicer Ching	Estudio Morfológico, Óptico y Eléctrico de Películas Delgadas de BFO con Potencial Uso en Aplicaciones Fotovoltaicas
R508	Andrea González, Meredith López & Alberto Alonzo Christopher	Impacto del e-Commerce en la Logística Urbana
R513	Alexis Rogelio Gonzalez & Jorge Gonzalez-Chan	Evaluación de la degradación del antibiótico ciprofloxacina en un proceso de oxidación avanzada en un reactor Foto-Fenton.
R518	Gabriel Sanguillen, Iris Rivera, Moisés Barría, Jorge Gonzalez-Chan, Dayubeth Pinzón-Nuñez, Orlando Leone & Denis Vega Montenegro	DESARROLLO DE UN MÉTODO ÁGIL PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ETANOL (ALCOHOL POR VOLUMEN) EN CERVEZAS ARTESANALES E INDUSTRIALES POR CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADA A UN DETECTOR DE IONIZACIÓN POR LLAMA (GC-FID)
R522	Aneth Sarmiento & Efrain Del Rosario	USO DE TECNOLOGÍAS SIG EN LA EVALUACIÓN DEL ESTADO FITOSANITARIO DEL ARBOLADO URBANO

SESIÓN DE PÓSTERS - JUEVES 2 DE OCTUBRE DE 2025
SALÓN MIRAFLORES (4:00PM – 7:00PM)

#	AUTORES	TÍTULO DEL PÓSTER
R523	Marcos Diaz, Jorge González-Chan, Andrea Britton & Yanelis Guevara	Hierro bajo la lupa: desarrollo y validación de un método espectrofotométrico visible para la determinación de hierro (II), hierro (III) y total en medicamentos comercializados en Panamá
R524	Aneth Sarmiento, Karina García, Javier Sánchez-Galán, Yostin Añino & Jean Paul Carrera	SUSTAINABLE PRACTICES FOR FARMING AROUND FORESTS
R525	Iris Rivera, Dayubeth Pinzón, Moisés Barría, Gabriel Sanguillen & Jorge González	COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE CRISTALES DE LA SAL DOBLE DE SULFATO DE POTASIO Y CROMO (III) DODECAHIDRATADO ($KCR(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)
R529	Deilyn Quiel, José Renán García M. & Mariel Monrroy	DETECCIÓN DE GENES DE RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE CHIRIQUÍ, MEDIANTE qPCR
R531	Ana C. González-Valoys, José Ulises Jiménez, Eligio Castillo, Rita Araúz, Abelardo Franco, Nicole Araya, Felipe Segundo & Ulysses de Albuquerque	RESCATE DEL CONOCIMIENTO NGÄBE-BUGLÉ SOBRE PLANTAS MEDICINALES PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES TROPICALES Y LA PROMOCIÓN DE MEDIOS DE VIDA SOSTENIBLES
R533	Miguel Chen Austin	ANÁLISIS DEL IMPACTO URBANO Y CLIMÁTICO EN LA FIRMA TÉRMICA Y CONFORT PEATONAL EN CIUDAD DE PANAMÁ MEDIANTE TELEDETECCION.
R536	Oscar Arosemena, Bryan Herrera, Ana Zuleta, Krysna Samudio & Viccelda Dominguez	Evaluación del impacto ecológico del agua de lastre y presencia de especies invasoras en los puertos de Balboa y PSA
R539	Diorlenys Keylin Cubilla Caballero & Héctor Guzmán	Caracterización nutricional de las plantas consumidas por el manatí (Trichechus manatus manatus) en el Humedal San San Pond Sak, Changuinola, Bocas del Toro, Panamá

Listado de Simposios/Foros/Mesas /Talleres por Temática

1. Ciencias de la Sostenibilidad y el Medio Ambiente

A32	**SIMPOSIO**	UTP - Javier Sánchez Galán	Simposio de Computación de Alto Rendimiento para el Monitoreo y Modelación de Recursos Hídricos.
A37	**FORO**	UTP - Aneth Sarmiento	Bosques Urbanos: Vinculando ciencia para la articulación en la gestión urbana verde.
A39	**SIMPOSIO**	Inter-American Institute for Global Change Research - Omar López-Alfano	Conectando Saberes y Soluciones: Innovación, Comunidad y Equidad Ante el Cambio Climático en Centroamérica.
A42	**SIMPOSIO**	UTP - Aneth Sarmiento	Uso de desechos de poda urbana con biotecnología para alcanzar las metas del ODS 11

2. Ciencias Naturales y Exactas

A04	**MESA REDONDA**	UP - Eduardo Chung	La Astronomía como catalizador STEM
A18	**FORO**	UTP CIHH - Gisselle Guerra	Impacto de las investigaciones en hidrodinámica costera en las políticas pública de Panamá.
A21	**SIMPOSIO/TALLER**	UTP-Civil - Jorge Quijada-Alarcón	Taller de Transporte, Movilidad y Territorio (TMT).
A30	**SIMPOSIO**	STRI - Sabrina Amador	Comportamiento de artrópodos: pequeños organismos, grandes lecciones.

4. Ciencias de la Salud y Biomedicina

A01	**SIMPOSIO**	CNBI - Jesica Candanedo	Transparencia en investigación para la toma de decisiones.
A02	**SIMPOSIO**	CEVAXIN - Rodrigo De Antonio	Innovación con impacto: Soluciones que transforman la salud.
A06	**SIMPOSIO**	INDICASAT - Fermín Acosta	Tuberculosis y Una Sola Salud en Panamá.
A07	**FORO**	APCAL/INDICASAT AIP - Rosa De Jesús	Conociendo el desarrollo de la Investigación con Biomodelos Experimentales en Panamá.
A11	**SIMPOSIO**	INDICASAT-AIP - Sofía Rodríguez A.	A-B-C de la investigación en neurociencias del envejecimiento del PARI-HD.
A14	**SIMPOSIO**	Infectotrópico - José Antonio Suárez	Contribuyendo con el aprendizaje de los vectores involucrados en enfermedades arbovirales.
A15	**MESA REDONDA**	UP - Ivonne Torres-Atencio	Inmunometabolismo: Investigación básica y clínica del Grupo de investigación en Inmunometabolismo, cáncer y Enfermedades Crónicas Inflamatorias (GIICEC) en Panamá.

A17	**SIMPOSIO**	ICGES - Kadir González	Avances en la Investigación de la Leishmaniasis y Enfermedad de Chagas en Panamá desde la Epidemiología Molecular hasta la Inmunopatología Clínica.
A19	**SIMPOSIO**	ICGES - José Calzada	Dinámica de Transmisión de Malaria en Panamá: Una Visión Integral desde lo Molecular a lo Climático (Malaria en Panamá: desafíos actuales y perspectivas integradas para el control y la eliminación")
A27	**SIMPOSIO**	CRIVB-AIP - Jean Paul Carrera	"One-Health" como estrategia integral para la vigilancia, prevención y control de epidemias: resultados y lecciones desde América Latina
A31	**SIMPOSIO**	ICGES - Davis Beltrán	Innovación Tecnológica en Análisis Citométrico: Aplicaciones Bidireccionales entre Investigación y Salud Pública.
A33	**CURSO/TALLER**	Universidad de South Florida - Arlene Calvo	Taller de Revisión de Literatura Científica y Escritura de Artículos Científicos en Salud.
A36	**SIMPOSIO**	UP - Leyda Ábrego	Visión del futuro de la Vacunología desde el Centro Regional de Innovación en Vacunas y Biofármacos CRIVB-AIP para Panamá y la Región de Centro América y el Caribe.
A38	**SIMPOSIO**	ICGES - Leyda Ábrego Sánchez	Metapneumovirus humano (MPVh): Urgencia de vigilancia global y desarrollo de vacunas futuras.

5. Ciencias Agrícolas y Alimentarias

A16	**SIMPOSIO**	INDICASAT AIP - Sergio Martínez-Luis	Bioprospección: Descubriendo Recursos Naturales para un Futuro Sin Pesticidas Sintéticos.

6. Ciencias Sociales, Jurídicas, Humanísticas y de la Educación

A08	**SIMPOSIO**	CIEPS-AIP - Eugenia Rodríguez Blanco	Diálogos intergeneracionales de científicas sociales panameñas.
A22	**FORO**	UP IISED - Gabisel Barsallo	Trayectorias, Desigualdades y Resiliencia de las Mujeres Científicas en Panamá.
A34	**FORO**	Asamblea Nacional - Marco A. Rodríguez	Innovación Institucional y Evidencia Científica para la Toma de Decisiones en Políticas Públicas.
A41	**SIMPOSIO**	UMECIT-Magdy De Las Salas	Semilleros de Investigación: Cultivando Vocaciones Científicas desde La Formación Temprana Universitaria
A47	**MESA REDONDA**	UP-MiguelEsbrí	Mediación y conciliación: ciencia, sociedad y justicia en transformación
A48	**FORO**	UP-MiguelEsbrí	Formación Profesional Dual en Panamá: Innovación Educativa para el Desarrollo Sostenible

7. Ciencias Interdisciplinarias y Temáticas Emergentes

A03	**FORO**	CIEDU-AIP - Aura López	Impulsando el futuro de la Ciencia: El rol de ios Investigadores de carrera temprana en Panamá.
A05	**MESA REDONDA**	USMA - Luis Antonio Toruño	El cambio de Paradigma dentro de las Ciencias del Conocimiento y su importancia práctica en las Ciencias Jurídicas y Sociales.
A12	**MESA REDONDA**	Inter-American Institute for Global Change Research - Kim Portmess	Diplomacia científica en las Américas: La convergencia de ciencia, política y diplomacia para resolver los retos de desarrollo sostenible.
A20	**MESA REDONDA**	CIDES-AIP - Argentina Ying	Gestión pública basada en la ciencia: experiencia de la Alcaldía de Florencia y la Alcaldía de Arraiján.
A23	**FORO**	CDS - Yen Caballero	Ciencia, Tecnología e Innovación Abierta e Inclusiva como impulsor del Desarrollo Social Sostenible en Centroamérica y la República Dominicana.
A35-1	**MESA REDONDA**	SNI-ODCYT - Sandra Sharry / Omaira Rodríguez	Panamá Sostenible: Un Pantallazo a 40 Años: El rol de las AIPs en el desarrollo sostenible
A35-2	**MESA REDONDA**	SENACYT-ODCYT - Omaira Rodríguez	Sostenibilidad Ambiental, Conservación y Gestión de Recursos Naturales
A35-3	**MESA REDONDA**	SENACYT-ODCYT - Omaira Rodríguez	Innovación y Desarrollo Tecnológico para la Sostenibilidad
A40	**SIMPOSIO**	INDICASAT-AIP - Luis C. Mejía	Presente y Futuro de la Genómica en Panamá
A43	**SIMPOSIO**	UMECIT-Magdy De Las Salas	Avances en Ciencias Forenses, Salud y Educación: Experiencia de Investigación desde la UMECIT
A44	**SIMPOSIO**	Casio Computer Co., Ltd	EMASIA – Enseñanza Matemática Aplicada y Sostenible con Inteligencia Artificial
A45	**SIMPOSIO**	INDICASAT-AIP - Dámaso Muñoz	Lecciones aprendidas: Investigaciones científicas transformativas conducidas en el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT AIP)
A46	**MESA REDONDA**	UTP - Aneth Sarmiento	El Papel de las Biotecnologías en el Desarrollo de la Bioeconomía en Panamá
A49	**TALLER**	Andrés Mauricio García Sierra - EpiDriver	Cómo convertir un paper científico en un Policy Brief

XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
APANAC 2025
40
años de ciencia y tecnología

TRABAJOS COMPLETOS

Trabajos Completos

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

EXPLORANDO EL POTENCIAL DE STEAM EN LA ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA: ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN ACCIÓNEN UN COLEGIO OFICIAL DE PANAMÁ OESTE

Jackson, Daysi
Colegio San Carlos
Panamá Oeste, Panamá
0000-0003- 2880-0440

Mendoza, Nelson
Colegio San Carlos
Panamá Oeste, Panamá
nelson.mendoza@meduca.edu.pa

Araúz, Nitzie
Colegio San Carlos
Panamá Oeste, Panamá
nitzie.arauz@meduca.edu.pa

Abstract

This participatory action research was conducted in a public school in Panama Oeste with tenth-grade Science students, focusing on the implementation of the STEAM methodology (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) in mathematics teaching. The purpose was to analyze its impact on learning and its transformative potential in the educational environment, considering the historical difficulties of this discipline, such as high failure rates and student demotivation.

The educational project, Solar Panels, was based on Project-Based Learning (PBL). It originated from a real need: replacing the use of electricity in a poultry shed with solar energy. This context allowed geometry and trigonometry to be linked with other areas such as science, geography, and technology, through tools like GeoGebra, Khan Academy, TEAM, solar calculators, and Google Maps, fostering interdisciplinary and meaningful learning.

Data collection included semi-structured and in-depth interviews, document analysis, and classroom observations, enabling an evaluation of the perceptions of students, teachers, and parents. The guiding questions addressed the effectiveness of the current curriculum, the relevance of classroom assessments, and the factors that facilitate or hinder the successful implementation of STEAM.

Results show that STEAM revitalizes mathematics teaching, increasing participation and

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

comprehension, although its success depends on institutional support, teacher training, and adequate resources. The study concludes that traditional teaching and assessment strategies must be reconsidered, recommending a holistic approach that combines curriculum updates, teacher training, and pedagogical resources to achieve a lasting impact on mathematics education.

Keywords: Mathematics Education, STEAM, Project-Based Learning, Transdisciplinarity, Educational Innovation.

Resumen

La investigación-acción participativa se desarrolló en un colegio oficial de Panamá Oeste con estudiantes de décimo grado del Bachiller en Ciencias, enfocándose en la implementación de la metodología STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas) en la enseñanza de las matemáticas. El propósito fue analizar su impacto en el aprendizaje y su potencial transformador en el entorno educativo, considerando las dificultades históricas de esta disciplina, como altos índices de fracaso y desmotivación estudiantil.

El proyecto educativo se tituló Paneles Solares y se basó en el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Partió de una necesidad real: sustituir el uso de energía eléctrica en una galera de gallinas ponedoras por energía solar. Este contexto permitió vincular la geometría y trigonometría con otras áreas como ciencias, geografía y tecnología, mediante herramientas como GeoGebra, Khan Academy, TEAM, calculadoras solares y Google Maps, promoviendo un aprendizaje interdisciplinario y significativo.

La recopilación de datos incluyó entrevistas semiestructuradas y en profundidad, análisis documental y observaciones en el aula, lo que permitió evaluar percepciones de estudiantes, docentes y padres. Las preguntas centrales abordaron la efectividad del currículo vigente, la pertinencia de las evaluaciones y los factores que facilitan o dificultan la implementación de STEAM.

Los resultados evidencian que STEAM revitaliza la enseñanza de las matemáticas, incrementando la participación y comprensión, aunque su éxito depende de apoyo institucional, formación docente y recursos adecuados. Se concluye que es necesario replantear estrategias tradicionales de enseñanza y evaluación, y se recomienda avanzar hacia un enfoque holístico que combine actualización curricular, capacitación y recursos pedagógicos, con el fin de lograr un impacto duradero en la educación matemática.

Palabras claves: Educación matemática, STEAM, Aprendizaje basado en proyectos, Transdisciplinariedad, Innovación educativa.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación analiza la implementación de la metodología STEAM en la enseñanza de las matemáticas mediante proyectos basados en necesidades reales, como el uso de energía solar en un colegio oficial de Panamá Oeste. A través del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), se vinculan contenidos de geometría y trigonometría con ciencias, tecnología y artes, promoviendo un aprendizaje interdisciplinario y significativo. El estudio, desarrollado bajo un enfoque de investigación-acción participativa, recoge percepciones de estudiantes, docentes y padres de familia mediante entrevistas, observaciones y análisis documental. Los hallazgos evidencian que STEAM revitaliza la enseñanza, incrementa la motivación y la comprensión, aunque su éxito depende de apoyo institucional, formación docente y recursos adecuados. Se concluye que es necesario replantear las estrategias tradicionales y avanzar hacia un enfoque holístico que combine actualización curricular, capacitación y recursos pedagógicos para lograr un impacto duradero en la educación matemática.

2. MÉTODO

A. Fuentes de información

Las principales fuentes de datos fueron:

- Estudiantes: a través de cuestionarios abiertos, observaciones de aula y tareas desarrolladas.
- Docentes: mediante cuestionarios en línea, bitácoras y experiencias de aula.
- Padres de familia: a través de cuestionarios abiertos sobre sus percepciones de la metodología.
- Documentos pedagógicos: programas curriculares, planeamientos didácticos y registros de clase.

B. Técnicas de recolección

Se emplearon entrevistas semiestructuradas, cuestionarios en línea, observaciones directas y análisis documental. La diversidad de instrumentos permitió la triangulación de datos, garantizando una visión más completa y confiable de la realidad investigada.

C.Análisis de datos

La información cualitativa se procesó mediante análisis de contenido, identificando categorías y patrones en las respuestas abiertas y bitácoras. Para complementar, se

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

utilizaron herramientas digitales como Excel y TagCrowd, que facilitaron la visualización de frecuencias y la organización de datos. Los resultados cuantitativos se abordaron con análisis descriptivo.

En síntesis, el método aplicado permitió no solo evaluar el impacto de STEAM en el aprendizaje matemático, sino también generar espacios de reflexión y mejora en la práctica docente, fortaleciendo la innovación educativa desde un enfoque participativo.

3. RESULTADOS

El estudio se estructuró en torno a cinco preguntas clave que permitieron explorar de manera profunda la implementación de la metodología STEAM en el aula de matemáticas.

- ¿Cómo me siento en la clase de matemática?
  Las respuestas obtenidas a través de la Bitácora COL reflejan una transformación emocional significativa en los estudiantes. Muchos expresaron haber superado sentimientos previos de frustración y rechazo hacia la matemática, mostrando ahora motivación, confianza y una percepción positiva del aprendizaje. Este cambio emocional se vincula directamente con la implementación de metodologías activas y contextualizadas.
- ¿La evaluación de aula actual se ajusta a las necesidades de esta metodología?
  El análisis del ensayo revela que el enfoque tradicional de evaluación, basado en tercios y pruebas estandarizadas, no responde adecuadamente a los procesos de aprendizaje profundo que promueve el ABP y STEAM. Se evidencia la necesidad de replantear la evaluación para que refleje verdaderamente las competencias desarrolladas en proyectos interdisciplinarios y colaborativos.
- ¿Qué tipo de tareas enfrentan los estudiantes en su proceso de aprendizaje de las matemáticas?
  Los estudiantes participaron en una variedad de tareas que incluyen actividades de lápiz y papel, construcciones dinámicas en GeoGebra, laboratorios prácticos como la medición de voltaje en placas solares, y ejercicios de medición directa. Estas tareas favorecen la aplicación de conceptos matemáticos en contextos reales, promoviendo un aprendizaje activo y significativo.
- ¿Es efectivo el programa curricular vigente para implementar esta metodología?
  En el apartado “Programa de matemática” se señala que el currículo presenta debilidades como la falta de secuencia lógica, repetición excesiva de contenidos y omisión de conceptos básicos. Estas limitaciones dificultan la implementación efectiva de metodologías innovadoras como STEAM, lo que sugiere la necesidad de una revisión curricular basada en evidencia.
- ¿Qué factores facilitan o dificultan la implementación exitosa del enfoque STEAM?

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Los resultados identifican varias limitaciones: resistencia al cambio por parte de algunos docentes, quienes se mantienen en enfoques conductistas; falta de espacios para la reflexión debido a la sobrecarga horaria; y carencias en recursos tecnológicos, como dispositivos e internet. Estos factores obstaculizan la adopción plena de STEAM, aunque también se reconoce que la motivación estudiantil y el trabajo colaborativo son elementos facilitadores clave.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones del estudio evidencian que la enseñanza de las matemáticas se ve profundamente influenciada por factores emocionales, curriculares, metodológicos y evaluativos. En primer lugar, se destaca que la motivación y la confianza de los estudiantes son elementos clave para favorecer la comprensión matemática, lo que subraya la importancia de generar ambientes de aula emocionalmente seguros y estimulantes. En segundo lugar, se identifican limitaciones en la secuencia y articulación de los contenidos del currículo, lo cual dificulta una progresión coherente del aprendizaje. Asimismo, se observa que la interdisciplinariedad, aunque reconocida como valiosa, no se aprovecha plenamente en la práctica docente, manteniéndose aún enfoques fragmentados entre las asignaturas. Finalmente, se concluye que los métodos tradicionales de evaluación no reflejan adecuadamente los aprendizajes obtenidos mediante proyectos, lo que plantea la necesidad de replantear las estrategias de evaluación para alinearlas con enfoques activos y contextualizados como el ABP y la metodología STEAM. Estas reflexiones invitan a transformar la práctica educativa hacia modelos más integradores, significativos y centrados en el estudiante.

Referencias

[1] J. Botero Espinosa, Educación STEAM: Introducción a una nueva forma de enseñar y aprender, Editorial Magisterio, Bogotá, 2018, pp. 169-180.

[2] D. N. Jackson T., Reflexiones desde el aula: Más allá de los algoritmos para una enseñanza innovadora de las matemáticas en Panamá, Invest. Pens. Crit., vol. 13, no. 3, pp. 23–30, Sept.–Dec. 2025. DOI: https://doi.org/10.37387/ipc.v13i3.417.

[3] Á. H. Flores Samaniego, Aprender Matemática haciendo Matemática: modelo de enseñanza centrado en el estudiante, Acta Scientiae, vol. 9, no. 1, pp. 117-142, Jan.-Jun. 2007

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Evaluación del Estado Ambiental de la Subcuenca del Río Curundú mediante la Aplicación Integrada de los Índices de Calidad del Agua y de Hábitat

Sáenz, Annette
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá

Osorio, Haydée
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá

Abstract

Studies by MiAmbiente in Panama indicate that ten of the 17 rivers monitored in the province are contaminated in terms of their biological and physicochemical parameters, a problem that affects public health in metropolitan areas. The Curundú River sub-basin is under heavy anthropogenic pressure due to its predominantly urban nature and wastewater discharges. The objective of this study was to analyze the environmental status of the sub-basin by implementing the Water Quality Index (ICA-NSF) and the Habitat Quality Index (ICH). The methodology consisted of applying both indices following standardized protocols (Cornejo et al., 2019) and an integrated environmental status analysis. The results of the ICA-NSF showed poor water quality in the sub-basin, with values ranging from a maximum of 48 (PM-3 in July) to a minimum of 24 (PM-5 in March), the latter being the most polluted site. In terms of the ICH, the sub-basin obtained a marginal to poor rating, identifying point PM-6 as the site with the lowest habitat quality index, directly associated with high urbanization.
Keywords: water quality, habitat quality, environmental status, ICA-NSF, Curundú River.

Resumen

Estudios de MiAmbiente en Panamá indican que diez de 17 ríos monitoreados en la provincia presentan contaminación con relación a sus parámetros biológicos y fisicoquímicos, un problema que afecta la salud pública en áreas metropolitanas. La subcuenca del Río Curundú está sometida a una fuerte presión antropogénica debido a su naturaleza predominantemente urbana y las descargas de aguas residuales. Este estudio tuvo como objetivo analizar el estado ambiental de la subcuenca implementando el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) y el Índice de Calidad de Hábitat (ICH). La metodología consistió en la aplicación de ambos índices siguiendo protocolos estandarizados (Cornejo et al., 2019) y

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

un análisis del estado ambiental. Los resultados del ICA-NSF mostraron una mala calidad del agua en la subcuenca, con valores entre un máximo de 48 (PM-3 en julio) y un mínimo de 24 (PM-5 en marzo), siendo este último el sitio más contaminado. En cuanto al ICH, la subcuenca obtuvo una clasificación de marginal a pobre, identificando el punto PM-6 como el sitio con el menor índice de calidad de hábitat, asociado directamente a la alta urbanización.
Palabras claves: calidad del agua, calidad del hábitat, estado ambiental, ICA-NSF, Río Curundú.

1. INTRODUCCIÓN

El ODS 6 tiene como ambicioso objetivo asegurar que el agua y el saneamiento estén disponibles para todos y que se gestionen de forma sostenible antes del año 2030. Por lo tanto, es fundamental garantizar la utilización segura de los recursos hídricos conservando un estado óptimo de calidad del agua, ya sea subterránea o superficial [1]. Un tercio del total global de los recursos hídricos corresponde a América Latina y el Caribe. Sin embargo, muestra altos grados de estrés hídrico en áreas productivas y urbanas, y tiene un acceso restringido al agua potable. En 166 millones de personas no tienen acceso a un servicio gestionado de manera segura; menos del 50% de las aguas residuales se tratan apropiadamente; y el 43% de los países de la región reporta unos niveles bajos en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos [2].

En el contexto nacional, estudios del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) en Panamá han identificado que, de 17 ríos monitoreados en la ciudad capital, una mayoría significativa (diez) presenta altos niveles de contaminación biológica y fisicoquímica [3]. Esta realidad es particularmente alarmante en el entorno metropolitano, donde cuerpos de agua esenciales como el Río Matasnillo, el Río Abajo y el Río Curundú se encuentran en riesgo, afectando a la cuarta parte de la población concentrada en esta área [3].

La subcuenca del Río Curundú se distingue por estar inmersa en un denso urbanismo, lo que la somete a una presión antropogénica constante e intensa [4]. Las principales fuentes de deterioro provienen de la expansión urbana desordenada y de las descargas directas de efluentes domésticos e industriales sin el tratamiento requerido [5]. Estas condiciones han provocado una alteración severa en el ambiente fluvial, donde las evaluaciones tradicionales basadas únicamente en indicadores fisicoquímicos resultan insuficientes para ofrecer una comprensión completa del estado ambiental del ecosistema, al ignorar la integridad estructural y funcional del hábitat [6].

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo principal realizar un análisis integrado del estado ambiental en la subcuenca del Río Curundú, combinando el Índice de Calidad

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

del Agua (ICA-NSF) con el Índice de Calidad de Hábitat (ICH), aplicando para este último el riguroso protocolo de bio-evaluación rápida propuesto por Cornejo et al. [7]. Esta aproximación metodológica dual es fundamental para establecer correlaciones entre la carga contaminante del agua y el deterioro morfológico del hábitat.

2. MÉTODO

A. Área de Estudio

La subcuenca del río Curundú se localiza en la parte central del istmo de Panamá, en el Pacífico de la Región Metropolitana. El área total de la subcuenca de 11.7 km2, corresponden al 0.17 % del total de la provincia. El área de drenaje abarca: Betania, Curundú y Ancón. La subcuenca se encuentra dentro de la zona de bosque húmedo tropical, en los límites del Parque Natural Metropolitano [8].

B. Aplicación del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF)

La calidad del recurso hídrico fue evaluada mediante la aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA) utilizando el método desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF). Este método permite la cuantificación de la calidad del agua a partir de la medición de nueve parámetros fisicoquímicos y biológicos clave: Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Sólidos Totales Disueltos (TDS), Nitratos, Fosfatos, Turbidez y Coliformes Fecales [9],[10],[11]. Las mediciones se realizaron in situ y mediante análisis de laboratorio en la red de puntos de monitoreo establecidos previamente (fig.1).

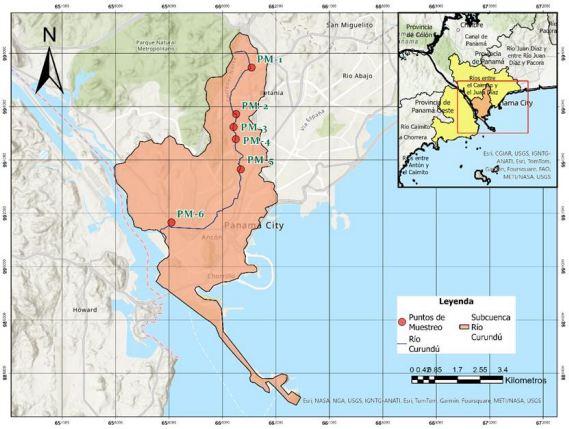


Figura 1- Área de Estudio y Red de puntos de Monitoreo

C. Aplicación del Índice de Calidad de Hábitat (ICH)

Para determinar la calidad ecológica y morfológica del entorno fluvial, se implementó

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

el Índice de Calidad de Hábitat (ICH). La aplicación de este índice siguió el protocolo de bio-evaluación rápida propuesto por Cornejo et al. [7]. La evaluación se centró en la caracterización de las condiciones del lecho, la estabilidad de las riberas, la cobertura de la vegetación riparia y otros aspectos morfológicos del cauce en cada sitio de muestreo, lo cual es fundamental para el sustento biológico del ecosistema.

D. Análisis del estado ambiental de la subcuenca del río Curundú

Se realizó al análisis del estado ambiental de la subcuenca del Río Curundú a través de la integración y correlación de los resultados obtenidos del Índice de Calidad del Agua y el Índice de Calidad de Hábitat. Esta fase incluyó la aplicación de herramientas estadísticas como diagramas de dispersión, heatmaps y el Análisis Canónico de Correspondencia (ACC), con el fin de identificar las interrelaciones entre los parámetros fisicoquímicos del agua y las condiciones ecológicas del hábitat. Este análisis integrado facilitó la identificación de las zonas más vulnerables y la comprensión del impacto específico de las actividades antropogénicas [7],[12].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Índice de Calidad de Agua usando el modelo ICA-NSF

La evaluación sistemática del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), calculada para seis puntos de muestreo entre marzo y agosto, reveló una baja variabilidad temporal en la calidad del agua del río. De forma general, los resultados mostraron una clasificación constante en el rango de mala calidad del agua para la mayoría de los puntos y meses analizados, como se muestra en la tabla 1. Esta persistencia en la baja calidad sugiere la existencia de presiones contaminantes crónicas o difusas que impactan a la subcuenca, lo que demuestra una afectación que no se limita a eventos esporádicos o a fluctuaciones estacionales significativas dentro del periodo de estudio.

No obstante, se identificó una excepción crítica en el punto de muestreo cinco (P5) durante el mes de marzo, donde el ICA registró un valor que lo clasificó como de muy mala calidad del agua (24). Este hallazgo puntual podría indicar un evento de contaminación localizado y de alta intensidad que afectó drásticamente la calidad al inicio del periodo de muestreo. En este sentido, es fundamental realizar un análisis detallado de los parámetros de calidad de agua para el P5 en marzo, a fin de determinar si la degradación fue causada por la concentración elevada de un contaminante específico. A pesar de esta singularidad, la tendencia general de mala calidad subraya la necesidad urgente de intervención para proteger el ecosistema y la funcionalidad del recurso hídrico.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Índice de calidad de agua en 6 puntos de muestro por cada mes.

Valoración de ICA-NSF						
Puntos de muestreo	Meses de Monitoreo					
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
PM-1	39	35	42	41	43	40
PM-2	42	41	40	45	44	41
PM-3	40	41	43	48	45	45
PM-4	40	40	44	46	45	46
PM-5	24	30	31	30	36	36
PM-6	36	35	37	37	40	41

B.Índice de calidad de Hábitat utilizando el método de Cornejo y colaboradores

Basándose en la metodología propuesta para evaluar las características morfológicas, de vegetación y de intervención del cauce. Los resultados obtenidos, sintetizados en la Tabla 2, revelaron una marcada heterogeneidad en la calidad del hábitat fluvial. Específicamente, se observó una baja variabilidad entre los primeros cuatro puntos de muestreo (P1 a P4), cuyos valores de ICH se agruparon consistentemente en el rango de 112 a 60, clasificando su hábitat como marginal. Esto indica que, si bien el hábitat no está completamente destruido, ya presenta alteraciones notables en sus atributos físicos esenciales, como la complejidad del sustrato, la integridad de la ribera o las variaciones hidrológicas.

Por otra parte, el análisis del punto de monitoreo seis (P6) mostró la situación más crítica, registrando valores de ICH entre 59 y 0, lo que lo clasifica como de calidad de hábitat pobre. Esta severa degradación se atribuye directamente a la combinación de su localización y las características ambientales extremas del cauce en ese tramo final. Dicho de otro modo, la clasificación de “pobre” en P6 sugiere que la estructura física del hábitat ha sido tan comprometida que su función ecológica se encuentra severamente limitada, lo cual contrasta notablemente con las condiciones de hábitat “marginal” observadas en los tramos superiores (P1-P4). Finalmente, esta disparidad en el ICH subraya la necesidad de aplicar estrategias de restauración ecológica diferenciadas, enfocando esfuerzos de mitigación más intensivos y estructurales en el punto crítico P6.

Tabla 2. Tamaño y estilos de las fuentes.

Valoración de Índice de Calidad de Hábitat						
Puntos de muestreo	Meses de Monitoreo					
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
PM-1	100	98	94	101	100	96
PM-2	86	86	77	94	99	91
PM-3	93	93	88	85	82	85
PM-4	94	94	85	94	91	86
PM-5	67	66	61	63	62	66
PM-6	30	30	47	37	32	34

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

La caracterización fisicoquímica del agua en el área estudiada, indica que el balance de nutrientes y el estado de oxigenación son los principales determinantes de la calidad del agua. Específicamente, se identificó una concentración elevada de fosfatos y una deficiencia de oxígeno disuelto como los parámetros más críticos. Siendo el punto de muestreo PM-5 (Viejo Veranillo) el que mostró las condiciones más adversas, presentando los mayores niveles de turbidez y contaminación por nutrientes.

A su vez, los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), confirmaron una clasificación general de mala calidad a lo largo de la subcuenca. Los valores registrados oscilaron desde un máximo de 48 (PM-3, mes de julio) hasta un mínimo de 24 (PM-5, mes de marzo), lo que indica una severa degradación hídrica en las zonas bajas. Complementariamente, el Índice de Calidad de Hábitat (ICH) ubicó la calidad del hábitat entre las categorías marginal y pobre, siendo el punto PM-6 el de mayor grado de deterioro, debido a la alta densidad de desarrollo urbano circundante.

Se puede concluir que el río Curundú presenta reacciones en calidad del agua y hábitat frente a factores hidro climáticos, el uso del suelo y la actividad humana. Estas interacciones tienen un impacto sinérgico en todos los elementos que componen la calidad ambiental de un río. En un mundo que se enfrenta cada vez con mayor frecuencia y severidad a fenómenos hidro climáticos extremos, las investigaciones futuras deben enfocarse en modelos, técnicas y herramientas que respalden el diseño de estrategias para la gestión de la calidad ambiental de los ríos, principalmente los que se encuentran en zonas urbanas.

Finalmente, a modo de recomendación, el río Curundú requiere la implementación urgente de estrategias de manejo integrado y programas de restauración ecológica con el objetivo de mitigar las fuentes de contaminación y recuperar la funcionalidad ambiental del ecosistema fluvial.

Referencias

[1] ONU, “Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible,” ONU, Jan. 26, 2024. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/

[2] CEPAL, “Recursos hídricos,” Comisión Económica Para América Latina Y El Caribe. https://www.cepal.org/es/temas/recursos-hidricos

[3] Mi Ambiente 2020. Proyecto Técnicas de Monitoreo de la Calidad del agua https://planificacion.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2020/08/Tec-de-Monitoreo-Calidad-del-Agua-inf.pdf

[4] A. Cornejo et al., Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá. Panamá, 2017.

[5] C. K. Swain, “Environmental pollution indices: a review on concentration of heavy metals in air, water, and soil near industrialization and urbanisation”, Discover Environ., vol. 2, n.º 1, enero de 2024. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1007/s44274-024-00030-8

[6] E. Wohl, “Resilience in River Corridors: How Much Do We Need?”, Perspect. Earth Sci., vol. 5, n.º 1,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

agosto de 2024.[En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1029/2023cn000226
[7] A. Cornejo et al., “Protocolo de biomonitoreo para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá,” Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud, Panamá, 2019.
[8] Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), “Informe de Monitoreo de la Calidad del Agua en las Cuencas Hidrográficas de Panamá Compendio de Resultados, Años 2009 – 2012,” Panamá, 2013.
[9] M. Marselina, F. Wibowo y A. Mushfiroh, “Water Quality Index Assessment Methods for Surface Water: A Case Study of the Citarum River in Indonesia”, Heliyon, julio de 2022, art. n.º e09848. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848
[10] Autoridad del Canal de Panamá (ACP), “Informe de la calidad de agua Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá 2003-2005,” 2006. Accedido: Nov. 14, 2025. [En línea]. Disponible en: https://pancanal.com/wp-content/uploads/2020/02/2003-2005-vol-i.pdf
[11] Calua Cieza, J. G., & Carrasco Huamán, L. A. (2021, 17 julio). Evaluación de la calidad del agua mediante el método ica nsf para conservar el recurso hídrico en un sector de la microcuenca Porcón, Cajamarca 202 http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1707
[12] M. G. Uddin, S. Nash y A. I. Olbert, “A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality”, Ecolog. Indicators, vol. 122, p. 107218, marzo de 2021. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.
Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Estudios de redistribución de suelo en la microcuenca de la quebrada La Zanguenga (Canal de Panamá) utilizando métodos convencionales y modelos de conversión

Pomare, Jeremy
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
jeremy.pomare@utp.ac.pa
https://orcid.org/0009-0001-3146-9173

Juri Ayub, Jimena
Universidad Nacional de San Luis
San Luis, Argentina
jimena.juriayub@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-3999-5730

Arcia, Manuel
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
manuel.arcia@utp.ac.pa
https://orcid.org/0000-0003-4229-0846

Esquivel-López, Alexander
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
alexander.esquivel@utp.ac.pa
https://orcid.org/0000-0003-4782-1335

Abstract

Soil degradation, exacerbated by intensive agricultural use and climate change, poses a threat to the productivity and sustainability of ecosystems. In the community of La Zanguenga (within the Panama Canal), pineapple farming has exerted significant pressure on the soil, intensifying erosion processes. This study addresses the problem through a methodological comparison at the micro-watershed level, evaluating three approaches to quantify soil redistribution: erosion pins, USLE and FRN.

The main objective is to estimate the rates of erosion and sedimentation associated with rainfall events, contributing to more sustainable resource management. The research also seeks to identify which of these methodologies offers the most useful and applicable results

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

in other areas of the country. Cesium-137 was used, an environmental tracer that allows for cumulative redistribution estimates. Erosion pins measure variations in exposed height after rainfall events, identifying short-term loss or accumulation. The USLE model is applied with topographic, edaphological, climatic, and vegetation cover information, generating theoretical estimates of soil loss in tons per hectare per year.
Preliminary results reflect soil loss in pineapple coverage, observed in both conventional methods and the model, confirming its vulnerability to erosion processes. This work highlights the importance of combining methodologies of different scales and purposes to fully understand erosion and guide conservation strategies adapted to local conditions.

Keywords: Erosion pins, USLE, FRN, erosion, sedimentation.

Resumen

La degradación del suelo, agravada por el uso agrícola intensivo y el cambio climático, representa una amenaza para la productividad y sostenibilidad de los ecosistemas. En la comunidad de La Zanguenga (dentro del Canal de Panamá), la actividad piñera ha ejercido una presión significativa sobre el suelo, intensificando los procesos erosivos. Este estudio aborda la problemática mediante una comparación metodológica a nivel de microcuenca, evaluando tres enfoques para cuantificar la redistribución del suelo: FRN, USLE y pines de erosión.
El objetivo principal es estimar las tasas de erosión y sedimentación asociadas a eventos de lluvia, contribuyendo a un manejo más sostenible del recurso. La investigación busca además identificar cuál de estas metodologías ofrece resultados más útiles y aplicables en otras zonas del país. El uso del Cesio-137, trazador ambiental, permite estimar la redistribución de forma acumulativa. Los pines de erosión miden las variaciones en la altura expuesta tras eventos de lluvia, identificando pérdida o acumulación a corto plazo. El modelo USLE se aplica con información topográfica, edafológica, climática y de cobertura vegetal, generando estimaciones teóricas de pérdida de suelo en toneladas por hectárea al año.
Los resultados preliminares reflejan pérdida de suelo en la cobertura de piña, observada tanto en los métodos convencionales como en el modelo, lo que confirma su vulnerabilidad frente a los procesos erosivos. Este trabajo resalta la importancia de combinar metodologías de distinta escala y propósito para comprender integralmente la erosión y orientar estrategias de conservación adaptadas a condiciones locales.

Palabras claves: Pines de erosión, USLE, FRN, erosión, sedimentación.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

La erosión de suelo constituye en uno de los principales procesos de degradación ambiental en regiones tropicales, donde las precipitaciones intensas y los usos de suelo inadecuados aceleran la pérdida de su capa fértil. En Panamá este fenómeno representa un reto creciente para la sostenibilidad de la producción agrícola y la conservación de los recursos hídricos, especialmente en áreas estratégicas como la cuenca del Canal de Panamá [1].

En la comunidad de La Zanguenga, ubicada dentro de dicha microcuenca, el cultivo intensivo de piña se ha consolidado como unas de las actividades económicas más dinámicas, pero al mismo tiempo una de las que mayor presión ejerce sobre los suelos [2].

La sustitución de la cobertura natural por sistemas agrícolas expuestos incrementa los procesos erosivos, afectando no solo la productividad local, sino también la regulación hídrica y la calidad del agua en el sistema canalero.

Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar con mayor precisión la magnitud y dinámica de la erosión y sedimentación en diferentes coberturas de uso del suelo. La combinación de métodos convencionales, modelos predictivos y técnicas basadas en trazadores ambientales permite obtener una visión más completa y robusta de los procesos que ocurren en campo.

2. METODOLOGÍA

A. Pines de erosión

Para la implementación de los pines de erosión, en cada cobertura de suelo (pastura, bosque y piña) se delimitó una parcela abierta de 1.10 metros de ancho y 3.60 metros de largo, dentro de la cual se instalaron 36 pines distribuidos en tres hileras de 12 pines cada una.

Las mediciones de la longitud expuesta de los pines se realizaron después de eventos de lluvia, registrando tanto incrementos (erosión) como reducciones (sedimentación) de la superficie del suelo [3]. Con el fin de disminuir posibles errores de observación, todas las lecturas fueron efectuadas por el mismo lector durante el periodo de estudio.

Para realizar un análisis más preciso, las lecturas obtenidas se transformaron en valores de erosión o sedimentación neta, empleando las densidades de suelo reportadas por el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en estudios previos dentro del área de La Zanguenga1.

En cada cobertura se utilizó la densidad correspondiente, y el valor promedio de pérdida o acumulación registrado en los pines se multiplicó por dicha densidad, lo que permitió

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

estimar la erosión o sedimentación en toneladas por hectárea para cada fecha de lectura. La información recolectada se integró con los registros de precipitación e intensidad de lluvia obtenidos mediante un pluviómetro cercano al área de estudio. Esto permitió relacionar directamente los valores estimados con los eventos de lluvia, identificando procesos de redistribución del suelo dentro de cada parcela en cada fecha de lectura.

B. USLE

En este estudio se aplicó el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) con el propósito de estimar la pérdida anual de suelo en las parcelas de piña, pastura y bosque. La ecuación permitió integrar la influencia de la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la pendiente y longitud de la ladera, así como la cobertura vegetal, con el fin de obtener tasas de erosión expresadas en toneladas por hectárea por año [4].

La ecuación general implementada fue la siguiente:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

donde:
Factor R (erosividad): se calculó a partir de data histórica de precipitación registrados en la zona de estudio, durante un periodo de 20 años (2005-2024)
Factor K (erodabilidad): se estimó con base a estudios previos por parte del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)2.
Factores L y S (longitud y pendiente): fueron determinados con mediciones en campo como información topográfica digital
Factor C (cobertura y manejo): debido a la limitada disponibilidad de datos históricos en Panamá, se recurrió a valores reportados en estudios internacionales, ajustados a las condiciones de nuestra área de estudio
Factor P (prácticas de conservación): no fue considerado, ya que en las parcelas evaluadas no habías ´prácticas de conservación previas de manejo del suelo en el área de estudio

C. FRN

Se aplicó la técnica de radionucleidos de origen antrópico (FRN) utilizando el Cesio-137 como trazador, con el fin de estimar procesos de erosión y sedimentación a escala de décadas en la microcuenca. Este radionucleido depositado globalmente durante las pruebas nucleares atmosféricas de la década de 1960 se fija fuertemente a las partículas del suelo y permanece estable, lo que permite cuantificar la redistribución del suelo superficial a lo

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

largo del tiempo [5].

Se recolectaron muestras de suelo en el sitio de referencia y en los transectos correspondientes a cada cobertura de suelo; transecto sitio de pastura (TSP), Finca Días (TFD) y transecto cobertura de piña (TCP), siguiendo un diseño sistemático y profundidades representativas del perfil. Posteriormente las muestras fueron enviadas a un laboratorio especializado para su preparación y espectrometría gama de alta resolución, lo que permitió obtener el inventario de Cesio-137 en cada punto de muestreo, expresado en Bq/m2

Con base en este inventario y en función de las características de manejo y alteración del suelo, se aplicaron diferentes modelos:

- Modelo de Balance de Masa I: fue aplicado al transecto de cobertura de piña donde la preparación intensiva del terreno modifica la distribución original del radionucleido. Este modelo ajusta el cálculo considerando la mezcla inicial del suelo, lo que permite obtener tasas de erosión o sedimentación representativas de condiciones similares a las de un cultivo de piña
- Modelo de Distribución de Perfil: fue empelado en los transectos de pastura y transecto Finca Díaz, donde la distribución vertical del Cesio-137 disminuye gradualmente con la profundidad. Este modelo asume un perfil conservado del radionucleido y permite inferir la magnitud de la pérdida o acumulación del suelo.

3.RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante las diferentes metodologías (ver tabla 1) mostraron un patrón claro entre las coberturas de suelo evaluadas.

Esto evidenció que en las zonas agrícolas (piña) concentran el mayor desprendimiento del suelo, mientras que las zonas cubiertas por pasturas fueron más estables con menor pérdida de suelo.

En el método de pines de erosión, el valor obtenido para la cobertura de bosque podría representar una sobreestimación, posiblemente asociada a errores de lectura durante el proceso de medición, que tienden a alterar el valor real de erosión dentro de la parcela.

Aun así, los resultados generales mantienen coherencia con las tendencias observadas en el USLE y FRN, lo que refuerza la confiabilidad del patrón erosivo identificado entre las coberturas.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Erosión neta por cobertura de suelo según las metodologías aplicadas

Cobertura de suelo	Pines de erosión (t/ha)	USLE (t/ha/año)	FRN (t/ha/año)
Pastura	10,18	1,81 (TSP) 3,89 (TFD)	2,1 (TSP) 6,1 (TFD)
Piña con cultivo	-	44,01	21 (TCP)
Piña sin cultivo	191,63	125,71	-
Bosque	81,11	3,42	-

4. CONCLUSIONES

La integración de los métodos convencionales (Pines de erosión y USLE) junto con los modelos basados en radionucleidos (FRN), permitió obtener una compresión más completa de los procesos de pérdida y redistribución de suelo.

Los resultados demuestran que cualquiera de las metodologías aplicadas, son sumamente útiles para estimar la pérdida o sedimentación del suelo, y que su selección depende principalmente de la capacidad técnica, el tiempo disponible y los recursos que cuente el dueño, investigador o institución que realice e

En Panamá, la aplicación del USLE puede verse limitada por la falta de factores locales actualizados, especialmente el factor C (cobertura y manejo de cultivo), por lo que es necesario fortalecer la base de datos nacional para mejorar la precisión de los resultados.

Referencias

[1] J. Krystine, B. Aparicio, A. Esquivel, K. Espino, and C. V. Chen, “ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA A TRAVÉS DE LA COMPARACIÓN DEL MÉTODO FISICOQUÍMICO Y USO DE MACROINVERTEBRADOS EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA ZANGUENGA,” 2025.

[2] Universidad Tecnológica de Panamá, “UTP ofrece Jornada de Capacitación en la comunidad de Zanguenga,” 2018. Accessed: Aug. 26, 2025. [Online]. Available: Informe de Pedones de campo en la microcuenca La Zanguenga

[3] H. Cotler, “Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales.” [Online]. Available: www.centrogeo.org.mx

[4] F. Zapata, Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. Vienna Austria: International Atomic Energy Agency, 2003.

[5] I. Rodriguez, A. Esquivel, and J. J. Ayub, “INVENTARIO DE RADIONUCLEIDOS EN LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA ZANGUENGA (ÁREA PIÑERA).”

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Estudio sobre la redistribución del suelo en la cuenca del Canal de Panamá utilizando metodologías FRN y CSSI

Saavedra-Delgado, Ana
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ana.saavedra3@utp.ac.pa
https://orcid.org/0009-0007-3025-721X

Gómez, Shantale
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
shantale.gomez@utp.ac.pa
https://orcid.org/0009-0004-9092-3534

Juri Ayub, Jimena
Universidad Nacional de San Luis
San Luis, Argentina
jimena.juriayub@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-3999-5730

Peralta, José Luis
Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones
La Habana, Cuba
joseluisperaltavital@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7661-2028

Flores, Isaías
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá
La Chorrera, Panamá
Isaiasfloresrod1977@gmail.com

Esquivel-López, Alexander
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
alexander.esquivel@utp.ac.pa
https://orcid.org/0000-0003-4782-1335

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Abstract

Climate change and human activities have significantly altered the soil redistribution processes in the Panama Canal Watershed, affecting Lakes Alajuela, Gatún, and Miraflores, which are essential for the functioning and operation of the Canal and the supply of drinking water. Since 2018, the Technological University of Panama has been researching the micro-watershed of La Zanguenga Creek using advanced nuclear techniques to quantify the volume of mobilized soil, as well as to identify the possible sources from which the soil originates, with the purpose of monitoring the effects of erosive processes mainly caused by the region's intense rainfall. This micro-watershed is located in the corregimiento of Herrera, district of La Chorrera, province of Panamá Oeste; and in turn, is part of the Caño Quebrado River sub-watershed, which discharges its waters into Gatún Lake, which is part of the Panama Canal watershed. La Zanguenga Creek contributes an estimated solid flow of 112,89 tons per hectare per year, which is an indicator of the degree of erosion in the region. A total of 88 samples were taken at 31 strategic points, allowing for the estimation of the volume of displaced soil and the origin of the sediments. The results show considerable soil losses ranging between 15,70 to 21,51 tons/ha/year in secondary mixed broadleaf forest, 1,83 to 5,25 tons/ha/year in pineapple crops, and 0,20 to 0,23 tons/ha/year in pasture. The main sources of sediment identified were pineapple cultivation, pastures, secondary mixed broadleaf forests, and fallow lands.

Keywords: Erosion, Fallout Radionuclides (FRN), Stable Isotopes (CSSI), Resource Conservation, Soil Redistribution.

Resumen

El cambio climático y las actividades humanas han alterado significativamente los procesos de redistribución del suelo en la Cuenca Hidrográfica de Canal de Panamá, afectando los lagos Alajuela, Gatún y Miraflores, esenciales para el funcionamiento y operación del Canal y el suministro de agua potable. Desde 2018, la Universidad Tecnológica de Panamá investiga la microcuenca de la quebrada La Zanguenga utilizando técnicas nucleares nobles para cuantificar el volumen de suelo movilizado; así como también, identificar las posibles fuentes de donde procede el suelo, con el propósito de monitorear los efectos de los procesos erosivos causados principalmente por las lluvias intensas de la región. Está microcuenca se ubica en el corregimiento de Herrera, distrito de La Chorrera, provincia de Panamá Oeste; y a su vez, forma parte de la subcuenca del río Caño Quebrado, que descarga sus aguas al Lago Gatún, que forma parte de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. La quebrada La Zanguenga aporta un caudal solido estimado en 112,89 ton/ha/año, lo que es un indicativo del grado de erosión en la región. Se tomaron 88 muestras en

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

31 puntos estratégicos, logrando estimar el volumen de suelo desplazado y el origen de los sedimentos. Los resultados muestras perdidas de suelo considerable que oscilan entre: 15,70 a 21,51 ton/ha/año en el bosque latifoliado mixto secundario, de 1,83 a 5,25 ton/ha/año en piña, y de 0,20 a 0,23 ton/ha/año en pastura. Se identificaron como principales fuentes de sedimentos los cultivos de piña, pasturas, bosques latifoliado mixto secundarios y tierras en reposo.

Palabras claves: Erosión, Fallout Radionuclides (FRN), Isotopos Estables (CSSI), Conservación de Recursos, Redistribución de suelo.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural limitado y no renovable que presenta la ejecución de distintos servicios ecosistémicos de gran importancia como su participación en los ciclos biogeoquímicos de componentes esenciales para la vida, como el carbono, el nitrógeno y el fosforo, constantemente por la energía accesible se transfiere de los sistemas vivos a los sistemas no vivos del planeta. A pesar de estos aspectos, el suelo se reconoce como el soporte clave para la producción de alimentos y materias primas, los cuales son vitales para la sociedad en general [1]. Uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad es la degradación de los recursos naturales, especialmente la deposición de los suelos cultivables. Alrededor de 2 mil millones de hectáreas de tierra han sido degradadas permanentemente y alrededor de 1,5 mil millones de hectáreas están en uso, aproximadamente una tercera parte esta percibiendo procesos de degradación moderados severos. El impacto anual de la tierra perdida se encuentra entre 5 millones y 7 millones de hectáreas [2]. La acción de los agentes erosivos deteriora progresivamente la estructura física del suelo, incrementando su vulnerabilidad a la degradación y afectando sus funciones. Como resultado, la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes esenciales para las plantas disminuye gradualmente, lo que reduce drásticamente su fertilidad [3]. La erosión del suelo no solo deteriora un recurso valioso en el lugar que ocurre, sino que también genera problemas fuera de este sitio, como la acumulación de sedimentos en áreas residenciales y embalses, el enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua y la contaminación causada por agroquímicos tóxicos adheridos a partículas del suelo [4]. La sedimentación en estos cuerpos de agua se origina principalmente por alteraciones en el uso del territorio, los efectos del cambio climático y diversas actividades humanas, como la deforestación y el sobrepastoreo, que incrementan la erosión y, en consecuencia, la cantidad de sedimentos transportados por los ríos. A medida que estos materiales se depositan detrás de las presas, el volumen útil de los embalses se reduce significativamente, comprometiendo su funcionalidad y poniendo en riesgo el

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

abastecimiento de agua y la generación de energía [5]. Aunque la erosión y la deposición han estado presentes a lo largo de la historia de la agricultura, incluso después de décadas de investigación sobre sus causas y efectos, todavía existen grandes incertidumbres respecto a su alcance, intensidad, tasas reales y consecuencias económicas y ambientales. Al incorporar, aunque sea de forma conservadora, los costos de la degradación del suelo y sus impactos externos en los análisis costo-beneficio de la agricultura, queda claro que invertir en programas para controlar eficazmente la erosión del suelo es una decisión económicamente inteligente [6]. Dos de las técnicas más sobresalientes son los Isotopos Estables de Compuestos Específicos – CSSI, esta técnica ha demostrado ser de gran ayuda para plantear estrategias de manejo y mitigación al vincular los tipos de uso del suelo con las tasas de erosión específicas, generando información detallada sobre la contribución de diferentes fuentes en la redistribución del suelo [7] y los Fallout Radionuclides – FRN, son trazadores útiles para analizar la redistribución de sedimentos en diferentes escalas de tiempo [8].

2. MÉTODO

Para empezar el muestreo, se busco información sobre la microcuenca, para comprender como se utiliza el suelo en esa zona, que tipo de actividades económicas se llevan a cabo, conocer quienes son las personas o grupos que tiene participación dentro de la región de estudio seleccionada para desarrollar este proyecto. Se hizo un análisis general de las condiciones ambientales de la microcuenca, tomando en cuenta aspectos como la forma del terreno, el clima y el comportamiento de los cuerpos de aguas superficiales. Esta revisión fue importante para escoger puntos de muestreos que representan diferentes tipos de uso y coberturas. Para apoyar esta investigación, se utilizaron herramientas como: ArcGIS y Google Earth, que permitieron analizar mejor la microcuenca antes de ir a cada sitio de monitoreo. La campaña de recolección de muestras se realizo en un total de cinco salidas a campo, abarcando diversos sectores de la microcuenca que fueron Aspadilla, Caraño, El Almendral, Gato de Agua, Indio, El Valentín y Zanguenga. Se recolectaron un total de 88 muestras de suelo, distribuidas de la siguiente manera 26 muestras para el análisis de CSSI, enfocadas en la caracterización de compuestos orgánicos, que funcionan como trazadores para identificar las fuentes de sedimentos dentro de la microcuenca y 62 muestras para el análisis de FRN, principalmente orientadas a la detección de Cesio-137 con el fin de cuantificar procesos de redistribución del suelo.

A. Trabajo de campo

Para la aplicación de CSSI, en cada sitio de muestreo, se delimito un área de 10x10 m2, en la cual se tomaron 5 submuestras distribuidas en diferentes puntos del área delimitada,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

fueron colectadas a una profundidad máxima de 2 cm, ya que esta capa superficial concentra la mayor cantidad de compuestos orgánicos específicos requeridos para la identificación de firmas isotópicas asociadas a diferentes usos de suelo. Usando guantes para evitar contaminación cruzada, estas submuestras fueron integradas en campo y la muestra resultante alcanzó un volumen aproximado de un (1) kilogramo por sitio de muestreo. En el trabajo de campo de FRN se obtuvo muestras de diferentes profundidades para suelos no perturbados y sitios cultivados en el cual los suelos no perturbados se tomaron muestras de 0-25 cm y de 25 – 50 cm ya que esto no se desplaza más allá; por obstante, para sitios cultivados se tomaron muestras de 0-50 cm y de 50-100 cm. Para este estudio se empleó un muestreo en profundidad, con el propósito de obtener el perfil de distribución vertical del radionucleido Cesio-137. De esta manera, fue posible identificar las variaciones de concentración presentes en las distintas capas del suelo mediante el uso del barreno.

B. Trabajo de laboratorio

Una vez recolectadas en campo, las muestras fueron transportadas al laboratorio para su preparación previa al análisis, siguiendo los protocolos correspondientes a las técnicas de CSSI y FRN. En ambos casos, las muestras se colocaron en bandejas limpias de aluminio y se sometieron a un proceso de secado en horno, aunque con distintas condiciones: para CSSI, el secado se realizo a 60° por 72 horas, con el fin de eliminar la humedad residual sin alterar la materia orgánica, mientras que para FRN, se empleó una temperatura de 105° durante 24 a 48 horas dependiendo del grado de humedad de la muestra. Ya secadas las muestras se trituraron utilizando un mortero y un pistilo de cerámica hasta obtener una textura fina y homogénea. Posteriormente, se tamizaron en una malla de 2 mm para remover fragmentos gruesos no deseados, garantizando un material uniforme apto para el análisis. Tras este proceso, las muestras se pesaron cuidadosamente: las destinadas a CSSI se empacaron con aproximadamente 200 g de material, las de FRN se ajustaron a un peso de 500 g. Finalmente las muestras de CSSI fueron enviadas al Isotope Bioscience Laboratory en Bélgica y las de FRN al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) en México, donde se realizaron los análisis isotópicos y de espectrometría gamma.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los puntos M06-MQZ (tabla 1) y M04-CR-MQZ (tabla 2) evidencian diferencias en las fuentes y magnitudes de erosión dentro de la microcuenca. En el punto intermedio M06-MQZ, la técnica CSSI mostró que los principales aportes de sedimentos provienen del bosque plantado de latifoliadas con un 77 %, seguido del cultivo de piña con un 22 % y la pastura con un 1 %. En cambio, en el punto de descarga final M04-CR-MQZ, el bosque plantado de latifoliadas presentó un aporte del 90 %, la piña del 9 %

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

y la pastura del 1 %, lo que podría deberse a que esta zona correspondía antiguamente a una zona de reforestación y los valores reflejan tasas acumuladas de erosión de hace aproximadamente dos décadas; por tanto, se considera un resultado preliminar. Los valores obtenidos mediante la técnica FRN (Cesio-137) indican tasas medias de pérdida de suelo que oscilan entre 15,70 y 21,51 ton/ha/año en el bosque latifoliado mixto secundario, entre 1,83 y 5,25 ton/ha/año en piña, y entre 0,20 y 0,23 ton/ha/año en pastura. En conjunto, ambos métodos permitieron identificar tanto el origen como la magnitud de los procesos erosivos, mostrando que la erosión en la microcuenca de La Zanguenga es baja a moderada, pero continua en el tiempo.

Tabla 1. M06-MQZ.

Fuente	CSSI %	FRN Erosión neta Ton/ha/año
Bosque Plantado de Latifoleadas	77%	15,70 a 18,40
Piña	22%	4,48 a 5,25
Pastura	1%	0,20 a 0,23

Tabla 2. M04-CR-MQZ.

Fuente	CSSI %	FRN Erosión neta Ton/ha/año
Bosque Plantado de Latifoleadas	90%	18,36 a 21,51
Piña	9%	1,83 a 2,15
Pastura	1%	0,20 a 0,23

4.CONCLUSIONES

En el punto M06-MQZ, el cultivo de piña (22%) mostró un aporte considerable de sedimentos, lo que refleja la vulnerabilidad de estas áreas agrícolas frente a la erosión. En la descarga final M04-CR-MQZ, el bosque plantado de latifoleadas (90%) fue la principal fuente de sedimentos, lo cual podría tener su explicación de que el área fue utilizada en algún momento como zona de reforestación ya que los resultados de FRN reflejan tasas de erosión acumulada desde hace más de 20 años. Las metodologías FRN y CSSI se complementan

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

entre sí, permitiendo cuantificar la pérdida de suelo en ton/ha/año y, al mismo tiempo, identificar de qué uso de suelo provienen los sedimentos.

Referencias

[1] Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista de Ciencias Agrícolas, 33(2), 117–124. https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58
[2] Gaitán, J., Navarro, M. F., Vuegen, L. T., Pizarro, M. J., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina (1st ed.).
[3] De, S., Alonso, A., Torralba, A., Ivón, F., Martín, C., & Abolafio, F. B. (2011). Erosión y manejo del suelo. importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos soil erosion and soil management. importance of tillage in the natural and anthropogenic processes of soil erosion.
[4] Guidelines for sediment tracing using the compound-specific carbon stable isotope technique / International Atomic Energy Agency. (2019). INTL ATOMIC ENERGY AGENCY. www.iaea.org/publications
[5] Khasanov, K., & Bakiev, M. (2025). GIS-Based Geostatistical Techniques for Sedimentation Assessment Using USV Data: Case study Tuplang Reservoir, Uzbekistan. International Journal of Engineering and Geosciences, 10(2), 231–243. https://doi.org/10.26833/ijeg.1567019
[6] Gaspar, M. (2015). Un terreno estable estable: técnica nucleares para frenar la erosión del suelo Viet Na. Edición Especial Boletín Del OIEA Sobre Los Usos Pacíficos de La Tecnología Nuclear, 14–15.
[7] Gibbs, M. (2014). Protocols on the use of the CSSI Technique to identify and apportion soil sources from land use Revised 2013 Prepared for Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture.
[8] Walling, D. E. (2004). Using environmental radionuclides to trace sediment mobilisation and delivery in river basins as an aid to catchment management. Ninth International Symposium on River Sedimention.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Calibración de medida materializada de longitud en el Laboratorio Secundario de Interferometría del CENAMEP AIP

Quezada, Katherine
Laboratorio Secundario de Interferometría, Coordinación de Magnitudes Mecánicas, Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0009-8433-7316

Aizpurua, Edwin
Laboratorio Secundario de Interferometría, Coordinación de Magnitudes Mecánicas, Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-8897-7518

Abstract

This paper presents the progress made in the service for the calibration of materialized length measurement at the Secondary Interferometry Laboratory of CENAMEP AIP. The objective of this project is to offer materialized length measurement calibration to industry and secondary laboratories, and to mark a starting point for the use of interferometry in the area of length metrology at CENAMEP AIP. In turn, the mathematical models used to calculate measurement error and uncertainty are defined. The procedure employed involved the use of laser interferometry as a reference standard and a 30-meter tape measure as the unknown. Data collection was carried out by two metrologists from the laboratory, and a maximum range of 10 meters was established. The obtained results demonstrated that the calibration process used was satisfactory due to the good reproducibility of the data. With these results, the laboratory seeks to show the scientific community the importance of a preliminary study to ensure the reliability of measurements.

Keywords: calibration, measuring tape, materialized length measurement, interferometry, uncertainty.

Resumen

En este trabajo se presentan los avances del servicio para la calibración de medida materializada de longitud en el Laboratorio Secundario de Interferometría del CENAMEP

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

AIP. El objetivo de este proyecto es ofrecer la calibración de medida materializada de longitud a la industria y laboratorios secundarios, y marcar un punto de inicio el uso de interferometría para el área de Metrología de longitud en el CENAMEP AIP. A su vez, se definen los modelos matemáticos utilizados para el cálculo del error y la incertidumbre de medición. El procedimiento empleado involucró el uso de interferometría láser como patrón de referencia y una cinta métrica de 30 metros como incógnita. La toma de datos fue realizada por dos metrólogos del laboratorio y se estableció un alcance máximo de 10 metros. Los resultados obtenidos demostraron que el proceso de calibración utilizado ha sido satisfactorio debido a la buena reproducibilidad de los datos. Con estos resultados, el laboratorio busca mostrar a la comunidad científica la importancia de un estudio preliminar para asegurar la confiabilidad en las mediciones.

Palabras claves: calibración, cinta métrica, medida materializada de longitud, interferometría, incertidumbre.

1.INTRODUCCIÓN

El Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) está desarrollando el servicio de calibración de medidas materializadas de longitud (MML) de uso general con referencias hasta 30 m. En el Laboratorio Secundario de Interferometría se ha desarrollado el servicio de calibración de todas aquellas MML con referencia, rígidas o flexibles de una sola pieza o articuladas, cintas métricas de acero con o sin tensor (plomada), fibra de vidrio, plástico u otro material, con longitud de hasta 30 m y división de escala entre 1 mm y 10 mm.

El proceso de calibración de la MML en el CENAMEP AIP se basa en el uso de interferometría láser. El laboratorio cuenta con este tipo de instrumentos de medición, que se caracterizan por su alta precisión y exactitud, siendo un gran referente en metrología de longitud.

A modo de antecedente, durante el invierno de 1880, se concibió un método para comprobar el movimiento relativo de la Tierra y el éter, el cual resultó en la invención del interferómetro. La idea de Michelson partía del supuesto de que la velocidad de la luz era constante y, dado que la Tierra se movía a través de un éter estacionario, el experimento estaba diseñado para detectar su orientación respecto a la propagación de la luz [1].

El fenómeno físico fundamental detrás del interferómetro es la interferencia de ondas de luz. Cuando dos haces se recombinan, forman un patrón de franjas cuya posición depende

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de la diferencia en la fase acumulada durante su recorrido por caminos diferentes. Cambios en este patrón indican variaciones en la velocidad de la luz en uno de los brazos, lo que fue buscado para probar la existencia del éter [2].

El interferómetro de Michelson consiste en un divisor de haz, que divide un haz de luz en dos caminos diferentes, y dos espejos que reflejan la luz creando dos fuentes puntuales coherentes virtuales y que se interfieren en un punto al volver. En este punto, las dos ondas de luz interfieren entre sí, creando patrones de interferencia que pueden ser observados y analizados [2], como se observa en la Fig. 1.

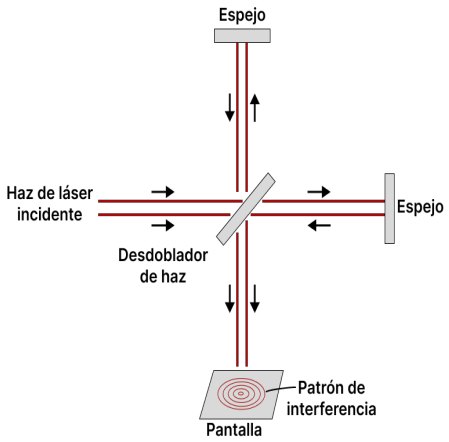


Fig. 1. Interferómetro de Michelson.

En metrología, es fundamental conocer la duda cuantificable de una medición. Por esta razón, se realiza un análisis matemático para conocer el efecto que puede tener en el sistema los factores externos. Estos factores pueden traducirse en parámetros cuantificables como los que se verán a continuación.

Estimación de incertidumbre

La corrección de calibración en cada punto [3] viene dada por la siguiente ecuación:

$$c_j = d_j + c_{x_{oj}} + c_A + c_T + c_{DE} + c_{o_{DE}} \qquad (1)$$

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

donde:

d_j Desviación de calibración en el punto, dada por $d_j = x_{oj} - x_{cj}$
$c_{x_{oj}}$ Corrección debida al patrón (láser), que incluye: c_{oj} (calibración del láser) y $c_{o_{DER}}$ (deriva del patrón desde su calibración).
c_A Corrección por desalineamiento entre la regla y el movimiento del láser.
c_T Corrección asociada a la dilatación térmica diferencial.
c_{DE} Corrección debida a la división de escala de la cinta métrica.
$c_{o_{DE}}$ Corrección debida a la división de escala del láser.

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres [4, 5] a la Ecuación 1 se obtiene lo siguiente:

$$u_{c_j} = u_{d_j} + u_{c_{x_{oj}}} + u_{c_A} + u_{c_T} + u_{c_{DE}} + u_{c_{o_{DE}}} \qquad (2)$$

donde:

$$u^2_{x_{oj}} = u^2_{c_{oj}} + u^2_{c_{oDER}}$$

Cálculo del error de la medición

El error de medición en la calibración se obtiene de la siguiente manera:

$$Error = L_i - \Delta L_{ri} \qquad (3)$$

donde:

L_i: el valor indicado en la MML bajo calibración.
ΔL_{ri}: es el desplazamiento medido por el sistema de referencia (láser).

El objetivo de este proyecto es ofrecer la calibración de MML a la industria y laboratorios secundarios (principalmente en Panamá), y marcar un punto de inicio hacia el uso de interferometría láser para el área de metrología de longitud en el CENAMEP AIP.

La importancia de este tipo de proyectos radica en la mejora de los sistemas de medición en el país para brindar confiabilidad en las mediciones y establecer un referente nacional de alta exactitud en el área de longitud. Asimismo, se sientan las bases para realizar colaboraciones internacionales orientadas a generar soluciones a largo plazo en este campo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Patrón de referencia

En el CENAMEP AIP se dispone de un láser y un conjunto de espejos que asemejan la funcionalidad del Interferómetro de Michelson. Este sistema se utiliza para la calibración de MML (ver la Fig. 2 mostrada a continuación), donde se dispone de un arreglo óptico muy similar al mostrado en la Fig. 1, con la diferencia de que uno de los retrorreflectores puede movilizarse para realizar las mediciones de longitud a lo largo de una distancia determinada.

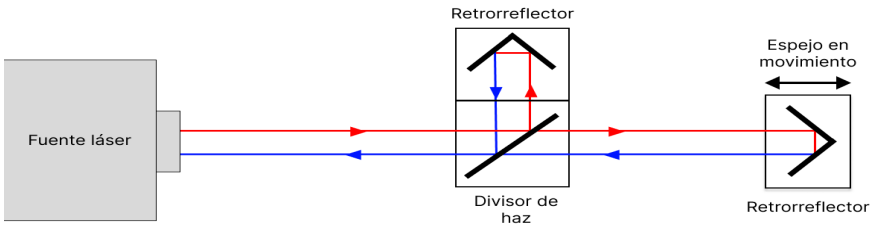


Fig. 2. Sistema de medición óptico del Laboratorio Secundario de Interferometría.

Equipo bajo calibración

En el desarrollo de este trabajo se estableció el uso de una cinta métrica de alta exactitud, como equipo bajo calibración o incógnita, para realizar mediciones de hasta 10 m. Esta cinta es de clase I, siendo la clase de exactitud más alta [6].

Proceso de calibración

El proceso de calibración consistió en utilizar el patrón de referencia (láser) para medir los puntos de longitud del sistema. Este sistema de medición consiste en una bancada sobre la cual reposa un carro con una cámara y un retrorreflector. Este equipo se desplaza a lo largo de la bancada y permite ubicarse en la longitud a medir.

La cinta métrica utilizada fue calibrada en el Instituto Tecnológico de Aragón [7], el cual tiene acreditación con la Entidad Nacional de Acreditación de España (ENAC), quien a su vez está acreditado con el International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Por esta razón, dos metrólogos del Laboratorio Secundario de Interferometría, responsables de la toma de datos, realizaron una comparación entre estos resultados y los ofrecidos por el laboratorio donde fue calibrada la cinta.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primera instancia, en la Tabla 1 se presentan los resultados dados por el Instituto Tecnológico de Aragón (España) para la cinta de 30 m.

Tabla 1. Calibración de la cinta métrica en el Instituto Tecnológico de Aragón (España).

Valor nominal (mm)	Error (mm)	Incertidumbre (mm)
0	-	-
1 000	0	1,0
2 000	0	1,0
3 000	0	1,4
4 000	0	1,4
5 000	0	1,7
6 000	0	1,7
7 000	0	2,0
8 000	0	2,0
9 000	0	2,2
10 000	0	2,2

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por dos metrólogos del Laboratorio Secundario de Interferometría. En la Tabla 2 se muestran los datos del metrólogo 1 y en la Tabla 3 los del metrólogo 2. Cabe destacar que el error y la incertidumbre fueron calculados con la Ecuación 2 y 3.

Tabla 2. Calibración de la cinta métrica por el metrólogo 1.

Valor nominal (mm)	Error (mm)	Incertidumbre (mm)
0	0	0,006
1 000	-0,108	0,058
2 000	0,045	0,094
3 000	0,142	0,139
4 000	0,151	0,185
5 000	0,355	0,231
6 000	0,535	0,277
7 000	0,502	0,323
8 000	0,722	0,369
9 000	1,057	0,414
10 000	0,964	0,463

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 3. Calibración de la cinta métrica por el metrólogo 2.

Valor nominal (mm)	Error (mm)	Incertidumbre (mm)
0	0,0	0,054
1 000	-0,068	0,121
2 000	0,044	0,109
3 000	0,128	0,144
4 000	0,127	0,192
5 000	0,364	0,247
6 000	0,483	0,287
7 000	0,465	0,325
8 000	0,704	0,386
9 000	1,022	0,418
10 000	0,885	0,474

En la Tabla 4 se muestran los errores normalizados obtenidos para los metrólogos participantes haciendo uso de los valores del certificado de calibración de la referencia.

Tabla 4. Error normalizado calculado entre los dos metrólogos y la referencia.

Valor nominal (mm)	E_{N_1}	E_{N_2}
0	0	0
1 000	0,07	0,11
2 000	0,04	0,04
3 000	0,09	0,10
4 000	0,09	0,11
5 000	0,21	0,21
6 000	0,28	0,31
7 000	0,23	0,25
8 000	0,35	0,36
9 000	0,46	0,47
10 000	0,39	0,43

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

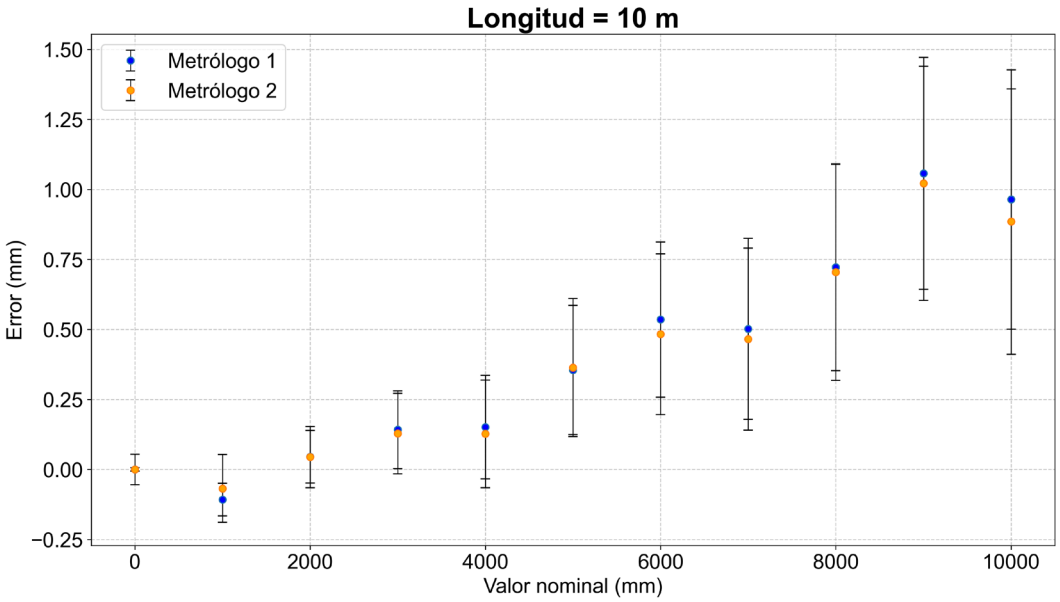


Fig. 3. Comparación entre los metrólogos 1 y 2.

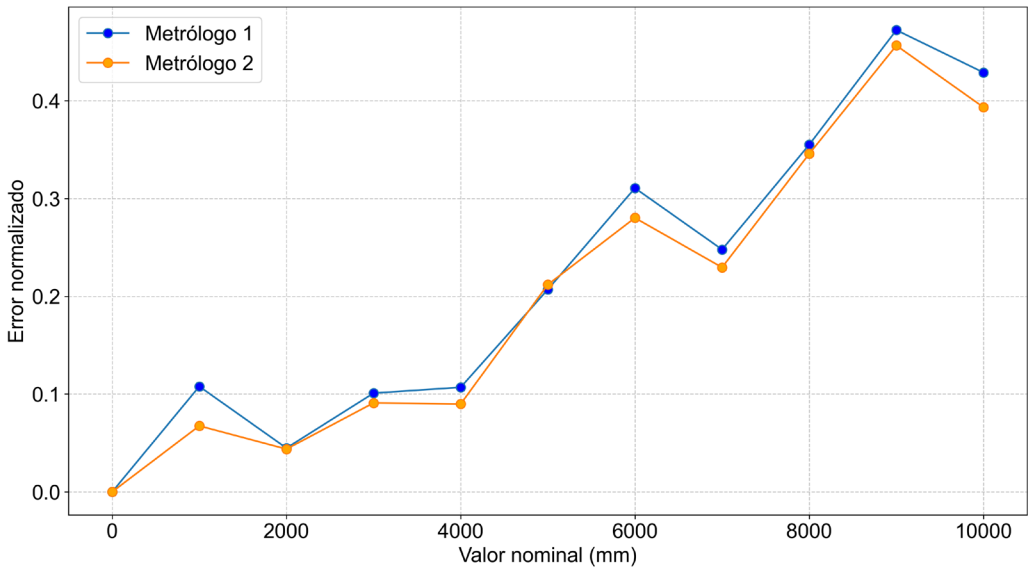


Fig. 4. Error normalizado obtenido de los metrologos con respecto a la referencia.

En la Fig. 3 se muestran los errores obtenidos y su respectiva incertidumbre para cada uno de los metrólogos involucrados. Estos resultados demuestran que ambos son comparables y mantienen un comportamiento similar. Cabe resaltar que los errores aumentan a medida que aumenta el valor nominal. Este aumento está relacionado a errores sistemáticos y aleatorios asociados al proceso de calibración, que se van acumulando con cada punto. Además, la incertidumbre de ambos metrólogos se mantuvo cercana entre sí.

En la Fig.4 el error normalizado obtenido al comparar las mediciones de cada uno de los

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

metrólogos con la referencia utilizada mantiene un comportamiento muy similar. A medida que aumenta el valor nominal, el error normalizado incrementa, lo cual lleva relación con el aumento de error obtenido durante la calibración. Además, los valores se mantuvieron por debajo de 0,5. Este resultado nos demuestra lo cerca que estuvieron los resultados obtenidos de la calibración con respecto a la referencia.

4. CONCLUSIONES

Se concluye que el método empleado para el servicio de calibración de MML funciona en óptimas condiciones. Los resultados derivados de la comparación entre los metrólogos y, posteriormente, con respecto a la referencia fueron satisfactorios. Esto demuestra que el Laboratorio Secundario de Interferometría avanza en la dirección correcta para ofrecer un servicio de calibración confiable y exacto al país. Además, los resultados obtenidos contribuyen al cumplimiento del objetivo planteado en este trabajo.

Por otra parte, el Centro se encuentra actualmente desarrollando la implementación de un sistema de visualización automatizado que permita la detección del centro del trazo de una MML. Esta iniciativa busca obtener mejores resultados de error e incertidumbre en este servicio de calibración, que en un principio estará dirigido a la industria panameña, pero que luego se puede expandir en su cobertura hacia el nivel regional.

Finalmente, cabe indicar que el Laboratorio Secundario de Interferometría en el CENAMEP AIP se encuentra en el desarrollo inicial del servicio de calibración de mesas de planitud. Este servicio evalúa la planitud de superficies de referencia utilizadas en mediciones geométricas, garantizando su exactitud y trazabilidad. Su implementación permitirá fortalecer la confiabilidad de las mediciones en este campo y atender las demandas del país en el área de longitud por interferometría.

Referencias

[1] N. Hernandez Cornejo, “El interferómetro de Michelson: entre el éter y las ondas gravitacionales”, Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes,vol. 9, no. 1, pp. 29-49, 2018. [En línea]. Disponible en: http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/2525.

[2] F. Muñoz, J. Monsoriu y J. Ortega, “Estudio del interferómetro de Michelson mediante un laboratorio virtual”, Modelling in Science Education and Learning, vol. 17, pp. 151-156, 2024. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.4995/msel.2024.21283.

[3] Centro Español de Metrología. “PROCEDIMIENTO DI-011 PARA LA CALIBRACIÓN DE FLEXÓMETROS”. [En línea]. Disponible en: https://www.cem.es/sites/default/files/di-011_digital.pdf.

[4] Centro Español de Metrología, “Vocabulario Internacional de Metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados”, 3ra ed. España: CEM, 2012. [en línea]. Disponible en: https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf.

[5] Centro Español de Metrología, “Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida”, 1ra ed. España: CEM, 2008. [en

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

línea]. Disponible en: https://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf.
[6] International Recommendation OIML R. 35-1. “Material measures of length for general use Part 1: Metrological and technical requirements”. [En línea]. Disponible en: https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r035-1-e07.pdf.
[7] Instituto Tecnológico de Aragón. (s. f.). “*ITA”.* [En línea]. Disponible en: https://www.ita.es/.
[8] Granados Romero Adrián, “Estudio sobre la medida del error de planitud con láser interferométrico”, Grado En Ingeniería Mecánica, Universidad de Valladolid, España, 2016.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todo el personal técnico y administrativo del CENAMEP AIP por la ayuda y apoyo logístico en el desarrollo de este proyecto, con el fin de habilitar un nuevo servicio de calibración de medida materializada de longitud, para el país.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en acceso abierto (open access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos, bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.
Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en este artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Valorización del uso de agua residual tratada para elaboración de hormigón

Caicedo, Nadine
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
nadine.caicedo@utp.ac.pa

Scott, Ana
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ana.scott@utp.ac.pa

Deago, Euclides
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
euclides.deago@utp.ac.pa

Sánchez, José De La Cruz
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jose.sanchez@utp.ac.pa

Villar, Jesús
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jesus.villar@utp.ac.pa

Abstract

The growing need for efficient water use has driven sustainable alternatives in construction, such as using treated wastewater to produce concrete. This study evaluates the structural concrete quality made with water from the Juan Díaz Wastewater Treatment Plant in Panama City. Tests were conducted to verify compliance with current standards and assess the impact on concrete properties. Leaching tests were also included to evaluate potential long-term environmental effects. Three mixtures were compared: one with potable water, one with a 50/50 mix of potable and treated water, and one with 100% treated wastewater, evaluated at 7 and 28 days. Results showed that mixtures with treated water matched or exceeded the strength of the control mix without compromising structural quality. Leaching

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

analyses did not show significant increases in chemical or biological parameters, indicating that concrete does not pose an environmental threat. In conclusion, the use of treated wastewater is feasible and can be considered in future sustainable construction projects.

Keywords: treated wastewater, concrete, durability, strength, sustainability.

Resumen

La creciente necesidad de un uso eficiente del agua ha impulsado alternativas sostenibles en la construcción, como el uso de aguas residuales tratadas para fabricar hormigón. Esta investigación evalúa la calidad del concreto estructural elaborado con agua proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz, en Ciudad de Panamá. Se realizaron análisis para verificar el cumplimiento de normas vigentes y determinar el impacto en las propiedades del concreto. Además, se incluyeron pruebas de lixiviación para evaluar posibles efectos ambientales a largo plazo. Se compararon tres mezclas: una con agua potable, otra con una mezcla 50/50 de agua potable y tratada, y una con agua residual tratada al 100%, evaluadas a los 7 y 28 días. Los resultados mostraron que las mezclas con agua tratada igualaron o superaron la resistencia de la mezcla patrón, sin comprometer la calidad estructural. Los análisis de lixiviación no evidenciaron aumentos significativos en parámetros químicos o biológicos, lo que indica que el concreto no representa una amenaza ambiental. En conclusión, el uso de aguas residuales tratadas es viable y puede ser considerado en futuros proyectos de construcción sostenible.

Palabras claves: agua residual tratada, concreto, durabilidad, resistencia, sostenibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para la humanidad, en ella se basan las actividades diarias de la población, sin embargo, como consecuencia del cambio climático este recurso vital se ha visto amenazado por variaciones climáticas como el fenómeno del niño que ha causado sequías extensas en el istmo y limitando el recurso hídrico de la nación. Para el 2050 se han pronosticado periodos de sequía, enfermedades y plagas por los cambios en el clima. Acentuando la condición de que el agua es un recurso natural no renovable y, por lo tanto, su disponibilidad es y será cada vez más limitada [1].

En Panamá estos problemas climáticos han causado estragos en comunidades y ciudades limitando así el desarrollo sostenible de la población, en esto está el caso del Canal de Panamá que se presenta directamente afectado por el cambio climático y las actuales sequias, afectando así el caudal de sus embalses que aseguran sus operaciones a lo largo

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

del año y sobre todo en periodos de sequía. El reúso de las aguas es un mecanismo de mitigación que ha estado creciendo tanto en países desarrollos, como en aquellos en vías de desarrollo, este hecho indica que los efectos del cambio climático afectan a todos por igual, provocando la escasez del recurso hídrico. De acuerdo con las Naciones Unidas para 2025 dos terceras partes de la población mundial enfrentará escasez de agua [2].
Así como el reúso de aguas residuales tratadas juegan un papel importante como solución a la crisis hídrica, se propone utilizarlas como recurso hídrico disponible para combatir la escasez, alentando así, la concienciación de la conservación del agua como recurso vital y propendiendo al uso eficiente y sostenible del mismo (Fig. 1) [3].

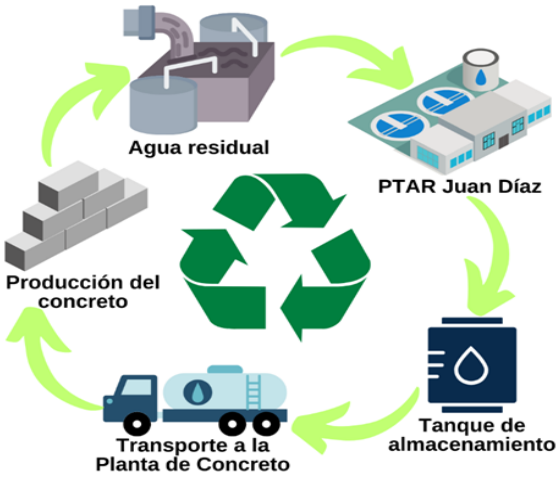


Fig. 1: Economía circular en la producción de concreto.

2. MÉTODO

A. Materiales para la mezcla de concreto

En la presente investigación se utilizaron materiales convencionales para la elaboración de concreto. Como agregados, se empleó arena de mar fina (agregado fino) y piedra #7 (agregado grueso). El cemento utilizado fue de tipo HE, apto para estructuras que requieren altas resistencias a edades tempranas. Se incorporó el aditivo MasterPolyheed® 1157, caracterizado por ser un reductor de agua de alto rango y retardante, especialmente formulado para concreto bombeado. Cabe destacar que los materiales mencionados anteriormente fueron suministrados a granel por una concretera ubicada en la provincia de Panamá. En cuanto al agua, se utilizó agua potable proveniente de la red del IDAAN para la mezcla patrón, y agua residual tratada proveniente de los módulos 1 y 2 de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá para las mezclas de prueba.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

B. Análisis de las muestras de agua residual tratada

Debido a la influencia que posee el agua de mezcla en las propiedades del concreto es necesario realizar una evaluación previa a su uso cuando el agua no es potable. Por lo tanto, se realizó un análisis de calidad de agua en 8 muestras de agua residual tratada y una dilución (1:1) con agua potable. Se tomaron como referencia las normas ASTM 1602 y DGNTI COPANIT 24-99 para determinar si el uso del agua es óptimo para realizar una mezcla de hormigón [4] [5]. En el laboratorio se evaluaron los siguientes parámetros: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Alcalinidad Total ($CaCO_3$), Demanda Química De Oxígeno (DQO), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-), Amonio (NH_3), Cloro residual (Cl_2 residual), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos totales (ST) y Sólidos sedimentables (SS) (Fig. 2).

Fig. 2. Análisis de muestras de agua residual tratada.

C. Preparación de la mezcla y elaboración de especímenes

El diseño de mezcla se realizó conforme a una dosificación para una resistencia a la compresión de 4000 psi a los 28 días brindada por la empresa Concretex. Se utilizó una mezcladora con el objetivo de garantizar la homogeneidad del concreto. Una vez realizada la mezcla, esta se colocó en probetas para cilindros de concreto, para someterlos a ensayo posteriormente. Las dimensiones de las probetas se encuentran estandarizadas y se optó por el uso de moldes de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura. Este procedimiento para la elaboración de los cilindros se realizó de acuerdo con la norma ASTM C31 para asegurar uniformidad en la forma y tamaño de las muestras. Cada molde se llenó hasta un tercio de su capacidad, compactando la capa mediante 25 golpes con una varilla, distribuidos uniformemente, para asegurar una buena compactación. Seguidamente, con un martillo se dieron 12 golpes a lo largo del molde para eliminar el aire atrapado en la mezcla de concreto. Este proceso se repitió 3 veces hasta llenar cada molde por completo con la mezcla. Posteriormente,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

se enrasaron los cilindros para que obtuvieran una superficie lisa y se dejaron reposar en los moldes por 24 horas. Finalmente, luego de esperar el tiempo reglamentario, se desencofraron los cilindros y se colocaron en una tina de curado a temperatura ambiente hasta que se cumplieran 28 días (Fig. 3) [6].

Fig. 3. Procedimiento de elaboración de especímenes.

D. Pruebas de resistencia a la compresión

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial compresiva a cilindros moldeados a una velocidad que está dentro de un rango prescrito hasta que se produzca una falla. En esta investigación se utilizaron 30 cilindros para ensayar a los 7 y 28 días, en 3 tipos de mezclas (Patrón, 1:1 y 100% agua tratada). El procedimiento de este ensayo se efectuó de acuerdo con la norma ASTM C39 [7].

3. RESULTADOS

A. Pruebas de calidad de agua

Se efectuaron pruebas de calidad de agua en dos tipos de muestras (dilución 1:1 y agua residual tratada) y se compararon con la normativa vigente para verificar si su uso en la producción de concreto es adecuado. Los resultados obtenidos demuestran que en ambos tipos de muestra no se superan los valores máximos establecidos por las normativas. A excepción de un pequeño incremento en el valor de la DQO en la muestra de agua residual tratada en el módulo 1. Por lo tanto, el uso de ambos tipos de agua para producir hormigón es aceptable (Tabla 1).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Resultados de la caracterización de las muestras de agua

		Agua Residual Tratada		Dilución (1:1)	Normativa Vigente		
Parámetro	Módulo 1 Unidad	Módulo 2	Módulo 1	Módulo 2	DGNTI CO-PANIT 24-99	ASTM 1602	
ORP	mV	35.75±7.51	85.50±3.54	190.00±36.77	140.50±4.95	-	-
pH	-	6.87±0.19	7.05±0.78	7.21±0.50	7.02±0.29	6.0-9.0	-
Cl^-	mg/L	84.30±14.18	81.11±2.47	45.64±6.66	43.17±3.08	-	500
SO_4^{2-}	mg/L	45.53±4.07	40.53±3.15	29.93±3.08	28.25±4.14	-	3000
$CaCO_3$	mg/L	119.33±14.64	71.58±10.56	81.85±12.61	71.68±10.11	-	-
DQO	mg/L	124.00±11.14	71.50±6.36	76.67±10.12	68.75±12.37	80	-
NO_3^-	mg/L	1.30±0.15	12.65±1.91	1.70±0.55	7.35±0.56	-	-
NO_2^-	mg/L	2.10±0.12	1.64±0.25	1.67±0.26	1.89±0.24	-	-
NH_3	mg/L	9.60±1.83	0	9.60±1.83	0	-	-
Conductividad	µs/cm	606.00±82.54	526.50±44.55	401.50±27.43	334.50±7.78	-	-
Cloro residual	mg/L	0	0.03±0	0	0.03±0	<1	-
SST	mg/L	5.33±0.58	6.00±1.41	4.67±2.31	2.00±0	<40	-
ST	mg/L	387.33±54.24	328.00±31.11	235.00±27.53	242.33±37.31	-	50000
Ssed	mg/L	0.1±0	0.37±0	0.1±0	0.1±0	-	-

B. Ensayos de resistencia a la compresión

Seguidamente, se muestra un comparativo con los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para las edades de 7 y 28 días del conjunto de cilindros con respecto a su composición de agua. En este se puede apreciar cómo todas van aumentando con el tiempo y cómo a medida que pasa, se va reduciendo el porcentaje de crecimiento con respecto a su resistencia. Se visualiza que a pesar de que todas las mezclas van en aumento, la dilución 1:1 muestra un mejor comportamiento en comparación a las demás (Fig. 4).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

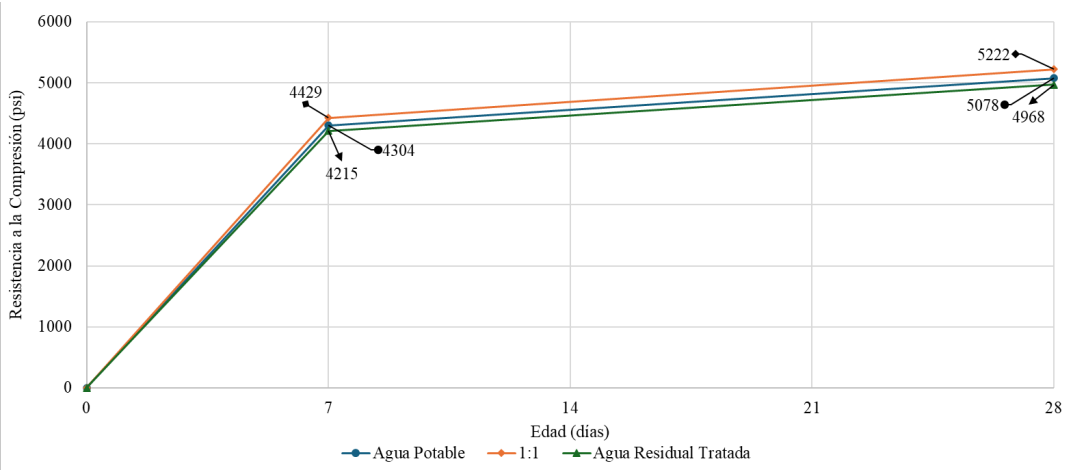


Fig. 4. Gráfico comparativo de resistencia a través del tiempo.

4.CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de calidad de agua reflejan que tanto el agua residual tratada como la dilución no exceden los límites establecidos por las normas DGNTI COPANIT 24-99 y ASTM 1602, por lo tanto, ambos tipos de agua pueden ser utilizadas para mezclas de concreto.

En los ensayos de resistencia a la compresión en los tres de diseños de mezcla, se observa un aumento constante en la resistencia a través del tiempo, por lo tanto, se demuestra un comportamiento normal con respecto a las mezclas tradicionales de concreto. Cabe destacar que la mezcla con la dilución (1:1) obtuvo un incremento significativo con respecto a los otros diseños.

Se comprobó que los valores de resistencia promedio obtenidos a los 28 días en los diseños de mezcla con agua residual tratada superan la resistencia de diseño f´c = 4000 psi. Por lo tanto, este concreto (sin refuerzo) puede emplearse en elementos estructurales sometidos principalmente a cargas de compresión, o en aquellos donde la resistencia a tracción no sea un factor determinante.

Generar marcos regulatorios que proporcionen incentivos a las empresas con el objetivo de que implementen esta iniciativa a nivel nacional.

Referencias

[1] Ministerio de Ambiente, «Oferta y Uso de agua en Panamá Basado en los resultados de la Cuenta Ambiental de Agua 2000-2018,» 2019.

[2] R. Prado, B. Segura y Y. Mack, «Impacto del Cambio Climático en la Operatividad del Canal de Panamá,» RIC, 2024.

[3] J. Manga, N. Logreira y J. Serralt, Reuso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible, 2001.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[4] «ASTM C1602 Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement,» 2009.
[5] «DGNTI COPANIT 24-99 Reutilización de las aguas residuales tratadas,» 2000.
[6] ASTM International, «ASTM C31/C31M Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field,» 2019.
[7] ASTM International, «ASTM C39/C39M Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,» 2023.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Avances en la Implementación del Servicio de Sincronización al UTC(CNMP) por NTP de Manera Segura

Solis Betancur, Raúl Fernando
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-1043-4294

Abstract

With the increasing need for synchronization to keep processes and equipment under control, such as the synchronization needs of IoT devices or the need for time traceability in the financial sector, access to reliable time sources is extremely important, especially when cyberattacks on Information Technology and Operational Technology infrastructures are in increase, with the aim of affecting the time transfer chain. Therefore, the Primary Time and Frequency Laboratory, responsible for safeguarding of the Time and Frequency National Standards (Atomic Clocks) and developing the UTC(CNMP), together with the Time and Frequency Dissemination Laboratory, responsible for providing time dissemination services traceable to the UTC(CNMP), began a development of strengthening their processes against possible cyberattacks, resulting in a UTC(CNMP) synchronization service using the Network Time Protocol, more secure and reliable for its customers.

Keywords: UTC(CNMP), NTP, timing, cybersecurity, GNSS.

Resumen

Con el incremento de la necesidad de sincronización para tener bajo control los procesos y los equipamientos, como es el caso de las necesidades de sincronización de los dispositivos IoT o las necesidades de rastreabilidad de tiempo en el sector financiero, el acceso a fuentes de tiempo confiable es sumamente importante y más cuando se están incrementando los ciberataques a las infraestructuras de las Tecnologías de la Información y las Tecnologías Operativas con el objetivo de afectar la cadena de transferencia de tiempo. Por ello, el Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia, encargado de custodiar los Patrones Nacionales de Tiempo y Frecuencia (Relojes Atómicos) y desarrollar el UTC(CNMP), en conjunto con el Laboratorio de Diseminación de Tiempo y Frecuencia, encargado de brindar servicios de diseminación de tiempo rastreable al UTC(CNMP), iniciaron un proceso de robustecimiento de sus procesos frente a posibles ciberataques, y teniendo como resultado un servicio de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

sincronización al UTC(CNMP) empleando el Network Time Protocol, más seguro y confiable para sus clientes.

Palabras claves: UTC(CNMP), NTP, sincronización, ciberseguridad, GNSS.

1. INTRODUCCIÓN

El empleo de fuentes de tiempo estables y seguras es una de las piedras angulares en los conceptos de IoT, sistemas financieros y entornos digitales, porque nos permiten saber cuándo los eventos ocurren, lo que nos da una secuencia de la ocurrencia de los eventos, que nos permiten correlacionarlos y obtener más información del proceso o de las características de seguridad. Por ello, se recomienda emplear relojes de referencia rastreables al Tiempo Universal Coordinado (UTC) o al GNSS (Global Navegation Satellite System) y, en algunos casos, es requerido obligatoriamente su empleo: de manera mundial la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), la Unión Europea (EU) y Estados Unidos (EE. UU.), lo requieren en sus procesos financieros y de ciberseguridad, mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1. Normativas donde se requiere el empleo obligatorio de UTC.

Dominio	Normativa	Descripción
ITU	ITU-R TF.1876	Fuentes de tiempo confiable para autoridades de estampado de tiempo (firma digital)
UE	ETSI EN 319-421 y ESTI EN 319-422	Time Stamping Units deben estar sincronizados con UTC
UE	MiFID II / MiFIR	Las entidades financieras deben sincronizar sus relojes con referencia a UTC/GNSS para reporte de órdenes y transacciones
UE	ECB TARGET2 / TIPS	Los mensajes de pago instantáneo deben llevar timestamps en UTC
EE. UU.	FINRA / SEC / CAT	La sincronización del “Business Clocks” es a UTC(NIST)
EE. UU.	Guías NIST (SP 800-53, SP 800-171)	En ciberseguridad, se requiere timestamps a UTC

Como los ciberataques ahora se están dirigiendo a atacar las cadenas de transferencia de tiempo desde dos frentes: el frente de las Tecnologías de la Información (TI) y el frente de las Tecnologías Operativas (TO), normas de ciberseguridad como la ISO 27001:2022 (Anexo A, Controles de Seguridad, A.8.15 — “Uso de relojes”) exige el control del reloj de referencia. Y por ello, muchos usuarios consideran que cuando se emplea el protocolo NTP (Network Time Protocol) [1] o su versión simple, el SNTP, se satisfacen muchos de estos requerimientos.

Debido al incremento del NTP/SNTP como mecanismo de sincronización al UTC, el Laboratorio de Diseminación de Tiempo y Frecuencia (LDTF) del Centro Nacional de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Metrología de Panamá (CENAMEP) inicia el servicio de sincronización por NTP al UTC(CNMP) [2] y el LPTF desarrolla un sistema de gestión del laboratorio para mejorar su desempeño en el control del UTC(CNMP) [3]. Pero al llegar la pandemia, se redefine todo lo concerniente a seguridad en el cibermundo, obligando a desarrollar una serie de trabajos con el objetivo de robustecer la seguridad en entornos de TI y también ahora incluimos entornos de TO para garantizar una sincronización segura al UTC(CNMP).

2. MÉTODO

En términos de las referencias de tiempo, se analizó el comportamiento del UTC(CNMP) y los Relojes Atómicos (RA), que son el corazón de los procesos en el LPTF, buscando la deriva (asociado a su predictibilidad) y a su dispersión (asociado a la calidad de la señal de referencia). Para realizar la predicción y mantener UTC(CNMP) bajo control, se emplea regresiones lineales simples en los RA y el resultado se aplica al Generador de Desvíos de Frecuencia [4]. En términos del control de las TO, se trabajó en incrementar la seguridad del enlace con GNSS, empleando mecanismos de detección y mitigación de interferencias radioeléctricas, el control de la redundancia del respaldo eléctrico y el desempeño de los servidores NTP/SNTP (llamados Servidores de Tiempo por Red o STR). En términos del control de las TI se trabajó en analizar las vulnerabilidades de conexión (por ejemplo, empleando el programa Nmap), además del acceso a las configuraciones guardadas por contraseña y el desempeño del Firewall local.

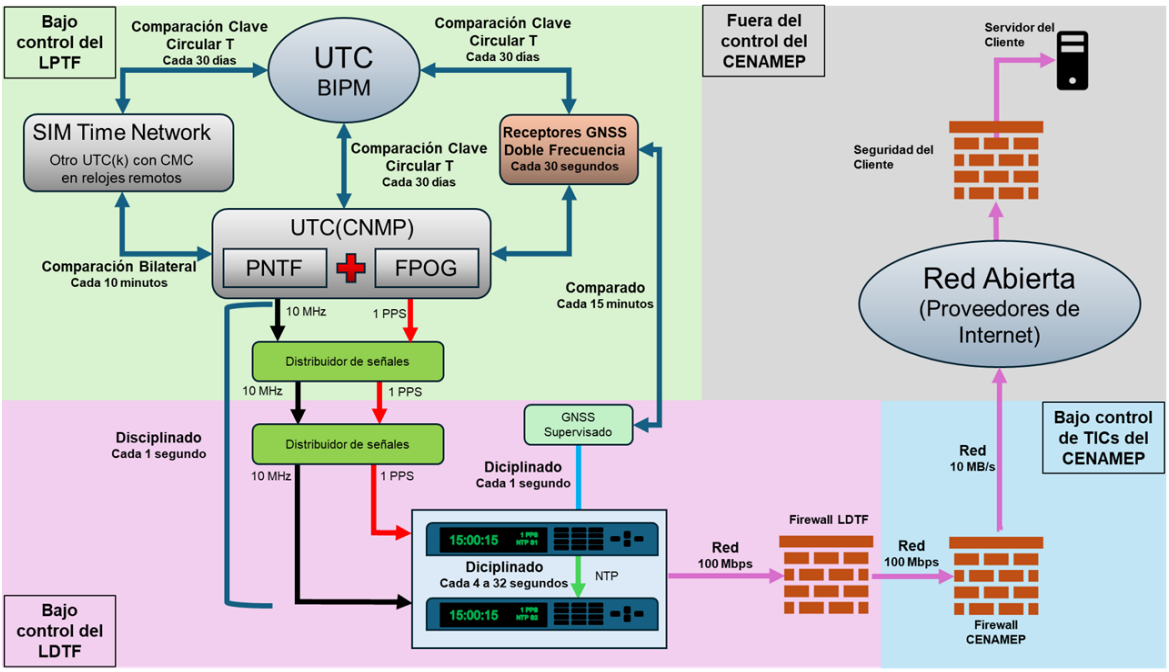


Figura 1. Zonas de control de los laboratorios LPTF y LDTF, el CENAMEP y hasta los clientes.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

El trabajo se desarrolló en los procesos que el LPTF y el LDTF tenían bajo control, como se muestra en la Figura 1, mientras que el área de TI del CENAMEP desarrolla sus propios procesos de seguridad.

3. RESULTADOS

A. Mejoras en el control de UTC(CNMP) y los Patrones Atómicos

Se logro establecer las estabilidades en para que cumplieran con parámetros conocidos de telecomunicaciones, y que también mostraran realmente los estados de los RA. Además, se obtuvieron datos que nos permiten mejorar el control del UTC(CNMP) en base a los RA, como se muestra en la Figura 2 y la Tabla 2.

	Límite ITU G.811	CS1 (ns)	CS2 (ns)	CS3 (ns)	CS4 (ns)	CS5 (ns)
Desviación a 1 segundo	± 1E-11	-1.51E-14	-4.15E-14	3.89E-14	6.83E-14	-2.07E-13
TDEV (1 s)	3 ns	0.004	0.004	0.006	0.003	0.003
TDEV (100 s)		0.094	0.098	0.087	0.071	0.079
TDEV (1 000 s)	30 ns	0.296	0.296	0.262	0.211	0.223
TDEV (10 000 s)		0.999	1.143	0.820	0.566	0.860
Datos empleados para predecir la diferencia de tiempo y corregir UTC(CNMP)						
Variabilidad (empleando TDEV)		**CS1 (ns)**	**CS2 (ns)**	**CS3 (ns)**	**CS4 (ns)**	**CS5 (ns)**
V_5: Variabilidad a 5 días		6.2	10.6	7.8	7.2	14.6
V_{30}: Variabilidad a 30 días		8.7	20.4	14.7	13.2	22.1
V_{90}: Variabilidad a 90 días		20.1	38.6	36.7	28.5	48.0
P: Pendiente (ns/mes)		-1.3	-3.6	3.4	5.9	-17.9

Figura 2. Los resultados de la caracterización de los RA en términos de cumplimiento como reloj de referencia (ITU G.811) y en términos de la predictibilidad para sostener el UTC(CNMP).

Tabla 2. Análisis de 2 años de la realización local del UTC del CENAMEP, con respecto a otros institutos de la región.

	UTC(CNMP) Panamá	UTC(NIST) E.E. U.U.	UTC(CNM) México	UTC(ICE) Costa Rica	UTC(INM) Colombia
Promedio (ns)	0,4	-0,1	-1,5	11,0	-65,4
Dispersión (ns)	5,5	1,0	3,6	50,9	60,1
Incertidumbre (k = 2)	11,2	4,0	10,6	14,2	40,8

B. Mejoras en el control de las TO

Las medidas implementadas permitieron mejorar el control de los receptores GNSS y los servidores NTP/SNTP que tienen conexión secundaria a GNSS, además de implementar mecanismos de mitigación de interferencias tipo Jamming (empleando filtros y medidas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de espectro, mostrado en la Figura 3) y tipo Spoofing (implementando mecanismos de validación de satélites como el OSNMA [5]).

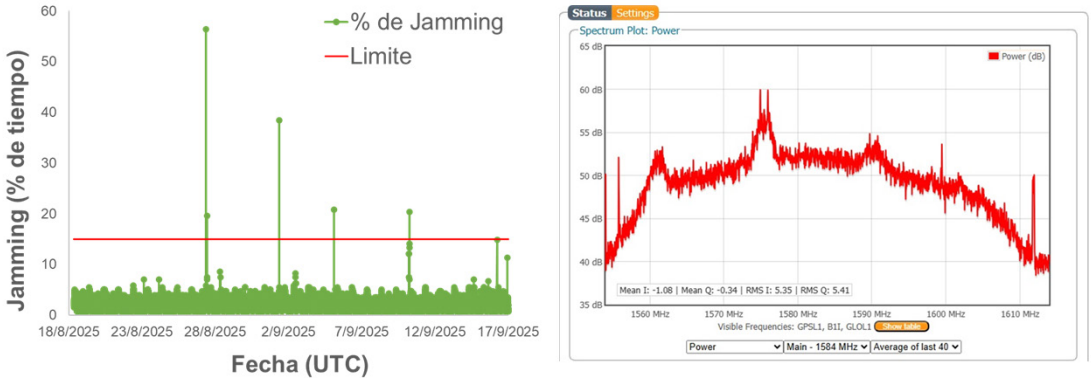


Figura 3. El poder detectar señales de interferencia nos permiten asegurar la calidad del enlace GNSS para las comparaciones por vista común y salvaguardar físicamente los receptores de cualquier daño.

Además, se implementaron mejores mecanismos de verificación del desempeño de los STR, con lo que se obtuvo rendimientos por debajo de 200 us en redes internas (mostrado en la Tabla 3), con lo que se establecen criterios de control de su desempeño. También se emplea la Red de Comparación de Servidores NTP [6] para monitorear el rendimiento en redes externas y logrando variaciones por debajo de 10 ms en comparaciones contra NIST (datos abiertos accesibles desde la página https://tf.nist.gov/sim/).

Tabla 3. Se emplea una comparación constante entre servidores para verificar su desempeño y generar referencia para analizar su comportamiento frente a posibles situaciones de seguridad.

Servidor NTP	Stratum de trabajo	Fuente de sincronización	Offset (ms)	Dispersión (ms)	Exactitud (combinación cuadrática, ms)
Servidor Piloto	1	GNSS	0,000	0,002	± 0,002
Servidor A	1	Frecuencia	0,000	0,011	± 0,011
Servidor B	2	Servidor A	1,780	0,273	± 1,801
Servidor C	1	Frecuencia	0,018	0,006	± 0,019
Servidor D	1	1 PPS	0,052	0,034	± 0,062
Servidor E	2	Servidor A	-0,002	0,025	± 0,025

C. Mejoras en el Control de las TI

El trabajo desarrollado resultó que para el control de las TI lográramos:
Mejoras en el control de las contraseñas empleando almacenamiento encriptado mediante MD5 y el algoritmo 3DES, y se eliminó cualquier configuración en texto plano para los programas desarrollados en los laboratorios.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Analizar y mitigar las vulnerabilidades: Se hicieron pruebas agresivas a cada equipo involucrado. Los sistemas más seguros fueron los STR (diseñados para ser seguros), mientras que los receptores GNSS mostraron vulnerabilidades por configuración (tienen las herramientas de seguridad, pero hay que activárselas manualmente). Los sistemas operativos fueron los entornos menos seguros y requirieron más trabajo de configuración y actualizaciones.

Configurar al Firewall local para que solo permitiera tráfico NTP/SNTP a las zonas delimitadas para los STR a sus puertos asignados, y se activaron sus funciones de reconocimiento de tráfico para robustecer la seguridad en caso de ataques o intentos de intrusión.

4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo, se refuerza las capacidades para mantener en control los procesos y su optimización. Se ha mejorado y el robustecido la generación de UTC(CNMP) y su transferencia a los clientes que lo necesitan mediante NTP/SNTP. Además, al incorporar un enfoque de ciberseguridad en las TI/TO, se incrementa la confianza de la prestación del servicio de sincronización empleando NTP/SNTP. Con esto podemos seguir indicando que el LDTF sigue brindando soluciones a necesidades reales con este primer servicio de Sincronización Segura empleando NTP/SNTP, manteniéndonos como referencia en la región de Centroamérica y el Caribe.

Referencias

[1] Mills, D., Burbank, J., & Kasch, W. (2010). Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification. https://doi.org/10.17487/rfc5905

[2] Solís Betancur, R. F. (2016). Servicio de Diseminación de Tiempo por Red en el CENAMEP AIP. En Simposio de Metrología 2016 (pp. 211–212). CENAM. https://www.cenam.mx/memorias/

[3] Solís Betancur, R. F. (2016). Desarrollo de un Sistema para la Gestión de la Información para el Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia. En Simposio de Metrología 2016 (pp. 213–214). CENAM. https://www.cenam.mx/memorias/

[4] R. F. Solís and L. M. Mojica, “Application of SIMT and UTCr timescales for the maintenance of the Universal Time coordinated in Panama,” 2014 IEEE Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIV), Panama, Panama, 2014, pp. 1-1, doi: 10.1109/CONCAPAN.2014.7000474

[5] “Galileo Open Service Navigation Message Authentication (OSNMA) | European GNSS Service Centre (GSC).” https://www.gsc-europa.eu/galileo/services/galileo-open-service-navigation-message-authentication-osnma

[6] Lombardi, M. , Levine, J. , Lopez, J. , Jimenez, F. , Bernard, J. , Gertsvolf, M. , Sanchez, H. , Fallas, O. , Hernandez, L. , de, R. , Fittipaldi, M. , Solis, R. and Espejo, F. (2014), International Comparisons of Network Time Protocol Servers, Proceedings of the Precise Time and Time Interval Systems and Applications (PTTI) Meeting, Boston, MA, [online], https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=917539 (Accessed October 24, 2025)

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC 2025 a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Cálculo de periodos de retorno de crecidas máximas en ríos de Panamá y su aplicación con la herramienta ArcGIS

Vega, Sherlenys
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
sherlenys.vega@utp.ac.pa
https://orcid.org/0009-0000-6004-4759

Esquivel, Alexander
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
alexander.esquivel@utp.ac.pa

Abstract

This study presents the analysis of maximum flood return periods in Panama's rivers, applied using ArcGIS tools. The objective was to estimate design flows through the use of statistical methods such as Weibull, Weibull-Gumbel, Log-Normal, and Log-Pearson Type III. Historical hydrological data from 39 stations were analyzed, focusing on the Santa María River – Santa Fe station to determine return periods and flow behavior under extreme hydrological conditions. Results show that theoretical models effectively estimate flood risks and support decision-making in hydrological management. The integration of ArcGIS allowed spatial representation of the analyzed data, enhancing visualization and interpretation for water resource planning.

Keywords: return period, hydrology, ArcGIS, maximum instantaneous flow rate, flood análisis.

Resumen

El presente estudio analiza los periodos de retorno de crecidas máximas en ríos de Panamá, aplicando herramientas de ArcGIS. El objetivo fue estimar caudales de diseño mediante métodos estadísticos como Weibull, Weibull-Gumbel, Log-Normal y Log-Pearson Tipo III. Se emplearon datos históricos de 39 estaciones hidrológicas, enfocándose en la estación Río Santa María – Santa Fe para determinar los periodos de retorno y el comportamiento del caudal bajo condiciones hidrológicas extremas. Los resultados demuestran que los modelos teóricos permiten estimar de manera confiable los riesgos de crecida y contribuyen a la

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

gestión hidrológica. La integración de ArcGIS permitió representar espacialmente los datos analizados, mejorando la interpretación para la planificación de los recursos hídricos.

Palabras claves: periodo de retorno, hidrología, ArcGIS, caudal máximo instantaneo, crecidas.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de periodos de retorno es una herramienta esencial en hidrología aplicada, ya que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos como inundaciones. En Panamá, donde la red hidrográfica es diversa y las lluvias intensas son frecuentes, el estudio de crecidas máximas resulta vital para el diseño de infraestructuras hidráulicas y la gestión del riesgo. Este trabajo se desarrolló en el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA), aplicando métodos estadísticos y herramientas geoespaciales de ArcGIS para analizar los caudales máximos registrados en diferentes ríos del país.

Cuando hablamos de un periodo de retorno, nos referimos al tiempo promedio que pasa entre dos eventos extremos de la igual magnitud. Por ejemplo, un evento con periodo de retorno de 100 años tiene una probabilidad del 1% de ocurrir en cualquier año, mientras que un evento de 25 años tiene una probabilidad del 4% anual[1].

Se seleccionaron 39 estaciones hidrológicas con un mínimo de 30 años de registros históricos. Para el cálculo de los caudales máximos y sus periodos de retorno se aplicaron los métodos Weibull, Weibull-Gumbel, Log-Normal y Log-Pearson Tipo III. Estos métodos permiten estimar la probabilidad de ocurrencia de caudales extremos y generar curvas de frecuencia. La información fue procesada en hojas de cálculo y posteriormente integrada en ArcGIS para la representación espacial de los resultados. Para este resumen, los resultados se presentan únicamente para la estación Río Santa María – Santa Fe.

2. MÉTODO

A. Weibull

El método de Weibull, un método teórico muy utilizado en hidrología para estimar la probabilidad de ocurrencia de crecidas máximas. Este método se basa en ordenar los datos históricos de caudales y asignarles una probabilidad de excedencia, lo que permite calcular el periodo de retorno de un evento extremo[2]. En esta investigación, el método de Weibull se utilizó como punto de partida y como referencia teórica, para luego compararlo con

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

otros tres métodos estadísticos más complejos.

B. Weibull – Gumbel

Consiste en aplicar la fórmula de Weibull para organizar los datos y asignar probabilidades, y luego ajustar esos resultados a la distribución Gumbel, que es una distribución matemática especializada en modelar fenómenos extremos, como lluvias intensas o crecidas máximas[3]. Es muy útil en proyectos de diseño hidráulico, represas, puentes, canales, etc.

C. Log Normal

Para que el método Log Normal sea confiable en hidrología, es importante contar con un número adecuado de datos. Generalmente, se recomienda tener al menos 20 a 30 años de datos de caudales máximos anuales para realizar una estimación confiable. Esto se debe a que un tamaño de muestra más grande permite una mejor representación de la variabilidad y las características de la distribución de los datos, lo cual es crucial para obtener estimaciones precisas de los caudales máximos con diferentes periodos de retorno[4].

D. Log Pearson Tipo III

Para que el método sea fiable, se recomienda tener al menos 10 años de datos de caudales anuales máximos. Sin embargo, la fiabilidad aumenta con la cantidad de datos disponibles. Idealmente, se deberían tener más de 20 años de datos para obtener estimaciones más precisas y reducir la incertidumbre [5].

3. RESULTADOS

A. Periodos de Retorno de Crecidas Máximas

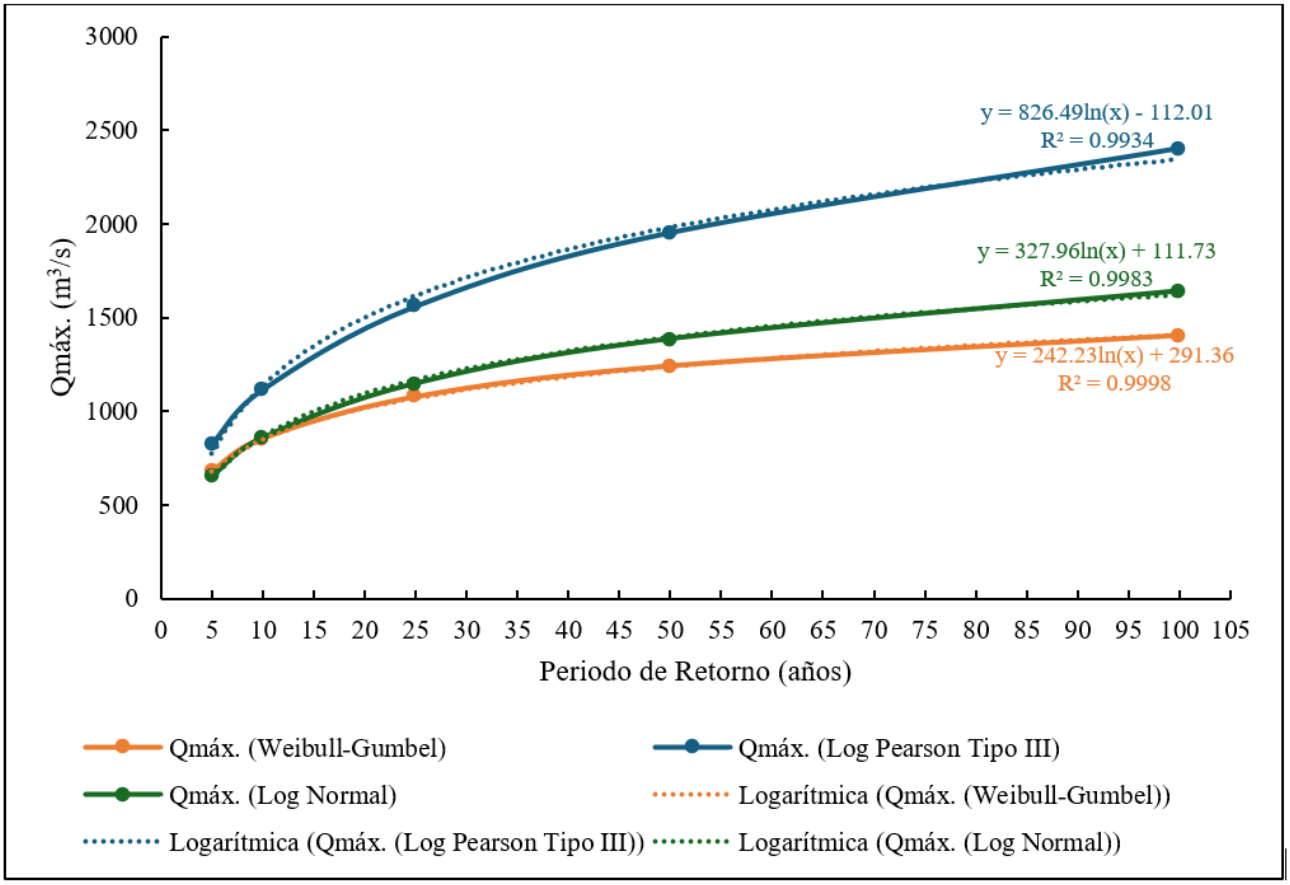
A partir del procesamiento estadístico de los registros hidrológicos disponibles para las estaciones, se aplicaron los cuatro modelos para estimar caudales máximos correspondientes a diferentes períodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años). Los valores estimados fueron comparados con los registros observados y se evaluaron mediante indicadores de ajuste, permitiendo determinar cuál modelo presenta mayor precisión en la estimación de eventos extremos.

Ejemplo en la estación Río Santa María - Santa Fe, se observaron diferencias significativas entre los métodos. En cuanto a la Precisión de los métodos: se evaluó el Error Cuadrático Medio (MSE) donde el modelo Weibull-Gumbel mostró el menor error, indicando mayor precisión en la estimación de caudales extremos.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Período de Retorno de Caudales Máximos de la Estación 132-01-01 Río Santa María – Santa Fe.

Tr (años)	5	10	25	50	100
P (Probabilidad)	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01
Qmáx. (m^3/s) (Weibull - Gumbel)	676,63	852,56	1074,84	1239,75	1403,44
Qmáx. (m^3/s) (Log Pearson Tipo III)	822,41	1113,50	1559,24	1952,85	2404,22
Qmáx. (m^3/s) (Log Normal)	655,29	859,95	1149,29	1385,83	1640,15



Gráfica 1. Periodo de Retorno de Caudales Máximos, Estación 132-01-01, Río Santa María - Santa Fe.

4. CONCLUSIONES

El estudio demuestra que la aplicación de métodos estadísticos como Weibull, Gumbel, Log-Normal y Log-Pearson Tipo III es efectiva para estimar los caudales de diseño en los ríos de Panamá. En particular, los resultados de la estación Río Santa María – Santa Fe reflejan un comportamiento hidrológico estable y predecible, validando la utilidad de estos modelos. El modelo combinado Weibull-Gumbel presentó la mayor repetición como el método más preciso en el análisis de frecuencia de crecidas máximas en múltiples estaciones hidrológicas.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Esto se debe a que su estructura híbrida permite aprovechar simultáneamente la frecuencia empírica de la distribución de Weibull y la capacidad de ajuste teórico del modelo de Gumbel. Weibull organiza los datos observados sin suponer una distribución específica, mientras que Gumbel proyecta eventos extremos no registrados mediante extrapolación matemática. Esta combinación mejora la robustez del ajuste en series sesgadas y con alta variabilidad, que son características comunes en las series hidrometeorológicas de Panamá.

Referencias

[1] CivilGeeks, "¿Qué es el periodo de Retorno?" Consultado: el 9 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://civilgeeks.com/2023/10/23/que-es-el-periodo-de-retorno/

[2] Y. Ramírez Abundis, "Distribuciones exponenciadas (Weibull y Gumbel) en procesos estacionarios para mínimos", Universidad Nacional Autónoma de México , México, 2020. Consultado: el 9 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000802926

[3] Jorge E. González Marín, Hidrología Superficial, 3a ed. Colombia, 2007.

[4] B. P. Sangal y Asit K. Biswas, "Water resources research", 1970.

[5] V. P. Singh, "Log-Pearson Type III Distribution", en Entropy-Based Parameter Estimation in Hydrology, vol. 30, 1998, pp. 252–274. doi: 10.1007/978-94-017-1431-0_15.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Diseño del marco externo de una máquina de pesos muertos de 10 kN en el CENAMEP AIP

Saavedra, Victoria
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0007-2484-8099

Kuruc, José
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-5038-7766

Abstract

Force measurement is a fundamental pillar for ensuring quality and safety in production systems, materials testing, structural design, and mechanical component evaluation. Currently, the National Metrology Center of Panama (CENAMEP AIP) calibrates testing machines using validated methods compared with other National Metrology Institutes (NMI), achieving uncertainties of less than 0.15%. However, secondary laboratories are providing calibration services to materials testing machines with high-accuracy force transducers, whose traceability is sought outside the country, making services more expensive for local industry. For this reason, a strategy was planned that establishes force metrology capabilities for 2030. The technical approach includes the incorporation of a deadweight machine with uncertainties of 0,002% to calibrate class 00 transducers according to ISO 376, for ranges from 0,1 kN to 10 kN. This work presents the structural design of the load frame and upper plate, scaled from a previous 25 kN design generated by CENAMEP in 2023. In this new version, the structural joints of the beams were defined, and the static analysis of the design was further developed. In addition, there are plans to provide services for ranes from 5 kN to 200 kN and from 100 to 1000 kN using transfer machines. This research is an important step toward offering high-accuracy force calibration services, reducing outsourcing costs faced by secondary laboratories, and strengthening the country's Quality Infrastructure (QI) in sectors dependent on materials testing.

Keywords: Structural analisis, Ansys Mechanical, Deadweight Force Machine, structural joint, Force Metrology.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

La magnitud de fuerza es un pilar fundamental para garantizar la calidad y seguridad en sistemas de producción, ensayo de materiales, diseño estructural y evaluación de componentes mecánicos. Actualmente el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) calibra máquinas de ensayo con métodos validados y comparados con otros Institutos Nacionales de Metrología (INM), alcanzando incertidumbres inferiores al 0,15%. No obstante, los laboratorios secundarios están brindando servicios de calibración a máquinas de ensayo de materiales con transductores de fuerza de alta exactitud, cuya trazabilidad se busca fuera del país, encareciendo los servicios a la industria local. Por esto se planificó una estrategia que establece las capacidades en metrología de fuerza al 2030. El enfoque técnico contempla la incorporación de una máquina de pesos muertos con incertidumbres del 0,002% para calibrar transductores clase 00 según la norma ISO 376, para alcances en el rango de 0,1 kN a 10 kN. Este trabajo presenta el diseño estructural del marco de carga y el plato superior, escalados de un diseño previo de 25 kN generado por el CENAMEP AIP en 2023. En esta nueva versión, se definieron las uniones estructurales de las vigas y se profundizó el análisis estático del diseño. Además, se planea cubrir servicios para alcances de 5 kN a 200 kN y de 100 a 1000 kN mediante máquinas de transferencia. Esta investigación es un paso importante para ofrecer servicios de calibración de alta exactitud en fuerza, reducir los costos de externalización que afrontan los laboratorios secundarios y fortalecer la Infraestructura de la Calidad (IC) del país en los sectores dependientes del ensayo de materiales.

Palabras claves: Análisis estructural, Ansys Mechanical, máquina de pesos muertos, conexión estructural, metrología de fuerza.

1. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios secundarios que brindan trazabilidad en metrología de fuerza en Panamá han tenido un auge, ofertando servicios con capacidades similares a la del CENAMEP AIP. Como Instituto Nacional de Metrología, CENAMEP AIP reconoce su responsabilidad para cubrir esta demanda. Por ende, está diseñando la estrategia para fortalecer los servicios en metrología de fuerza.

Un pilar importante de esa estrategia es contar con un patrón primario de fuerza, en este caso, una máquina de pesos muertos que sea capaz de calibrar transductores de diferentes alcances, y este trabajo presenta un avance en el diseño.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1.1 Antecedentes del marco externo

En 2023 se realizó un estudio para definir los requisitos mínimos para el diseño de una máquina de pesos muertos en el laboratorio de Fuerza del CENAMEP AIP. En este estudio se definió la geometría, altura máxima de la máquina, materiales y perfiles del marco externo con un alcance máximo de 25 kN [1]. También se sugirió un control semiautomático para el proceso de calibración. No obstante, este diseño sólo cubría transductores de 1 y 25 kN. En esta nueva versión, el diseño propuesto presenta cuatro puntos de calibración para transductores con alcances máximos de 1 kN, 2 kN, 5 kN y 10 kN.
También se remarcó la importancia de prevenir las fuerzas laterales como el pandeo local y deformaciones excesivas en la columna e inestabilidad del marco externo, que pueden las cargas dinámicas durante el proceso de calibración de los transductores. Un método que suele utilizarse en edificios de gran altura es la incorporación de vigas de arriostre [2]. De hecho, las simulaciones del estudio de 2023 demostraron que la deformación y el pandeo local de las columnas disminuyó significativamente cuando se colocó una línea intermedia de vigas de arriostre entre las columnas. Es por esto que, en este estudio se decidió añadir otra línea de arriostre intermedia entre las columnas, con un total de 4 líneas de arriostres equidistantes a lo largo de las columnas del marco externo, tal como se observa en los diagramas de las simulaciones, mostrados en la sección de resultados.

1.2 Antecedentes de las conexiones

En 2020, Eduardo Nuñez y su equipo hicieron el estudio experimental y numérico del Comportamiento Cíclico de la Conexión Momento Viga-Columna de Sección Hueca, donde utilizaron dos conexiones de “end plate” (placas terminales por su traducción a español) para unir una viga y una columna. Una placa fue soldada al extremo de la viga y la otra a la columna [3]. El tipo de conexiones end – plates permite transmitir los esfuerzos axiales, cortantes y de flexión de manera estable de las vigas a las columnas.

2. MÉTODO

A. Análisis teórico del marco externo

Se analizó estáticamente el maco externo de la máquina para comprobar que es capaz de soportar la carga máxima de diseño. En este proceso se aplicó la metodología descrita en el estudio de 2023 [1] para los tres componentes principales: vigas, columnas y placa de apoyo del transductor.

B. Análisis de las conexiones vigas - columna

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

La metodología utilizada para el diseño de la conexión entre vigas y columnas del marco de carga se realizó siguiendo las recomendaciones de [4] y [5]. El diseño de la conexión en sí consta de uniones: a) fijas: soldadura de la placa terminal a la columna y otra placa de refuerzo soldada a la viga y; b) móvil: pernos para unir las placas de la viga a la columna.
El diseño se basa en un sistema de uniones tipo end - plate (placas terminales) soldadas a lo largo de columna en posiciones equidistantes. Las vigas también constan de placas terminales en sus extremos que se unen a las placas terminales de las columnas con pernos.
Definición de la geometría de las uniones. Cada unión se modeló como una placa rectangular de acero estructural, con dimensiones de 74 mm x 63,84 mm, soldadas a los soportes de las columnas.

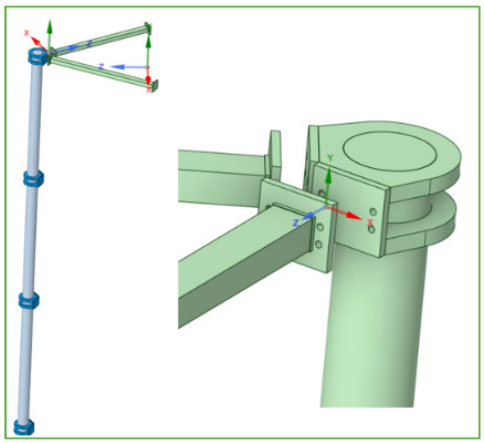


Figura 1. Diseño propuesto con uniones de placas terminales.

En estas placas se fijan las placas terminales de las vigas mediante pernos distribuidos simétricamente en las esquinas de la placa.

Determinación de cargas en la unión. Las cargas transmitidas a cada conexión fueron tomadas del análisis estructural teórico del marco externo.
Cálculo del espesor de las placas terminales.
El espesor mínimo se estimó mediante el equilibrio de momentos entre la fuerza en los pernos y el momento máximo transmitido,

para $t = \sqrt{\frac{6M}{f_y b^2}}$, donde: M= momento máximo en la unión; f_y= límite elástico del acero, b=ancho de la placa.

El espesor calculado fue de 3 mm, pero se adaptó al siguiente valor estándar, de 4 mm para dar mayor holgura a la resistencia plástica a flexión y evitar deformaciones locales en los puntos de mayor concentración de esfuerzos en la placa.
Selección de pernos. Se emplearon cuatro pernos M6 de acero clase 8,8 ubicados

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

equidistante en la placa, garantizando una separación mínima de dos veces el diámetro del perno, como indica la norma Eurocode 3. El esfuerzo por cortante en cada perno se verificó mediante la expresión:

$V_{Rd} = \frac{f_{v,Rd}}{\gamma M^2}$, donde: V_{Rd}= capacidad a cortante por perno; $f_{v,Rd}$=0,6 $f_u A_s$ es la resistencia de diseño al cortante y; γM^2= coeficiente parcial de seguridad para pernos.

Factor de seguridad. Se verificó el factor de seguridad en cortante para pernos mediante la relación:

$\frac{4\,V_{Rd}}{F_{joint}}$, donde: 4 es la cantidad de pernos por unión y F_{joint}=3333 kN es la carga por unión.

C. Análisis de cuerpos lineales del marco externo en ANSYS

Para el análisis de la estructura se utilizó diferentes paquetes del software ANSYS. Se dibujó la estructura del marco externo, la placa y las uniones en Ansys SpaceClaim, incluyendo las restricciones del diseño. El marco externo se diseñó como cuerpo lineal y los perfiles obtenidos en [1] fueron asignados de la librería Eurocode. Finalmente, se compartió la topología para enmarcar la conexión entre los vértices de la estructura.

Después se creó el flujo de trabajo del primer grupo de simulaciones en Ansys Workbench para evaluar la deformación, momentos flectores y fuerza axial del marco externo comprendido por las vigas y columnas. Se crearon dos bloques de análisis estáticos para comparar las siguientes cargas: a) Inerciales: se observó el comportamiento de la estructura sólo con el peso de los componentes y; b) estáticas: se incluyó la carga máxima de 10 kN.

Seguidamente se generó el modelo en Ansys Mechanical considerando las condiciones de frontera definidas analíticamente.

D. Análisis 3D de la placa principal

Los valores obtenidos fueron simulados en el software Ansys Mechanical y se utilizó soportes fijos en los lados de la cara inferior de la placa.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

A. Análisis teórico del marco externo

Tabla 1. Resultados del análisis teórico para el marco de carga y la conexión viga – columna.

Elemento	Placa	Vigas de arriostre	Columna	Conexión: Placas terminales / pernos
Condiciones de contorno	viga con extremos: empotrado y simplemente apoyado; carga puntual.	viga con extremos empotrados; carga triangular uniformemente distribuida.	Columna con apoyos fijos, esbelta con carga excéntrica.	Placas terminales soldadas a los conectores de las columnas.
Ecuaciones del modelo	$M_{max} = \frac{2}{3}Ph$ $t = 2\sqrt{\frac{6M_{max}}{\sigma b}}$	$M_{max} = \frac{5}{96}w_b L^2$ $S_{min} = \frac{\lvert M_{max}\rvert}{\sigma_{perm}}$	$\sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I}$ $\frac{\frac{P}{A}}{\sigma_{perm_{carga}}} + \frac{Mc}{\sigma_{perm_{par}}} \leq 1$	$t = \sqrt{\frac{6M}{f_y b^2}}$ $V_{ED} = \frac{f_{v,Rd}}{\gamma M^2}$
Espesor / diámetro mínimo	24 mm	14 mm	57 mm	t=8 mm / 4 pernos M6 clase 8,8 por unión.

NOTA: En la Tabla 1, es el momento máximo en el punto de mayor esfuerzo de la placa y la viga, es el espesor mínimo de la placa para tolerar el momento flector máximo. En la viga es el módulo de sección mínimo admisible para una geometría cuadrada. En la columna se refiere al esfuerzo normal para una columna con carga excéntrica.

B. Análisis 3D de la placa en ANSYS Mechanical

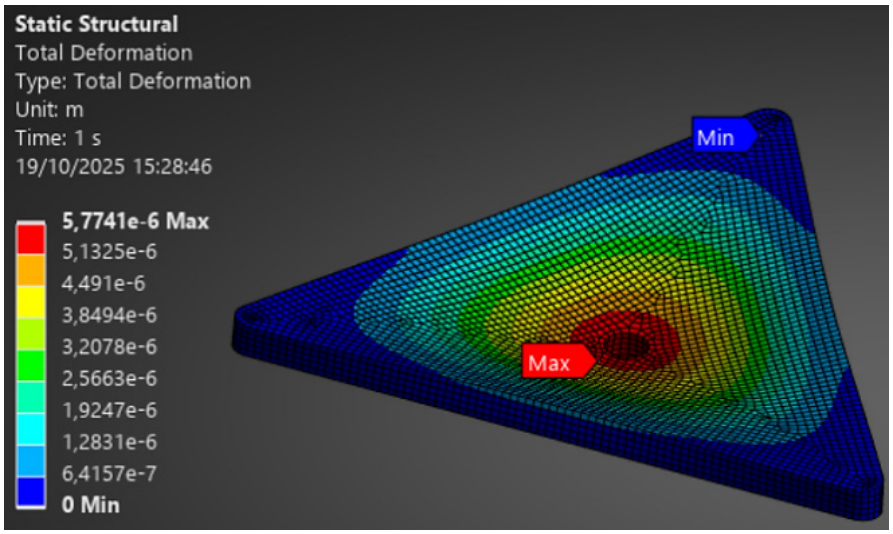


Figura 2. Diagrama de la deformación total de la placa para un espesor t = 40 mm.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

La deformación total máxima de ≈0.00577 mm en el centro de la viga refleja que la estructura se comporta como un cuerpo muy rígido frente a la carga aplicada y altamente resistente. El punto de mayor deformación en la placa coincide con los resultados obtenidos en el estudio de 2023.

C. Análisis de cuerpos lineales en el marco externo

Los resultados que se presentan en la Figura 3 y 4 demuestran que la estructura es estáticamente segura y estable para bajo la carga máxima. La deformación total máxima es de aproximadamente 0,27 mm. Un valor muy por debajo de los criterios de servicio definidos para controlar deformaciones excesivas con L/200= 4,2 mm (respecto a la viga que es donde ocurre la deformación máxima). Respecto a la columna, la deformación máxima representa el 0,009% de la longitud total.

	Results	Minimum	Maximum	U...	Time (s)
B	Total Deformation	0.	4.4178e-006	m	1.
	Axial Force	-374.38	0.58804	N	1.
	Total Bending Moment	1.5292e-002	2.4836	N·m	1.
	Torsional Moment	-5.0709e-002	6.9402e-002	N·m	1.
	Total Shear Force	2.3817e-003	25.781	N	1.

	Results	Minimum	Maximum	U...	Time (s)
C	Total Deformation	0.	2.6994e-004	m	1.
	Axial Force	-3708.1	119.83	N	1.
	Total Bending Moment	0.16055	146.62	N·m	1.
	Torsional Moment	-3.6676	3.6666	N·m	1.
	Total Shear Force	4.6284e-003	1271.4	N	1.

Figura 3. Análisis de B) cargas inerciales y C) cargas estáticas del marco externo; columnas de 60 mm y vigas de 40 mm x 30 mm.

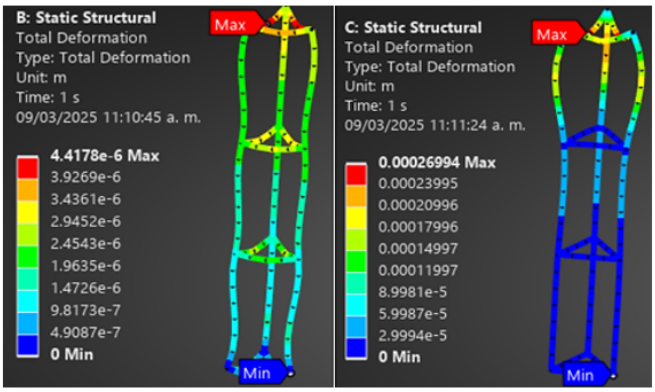


Figura 4. Diagrama de la deformación total en el marco externo para una carga máxima de 10 kN

4. CONCLUSIONES

Las simulaciones mostraron que la nueva línea de vigas de arriostre mejoró significativamente el pandeo local a lo largo de la columna. Los resultados del análisis teórico y simulados en Ansys para el marco externo demostraron que los perfiles definidos garantizan deformaciones mínimas, con una deformación total máxima de ~0,27 mm, indicando suficiente resistencia y rigidez frente a la carga máxima de 10 kN con perfiles de vigas rectangulares de 40 mm x 30 mm, columnas circulares de 60 mm y placa principal de 40 mm. El diseño propuesto para la conexión viga – columna presenta uniones tipo “end – plate” donde una placa va soldada a la viga, otra a la columna y se unen mediante pernos para garantizar una unión móvil.

En caso de requerir una reducción en el aporte de incertidumbre estructural al presupuesto de incertidumbre total de la máquina, se recomienda aumentar la sección de las vigas y columnas para incrementar la rigidez del conjunto. También se sugiere utilizar un mallado

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

refinado y, comparar los resultados con los de este estudio con el objetivo de evaluar la convergencia. Finalmente, se recomienda modelar las conexiones empleando las uniones y soportes sugeridas en este estudio considerando las condiciones de borde, para contar con un análisis mecánico global del marco externo.

Referencias

[1] V. Saavedra, D. Vega, A. Candelaria, y J. Kuruc, «Requerimientos mínimos para el diseño de una máquina de Pesos Muertos en El CENAMEP AIP», Congr. Nac. Cienc. Tecnol. – APANAC, pp. 289-295, sep. 2023, doi: 10.33412/apanac.2023.3949.

[2] S. M. Razak, T. C. Kong, N. Z. Zainol, A. Adnan, y M. Azimi, «A Review of Influence of Various Types of Structural Bracing to the Structural Performance of Buildings», en E3S Web of Conferences, N. Mohamed Noor y A. W. Azhari, Eds., 2018, p. 01010. doi: 10.1051/e3sconf/20183401010.

[3] E. Nuñez, N. Boainy, F. González, R. Torres, R. Picón, y N. Guerrero, «Cyclic Behavior of Hollow Section Beam–Column Moment Connection: Experimental and Numerical Study», Metals, vol. 10, n.o 12, p. 1608, dic. 2020, doi: 10.3390/met10121608.

[4] Eurocode 3: Steel Structure Joint Design - BS EN 1993-1-8», studylib.net. Accedido: 18 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://studylib.net/doc/26148084/bs-en-1993-1-8-2005

[5] [R. Mott, Diseño de elementos de máquinas, 2.a ed. México: Prentice Hall, 1992.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

La dramatización como herramienta didáctica para la adquisición de aprendizaje significativo en alumnos de noveno nivel del colegio José Santos Puga en Panamá

Zamorano Concepción, Eduardo
Facultad de Ciencias de la Educación – Universidad Tecnológica OTEIMA - Panamá
Santiago de Veraguas, Panamá
ORCID iD: 0009-0003-1499-4595

Castillo Rodríguez, Nancy Janet
Departamento de Física – Universidad Tecnológica de Pereira - Colombia
Pereira, Colombia
ORCID iD: 0000-0003-0856-0582

Abstract

“Drama in education, as a total language, promotes the development of multiple facets in the educational field and can be related to the promotion of everyday creativity” [1, p. 1]. The objective of this research was to evaluate the effectiveness of dramatization in the acquisition of meaningful learning in ninth-grade students at the José Santos Puga general education school in Santiago de Veraguas, Panama, during the third quarter of the 2024 school year. Three ninth-grade groups were selected as the experimental group, with which we worked using dramatization to develop content related to planet Earth and the universe from area 4 of the natural sciences curriculum of the Ministry of Education in Panama. Two ninth-grade groups were selected as the control group, with which we worked using the traditional model. A pretest and posttest were administered as instruments for collecting information, which were analyzed using SPSS software to assess the validity of the hypotheses proposed. Similarly, a satisfaction survey and observation record were administered to both the control group and the experimental group students. The results obtained confirmed the research hypotheses. The research team projects that the proposal for the implementation of this methodology will serve as support for teachers who wish to implement it in their classrooms.

Keywords: Meaningful learning, discovery learning, role-playing, teaching tool, active methods.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

El drama en la educación, como lenguaje total, potencia el desarrollo de múltiples facetas en el ámbito educativo, pudiendo estar relacionado con el fomento de la creatividad cotidiana [1, p. 1]. El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la efectividad de la dramatización en la adquisición de aprendizajes significativos en los alumnos de noveno nivel del colegio de educación básico general José Santos Puga de Santiago de Veraguas en Panamá, durante el tercer trimestre del año lectivo 2024. Se seleccionaron tres grupos de noveno nivel como grupo experimental con el que se trabajó usando la dramatización para desarrollar contenidos relativos al planeta Tierra y el Universo del área 4 del curriculum de ciencias naturales del Ministerio de Educación en Panamá; y dos grupos de noveno nivel que fueron el grupo control con el que se trabajó el modelo tradicional. Se aplicó un pretest y un postest como instrumento de recolección de información, los cuales fueron analizados usando el software SPSS para valorar la validez de las hipótesis planteadas. De igual forma se aplicó una encuesta de satisfacción y registro de observación tanto a los estudiantes del grupo control como los del grupo experimental. Los resultados obtenidos confirmaron las hipótesis de investigación planteadas. El equipo investigador proyecta que la propuesta para la implementación de esta metodología sirva de apoyo a los docentes que a bien deseen implementarla en sus aulas de clases.

Palabras claves: Aprendizaje significativo, aprendizaje por descubrimiento, dramatización, herramienta didáctica, métodos activos.

1. INTRODUCCIÓN

En un informe elaborado por el Ministerio de Educación de Panamá en conjunto con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), se evidenció que en relación con los resultados de Panamá en PISA 2018, las habilidades lectoras de los estudiantes de 15 años mejoraron con respecto a la última vez que Panamá participó en el año 2009, pero sus habilidades en Matemática y Ciencias disminuyeron. En la tabla de posiciones internacionales de PISA 2018 de 79 países, Panamá ocupó las siguientes posiciones: 71 en Lectura, 76 en Matemática y 75 en Ciencias [2, p. 19].

La dramatización constituye un espacio y herramienta educativa que permite desarrollar el curriculum escolar en otras áreas, como la Educación Artística, la Expresión Corporal o la Lengua y la Literatura [3, p. 1].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

El objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de la dramatización como modelo didáctico por descubrimiento en la adquisición de aprendizajes significativos en los alumnos de noveno nivel del colegio José Santos Puga de Santiago de Veraguas, República de Panamá durante el tercer trimestre del año lectivo 2024. Con este estudio piloto realizado se pudo contribuir con una guía metodológica para la implementación de la dramatización como herramienta didáctica para desarrollar contenidos de ciencias naturales.

2. MÉTODO

Entre septiembre y noviembre del 2024 se realizó un estudio comparativo entre la metodología tradicional y la metodología activa de la dramatización en una muestra conformada por 150 alumnos en una población de 400 alumnos de noveno nivel del colegio de educación básica general José Santos Puga de Santiago de Veraguas-Panamá. Esta muestra correspondió a los grupos asignados por parte de la administración del colegio para desarrollar el curriculum de ciencias naturales durante el año lectivo 2024. Dos grupos, de 30 alumnos cada uno, fueron el grupo control, con los que se utilizó la metodología tradicional (cuestionarios con apoyo de libro de texto); y tres grupos, de 30 alumnos cada uno, fueron el grupo experimental, con los que se trabajó usando la dramatización para desarrollar los temas origen del universo, sistema solar y formación de la Luna.

A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PRETEST Y POSTEST

Los datos obtenidos del pretest y postest se analizaron con el software estadístico SPSS (Versión 26) de IBM del Centro de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Emprendimiento (CIDETE) del Centro Regional Universitario de Veraguas. Para contrastar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de bondad de ajustes a una distribución normal de [4] y la evaluación de las hipótesis para diferencias de medias en [5].

B. ANÁLISIS DE LA ENCUESTA Y REGISTRO DE OBSERVACIÓN

La información obtenida de la encuesta aplicada fue tabulada en Excel, lo que permitió confeccionar los gráficos de las respuestas dadas por los estudiantes tanto del grupo control como experimental. La información obtenida del registro de observación se tabuló en una tabla para su análisis comparativo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

La tabla 1 muestra los resultados de la prueba de Wilcoxon para validar las hipótesis planteadas en el grupo control.

Tabla 1: Resumen de contrastes de hipótesis (software SPSS versión 26)

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de diferencias entre precontrol y postcontrol es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.399	Conserve la hipótesis de investigación.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.050.				

Del estadístico de prueba el valor sigma obtenido del postest fue de 0,399 siendo un valor mayor a 0,05 se acepta la hipótesis de investigación (Hi) que plantea que "El modelo didáctico tradicional no evidencia de manera significativa la adquisición de aprendizajes significativos".

Podemos evidenciar que al usar modelos tradicionales no generamos aprendizajes significativos en los contenidos desarrollados con los alumnos del grupo control en esta investigación.

La Tabla 2 muestra los resultados de la prueba T de Student para validar las hipótesis de investigación planteada en esta investigación.

Tabla 2: Prueba de muestras emparejadas

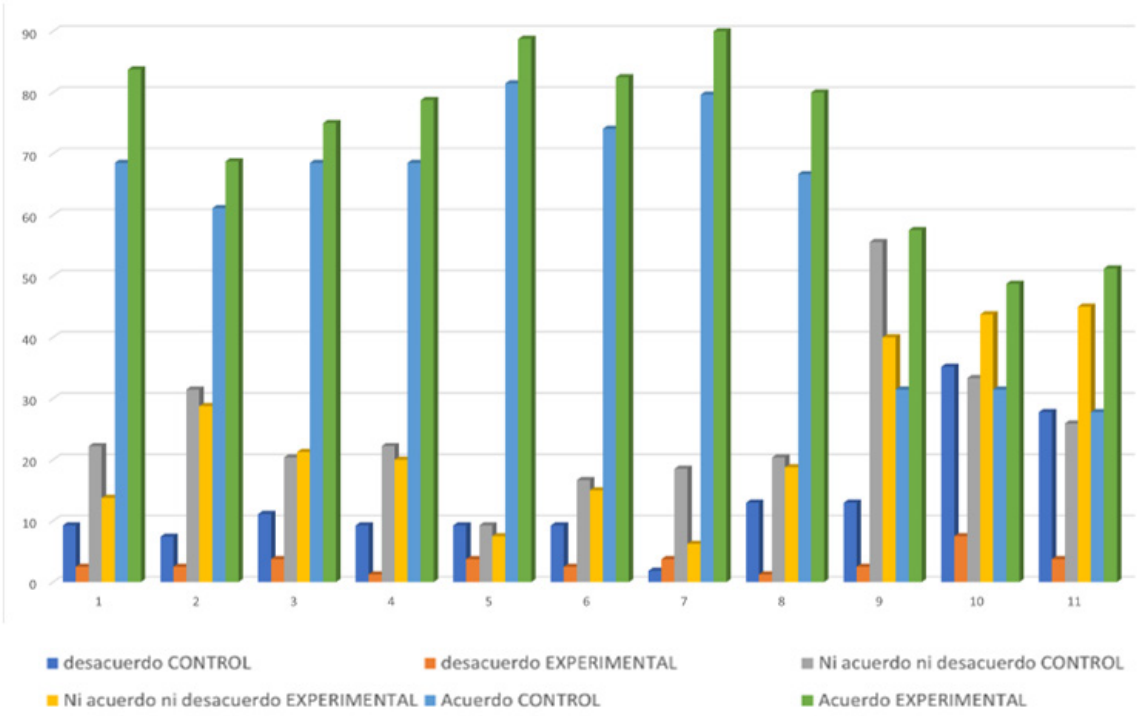
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Medias control - Medias Experimental	-26.472	11.223	1.542	-29.565	-23.378	-17.172	52	0.000

Del estadístico de prueba el valor sigma obtenido del contraste de medias fue de 0,000 siendo un valor menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula (Ho) que plantea que "El modelo didáctico por descubrimiento a través de la dramatización no evidencia la adquisición de aprendizajes significativos en comparación con los modelos didácticos tradicionales".

Con estos resultados se evidenció la válidez de la hipótesis de investigación que establecía que el uso de la dramatización como estrategia didáctica promueve en nuestros estudiantes el desarrollo de aprendizajes significativos y despierta su motivación por aprender contenidos de ciencias naturales.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 1: Resultados de la encuesta aplicada a los alumnos del grupo control y experimental (noviembre de 2024).



La figura 1 contiene los resultados de la encuesta aplicada tanto a los alumnos del grupo control como experimental. En la misma se evidencia que los alumnos del grupo experimental (verde), se sintieron más motivados, orientados por el docente y comprendieron los contenidos tratados. El registro de observación confirmó de igual forma lo manifestado por los estudiantes en las encuestas.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación evidenciaron que al utilizar métodos activos e innovadores como lo es la dramatización en la enseñanza puede llevar a los estudiantes hacia el logro efectivo de aprendizajes significativos. Con la dramatización se logró despertar el interés y la motivación para comprender contenidos relacionados con las ciencias naturales. El docente al ser facilitador y orientador de sus alumnos, promueve y genera un ambiente de aprendizaje en sus alumnos.

Con este estudio piloto se pretende abrir nuevos horizontes de investigaciones no sólo en el colegio José Santos Puga, sino poder realizar más investigaciones tendientes a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje. A futuro es imprescindible llevar a cabo investigaciones acerca del impacto de la dramatización en disciplinas del área de las ciencias naturales a fin

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de evaluar su impacto en la adquisición de aprendizajes significativos en contenidos difícil de comprender por parte de los estudiantes.

Se evidenció el potencial de la dramatización en la enseñanza de las ciencias naturales por lo que recomendamos a las autoridades del Ministerio de Educación considerar en los seminarios de capacitación docente el poder implementar esta metodología de enseñanza en las diferentes asignaturas.

Referencias

[1] J. G. García, “Dramatización y educación emocional”, CPU-e, Revista de Investigación Educativa, (21), 98-119. https://doi.org/10.25009/cpue.v0i21.1723 (accesado feb. 5, 2025).

[2] MEDUCA y OCDE, “PISA Panamá, programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes”, OCDE. https://www.educapanama.edu.pa/sites/default/files/documentos/PISA2018_Panam%C3%A1_ResumenEjecutivo_(1)-compressed.pdf (accesado mar. 10, 2025),

[3] L. Núñez Cubero y M. R. Navarro Solano, “Dramatización y educación: aspectos teóricos”, Teoría De La Educación. Revista Interuniversitaria, 19(1). https://doi.org/10.14201/3262 (accesado mar. 24, 2025).

[4] M. Romero Saldaña, “Pruebas de bondad de ajustea una distribución normal,” Revista Enfermería del Trabajo 2016; 6:3 (105-114). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043 (accesado abr. 4, 2025).

[5] N. González Hernández y A. Reyes González, “Prueba de hipótesis en R: Prueba t de Student y prueba de Wilcoxon,” Revista electronica Opuntia Brava, volumen 16, número 3, julio-septiembre 2024. https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1952/2877 (accesado may. 6, 2025).

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

El sentido político y ético de la práctica docente universitaria frente a los desafíos epistémicos en contextos de crisis y posmodernidad

Franco Gutiérrez, Aura
ISAE Universidad
Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0003-1854-6557

Reyes Alvarado, Sebastián
ISAE Universidad/ SNI-SENACYT/CIEDU AIP
Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0002-5824-9832

González, Gustavo
ISAE Universidad
Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0002-5291-5056

Abstract

In the Latin American context, the convergence of socioeconomic and political factors has influenced the decline of university autonomy, institutional fragmentation, and a growing alignment of higher education systems with market efficiency criteria. In this scenario, university teachers take on a central role in the debate on the purposes and social function of higher education, transcending mere curriculum implementation. The purpose of this study was to analyze and interpret the configuration of the political and ethical meaning of teaching practice in the face of current contextual and epistemological challenges. The design was qualitative, using a phenomenological-hermeneutic approach. Data were obtained through in-depth semi-structured interviews with eight university teachers. Thematic analysis, based on hermeneutic interpretation of the data, revealed three central categories: resistance to hegemonic dynamics, reconstruction of the ethical meaning of teaching, and epistemic commitment in the face of crisis. The results suggest that, when conceptualized as a political and ethical act, teaching practice operates as a mechanism of symbolic resistance that promotes the reconfiguration of the university into a space for dialogue and the production of knowledge with greater social relevance.

Keywords: University teaching, teaching ethics, democracy, postmodernity, epistemic challenges.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

En el contexto latinoamericano, la convergencia de factores socioeconómicos y políticos ha influido en la disminución de la autonomía universitaria, la fragmentación institucional y una creciente alineación de los sistemas de educación superior con criterios de eficiencia de mercado. En este escenario, el docente universitario adquiere un papel central en el debate sobre los propósitos y la función social de la educación superior, trascendiendo la mera implementación curricular. Este estudio tuvo como propósito analizar e interpretar la configuración del sentido político y ético de la práctica docente frente a los desafíos contextuales y epistemológicos actuales. El diseño fue cualitativo, empleando un enfoque fenomenológico-hermenéutico. Los datos se obtuvieron mediante entrevistas semiestructuradas en profundidad con ocho docentes universitarios. El análisis temático, basado en la interpretación hermenéutica de los datos, reveló tres categorías centrales: resistencia frente a dinámicas hegemónicas, reconstrucción del sentido ético de la docencia y compromiso epistémico ante la crisis. Los resultados sugieren que, al ser conceptualizada como un acto político y ético, la práctica docente opera como un mecanismo de resistencia simbólica que promueve la reconfiguración de la universidad hacia un espacio de diálogo y la producción de conocimiento con mayor pertinencia social.

Palabras claves: Docencia universitaria, ética docente, democracia, posmodernidad, desafíos epistémicos.

1.INTRODUCCIÓN

En el marco de las transformaciones que definen las sociedades contemporáneas, la universidad latinoamericana enfrenta una crisis estructural que afecta significativamente su misión fundacional. Este fenómeno se manifiesta en la desarticulación institucional, el debilitamiento de la autonomía y la creciente subordinación a las dinámicas del mercado neoliberal, tensionando los principios esenciales de la educación superior (Bauman, 2007; Lyotard, 1987). Esta problemática no es meramente coyuntural, sino un proceso histórico que ha erosionado progresivamente el papel de la universidad como un espacio para la generación de conocimiento crítico, la formación ciudadana y la promoción del bien común. En este contexto, existe el riesgo de que la educación superior se convierta en una estructura funcional al mercado, donde prevalecen la tecnificación, la competencia y la lógica de la eficiencia, en detrimento de la reflexión ética y del compromiso social.

La universidad, concebida históricamente como un espacio de preservación y desarrollo del saber, se enfrenta actualmente a una encrucijada. La globalización, el impacto de las

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

tecnologías de la información, la masificación de la educación superior y la presión de políticas neoliberales han reconfigurado su horizonte cultural y político. Este panorama exige plantear las preguntas esenciales sobre cómo la docencia universitaria puede responder a sociedades fragmentadas, desiguales y atravesadas por la incertidumbre, y qué papel ocupa el profesorado en la construcción de una institución capaz de sostener su misión crítica y transformadora.

En este contexto, la práctica docente no puede reducirse a la mera ejecución de planes de estudio estandarizados o a la reproducción de contenidos prediseñados, pues tal reducción despoja al docente de su papel histórico y sitúa a la universidad como un engranaje más de los sistemas productivos globales. El quehacer académico, por el contrario, requiere una reflexión sobre los valores rectores y el sentido de la universidad en la posmodernidad, donde la fragmentación del saber, la precarización institucional y la incredulidad hacia los metarrelatos configuran el horizonte cultural. Lyotard (1987) advierte que la posmodernidad se caracteriza por cuestionar la legitimidad de los discursos totalizantes, lo cual obliga a la universidad a revisar críticamente qué saberes privilegia, cómo los transmite y con qué fines.

En este escenario, el docente universitario se configura como un agente histórico y político cuya praxis se establece como un ámbito de tensión conceptual y simbólica en torno a los fines de la educación superior. Su labor desborda el marco técnico e instrumental para situarse en el horizonte de la emancipación y la construcción de ciudadanía crítica (Freire, 2005). Esto implica que el docente no solo forma profesionales competentes, sino que también contribuye a la formación de sujetos reflexivos, capaces de cuestionar las estructuras de poder, interpelar las desigualdades sociales y abrir horizontes alternativos de sentido.

Esta comprensión exige concebir al profesorado como agente transformador, cuya capacidad autocrítica no solo resignifica la labor académica, sino que también constituye un principio ontológico que orienta su praxis. La autocrítica docente se convierte en un recurso de resistencia frente a las imposiciones hegemónicas y, al mismo tiempo, en motor para la generación de nuevas alternativas pedagógicas y epistemológicas. Como señala Habermas (1987), la educación puede ser comprendida como una práctica comunicativa en la que se generan consensos críticos, se ejercita la deliberación y se abren espacios de racionalidad emancipadora. En consecuencia, el rol del docente universitario trasciende la mera transmisión de saberes, enfocándose en la creación de escenarios de diálogo para la construcción conjunta de significados y el desarrollo de competencias críticas.

En esta lógica, la práctica docente se convierte en una acción ético-política, donde se articulan la enseñanza, la investigación y el compromiso social. La universidad, a través de esta praxis, se redefine no como espacio de mera reproducción cultural, sino como lugar de transformación y resistencia. Así, el docente universitario encarna la tensión entre las

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

demandas sociales de la educación superior y el rol que la universidad puede y debe ofrecer para sostener su misión crítica.

Desde una perspectiva hermenéutica, el quehacer docente se configura como un proceso interpretativo en el que se entrelazan experiencia y comprensión. Gadamer (2000) subraya que comprender no es un acto aislado, sino un diálogo en el que los horizontes del intérprete y del contexto se encuentran y se transforman. De manera complementaria, Ricoeur (2006) sostiene que la interpretación se produce en la mediación entre el texto y el mundo, lo que resulta clave para analizar los discursos docentes en escenarios de crisis y fragmentación. Desde este enfoque, la labor del profesorado se entiende como un ejercicio hermenéutico permanente, en el cual se resignifican los sentidos de la docencia, se revisan críticamente las tradiciones y se abren caminos hacia nuevas formas de comprender y de enseñar.

Lévinas (1993) plantea que la relación con el otro constituye la raíz de toda responsabilidad; en consecuencia, enseñar no es únicamente transmitir conocimiento, sino responder a la interpelación del rostro del estudiante, que exige acogida, hospitalidad y compromiso. Esta perspectiva desplaza la docencia universitaria de una práctica instrumental hacia un acontecimiento de encuentro, donde se reconoce al estudiante como legítimo y digno. Así, la praxis educativa puede comprenderse como un acto de resistencia simbólica que reconfigura la universidad como un espacio liberador, plural y crítico, en contraposición a su subordinación a lógicas utilitaristas.

En este marco, el propósito de este estudio es interpretar cómo los docentes universitarios configuran el sentido político y ético de su práctica frente a los desafíos epistémicos en contextos de crisis y posmodernidad. El interés radica en comprender cómo los docentes, desde su reflexividad y autocrítica, resignifican su labor y proyectan horizontes de sentido capaces de sostener la misión transformadora de la universidad. Reconocer al docente como sujeto histórico, ético y político permite situarlo en el centro de un debate urgente: cómo reimaginar la educación superior en América Latina frente a las tensiones del presente y las exigencias de un futuro incierto.

2. MÉTODO

El presente estudio se inscribe en el paradigma cualitativo, lo cual es pertinente para la exploración de fenómenos sociales a partir de la perspectiva de los actores. Este enfoque busca rescatar los significados y sentidos que configuran las prácticas en sus contextos específicos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Se adoptó el enfoque fenomenológico-hermenéutico, orientado a la interpretación de las experiencias vividas y a la descripción de las estructuras de significado que emergen de ellas. Este enfoque metodológico se fundamenta en la tradición de la hermenéutica filosófica (Gadamer, 2000; Ricoeur, 2006), que facilita la comprensión profunda de la praxis

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

docente como experiencia existencial e histórica. Esta perspectiva metodológica concibe al docente como un actor que articula decisiones éticas y posicionamientos políticos en el encuentro con estudiantes y el contexto social, trascendiendo la dimensión meramente técnica de la enseñanza.

El diseño metodológico se basó en el empleo de entrevistas fenomenológicas en profundidad. Este instrumento se seleccionó para generar narrativas ricas en detalle y contextualización, capaces de capturar la complejidad de la experiencia docente, incluyendo la responsabilidad ética hacia el otro (Lévinas, 1993) y la posición política del profesorado frente a los desafíos estructurales de la universidad.

La muestra estuvo conformada por seis docentes universitarios, seleccionados mediante un muestreo teórico-intencional. Los criterios de inclusión fueron: a) Experiencia académica en instituciones de educación superior venezolanas y latinoamericanas. b) Disposición reflexiva para el análisis autocrítico de su práctica docente. c) Participación activa o compromiso con procesos de transformación social desde el ámbito educativo.

3. RESULTADOS

Los hallazgos se agrupan en tres ejes temáticos fundamentales que definen la práctica docente universitaria:

Resistencia al modelo hegemónico: Los resultados revelan una postura docente crítica hacia dos ejes interconectados: la mercantilización de la educación superior y el debilitamiento de la autonomía universitaria. En este marco, la práctica pedagógica se configura como un acto de resistencia simbólica frente a las presiones del modelo dominante.

Reconstrucción del sentido ético en la práctica docente: Los académicos trascienden el rol de meros transmisores de conocimiento y se autoidentifican como sujetos históricos situados. Este reconocimiento impulsa un compromiso ético orientado a la formación de ciudadanos críticos y conscientes. La ética funciona como un eje orientador de la acción, enfatizando la responsabilidad hacia el estudiante y el mundo, lo cual resuena con la concepción arendtiana (Arendt, 1993) de la educación como un acto de responsabilidad hacia el mundo compartido.

Compromiso frente a los desafíos epistémicos: En un escenario caracterizado por la fragmentación de certezas (Maffesoli, 2007) y la incredulidad en los metarrelatos (Lyotard, 1984), la docencia universitaria opera como un espacio para el diálogo de saberes. En consecuencia, se legitiman narrativas múltiples y se delinean horizontes liberadores. Los docentes promueven activamente una praxis inclusiva, dialógica y transformadora que se opone a la homogeneización cultural y epistémica.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

El estudio concluye que la práctica docente universitaria se revela fundamental por su relevancia ética y política frente a los actuales retos epistémicos de la educación superior. En un contexto de turbulencia institucional, globalización acelerada y presiones derivadas de las políticas de mercado, el profesorado se establece como actor central en la redefinición del rol humanista de la universidad. Los hallazgos del profesorado participante subrayaron la imperatividad de reconceptualizar la docencia más allá de la función tradicional de transferencia de conocimiento, concibiéndola como un espacio para el diálogo crítico, el compromiso cívico y la construcción conjunta del saber. Desde esta perspectiva, la educación superior debe reorientar su misión hacia una práctica formativa que promueva la autonomía, la responsabilidad ética y la apertura a la diversidad ideológica, fortaleciendo su papel como institución al servicio de la sociedad y del desarrollo humano integral.

Referencias

[1] Z. Bauman, Los retos de la educación en la modernidad líquida. Barcelona, España: Gedisa, 2007.
[2] J.-F. Lyotard, La condición posmoderna: Informe sobre el saber. Madrid, España: Cátedra, 1987.
[3] P. Freire, Pedagogía de la autonomía: Saberes necesarios para la práctica educativa. Ciudad de México, México: Siglo XXI Editores, 2005.
[4] J. Habermas, Teoría de la acción comunicativa (Vol. I-II). Madrid, España: Taurus, 1987.
[5] H.-G. Gadamer, Verdad y método I. Salamanca, España: Sígueme, 2000.
[6] P. Ricoeur, Del texto a la acción: Ensayos de hermenéutica II. Ciudad de México, México: Fondo de Cultura Económica, 2006.
[7] E. Lévinas, Ética e infinito. Barcelona, España: Ediciones Paidós, 1993.
[8] R. Hernández-Sampieri y C. P. Mendoza, Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México, México: McGraw-Hill Education, 2018.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Caracterización de parámetros fisicoquímicos y su relación con los servicios ecosistémicos en un estuario tropical durante la temporada seca

Ramos Esquivel, Valerie
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Rep. De Panamá
valerie.ramos1@utp.ac.pa

Broce, Kathia
Universidad Tecnológica de Panamá, SNI
Panamá, Rep. De Panamá
kathia.broce@utp.ac.pa

Vergara-Chen, Carlos
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Rep. De Panamá
carlos.vergara3@utp.ac.pa

Abstract

Tropical estuaries are highly productive ecosystems that host mangroves and provide essential ecosystem services such as water quality regulation, carbon sequestration, and livelihood support for coastal communities. In Chame Bay, numerous families depend on artisanal fishing and mangrove use for their subsistence. This study evaluates the relationship between the physicochemical conditions of brackish water and the provision of ecosystem services in the Sajalices River estuary during the 2025 dry season. Measurements were conducted at three sampling sites using in situ multiparameter probes, nutrient analyses by spectrophotometry, and continuous pH and temperature monitoring with sensors. The results show high concentrations of PO_4^{3-} (phosphate), while NO_2^- (nitrite), NH_3-N (ammoniacal nitrogen), and NO_3^- (nitrate) remained low. These variations suggest point-source discharges or internal processes influencing nutrient dynamics and the provision of ecosystem services such as water quality regulation. Marked differences were observed between inner and mouth areas, possibly related to water circulation and tidal dynamics. The low nitrate concentrations may reflect high biological demand or rapid transformation of nitrogen compounds. These findings highlight the complex interaction between physicochemical parameters and local ecological processes, emphasizing the need for

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

participatory ecosystem-based management strategies that promote sustainability and coastal resilience in the face of climate change.

Keywords: Tropical estuary, ecosystemic services, physicochemical parameters, mangroves, water quality.

Resumen

Los estuarios tropicales son ecosistemas altamente productivos que albergan manglares y proveen servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación de la calidad del agua, la captura de carbono y el sustento de comunidades costeras. En la Bahía de Chame numerosas familias dependen de la pesca artesanal y del aprovechamiento del mangle para su subsistencia. Este estudio evalúa la relación entre las condiciones fisicoquímicas del agua salobre y la provisión de servicios ecosistémicos en el estuario del río Sajalices durante la temporada seca de 2025. Se realizaron mediciones en tres puntos de muestreo mediante sondas multiparamétricas in situ, análisis de nutrientes por espectrofotometría y registro continuo de pH y temperatura con sensores. Los resultados muestran concentraciones elevadas de PO_4^{3-} (fosfato), mientras que NO_2^- (nitrito), NH_3-N (nitrógeno amoniacal) y NO_3^- (nitrato) se mantuvieron bajos. Estas variaciones sugieren descargas puntuales o procesos internos que influyen en la dinámica de nutrientes y en la oferta de servicios ecosistémicos como la regulación de la calidad del agua. Se observaron diferencias marcadas entre zonas interiores y cercanas a la desembocadura, posiblemente asociadas a la circulación y a la dinámica mareal. Las bajas concentraciones de nitrato podrían reflejar alta demanda biológica o rápida transformación de compuestos nitrogenados. Estos resultados evidencian la compleja interacción entre parámetros fisicoquímicos y procesos ecológicos locales, destacando la necesidad de estrategias de manejo ecosistémico participativas que promuevan la sostenibilidad y resiliencia costera frente al cambio climático.

Palabras claves: Estuario tropical, servicios ecosistémicos, parámetros fisicoquímicos, manglares, calidad de agua.

1. INTRODUCCIÓN

Los estuarios son ecosistemas reconocidos globalmente por ser altamente productivos y esenciales para la regulación del ciclo biogeoquímicos del carbono, protección costera y sustento de la biodiversidad marina [1]. Los estuarios constituyen sistemas de transición entre medios fluviales y oceánicos, donde las aguas continentales se combinan con las aguas marinas bajo el efecto de las mareas, originando gradientes físicos, químicos y biológicos sumamente dinámicos. Se caracterizan por mostrar una gran variabilidad espaciotemporal

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

en variables como la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto y la turbidez; esto es resultado de la interacción entre diferentes factores: las corrientes eólicas, los caudales fluviales, las mareas, las precipitaciones y la evaporación [2]. A pesar de esto, suelen ser vulnerables al cambio climático al estar sometidos a presiones locales y globales por lo que se requieren estudios regionales que describan su estado.

Su vulnerabilidad aumenta con la combinación de altas temperaturas, descargas urbanas o agrícolas que modifican la química del sistema. En ecosistemas estuarinos tropicales se han documentado además descensos en el pH que causa acidificación y variaciones significativas en la composición química del agua. Las áreas costeras como los estuarios son receptores naturales de nutrientes procedentes de las escorrentías de las cuencas y pueden contener nutrientes procedentes de actividades agrícolas y asentamientos humanos [3], [4]. A pesar de la relevancia de estos sistemas, aún existe poca información de calidad sobre su comportamiento a escalas finas de tiempo y espacio.

Además, los estuarios y sistemas litorales ofrecen una vasta diversidad de servicios ecosistémicos que sostienen tanto la diversidad biológica como las actividades económicas humanas. Operan como sistemas de filtración biogeoquímica, amortiguan inundaciones y almacenan carbono azul. Los estuarios ofrecen hábitats como manglares que favorecen la reproducción y la conectividad entre ambientes marinos. Para las comunidades costeras, estos suministran recursos pesqueros y materia prima que utilizan para el sustento económico y el recurso alimenticio [5].

En Panamá, hogar de los manglares más amplios de Centroamérica, estos ecosistemas experimentan presiones en aumentos debido a las actividades humanas. La Bahía de Chame representa un caso ilustrativo, en el que numerosas familias se apoyan en la pesca artesanal y la comercialización del mangle como medio de subsistencia. Este estudio evalúa la relación entre las condiciones fisicoquímicas del agua estuarina y la provisión de servicios ecosistémicos en el estuario del río Sajalices durante la temporada seca de 2025.

método

Se realizaron cuatro muestreos durante la temporada seca en tres sitios distribuidos a lo largo del estuario del río Sajalices congruentes con las horas de marea alta. Para su identificación a cada sitio de muestreo se le denominó de acuerdo a sus nombres populares, la zona alta se le denominó Ferry (8.68163° N, –79.81278° W), la zona media Tres Bocas (8.65901° N, –79.85698° W) por tener un aporte de tres efluentes, y la zona baja más cercana a la Bahía de Chame se le nombró Punta Pájaro (8.64099° N, –79.83220° W). Se colectaron muestras de agua a aproximadamente 30 cm de la superficie del agua. En cada muestreo se colectaron muestras por triplicado en cada punto lo que dio un total de 36 muestras de agua en frascos estériles de plástico de 500 mL. Las muestras fueron transportadas bajo refrigeración al laboratorio, donde se atemperaron antes de realizar los análisis de nitrito, nitrógeno amoniacal y fosfato, siguiendo los protocolos establecidos [6].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

A. Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el estuario del Río Sajalices, ubicado en la Bahía de Chame, costa del Pacífico de Panamá. La Bahía de Chame se encuentra en el Distrito de Chame, Provincia de Panamá Oeste, aproximadamente a 65 km en línea recta al suroeste de la Ciudad de Panamá [7].

Fig. 1. Área de estudio y sitios de muestreo de agua en el estuario del Río Sajalices, Bahía de Chame, Pacífico de Panamá.

B. Parámetros In Situ

Se utilizó la sonda multiparamétrica YSI Pro Quatro, previamente calibrada para realizar el registro in situ de las variables de calidad de agua: pH, temperatura, oxígeno disuelto y salinidad. Además, en el sitio Tres Bocas se desplegó un sensor autónomo de pH marca HOBO Onset previamente calibrado para registrar la dinámica natural de este parámetro durante un ciclo de 24 horas.

C. Nutrientes

Se realizó la medición de nutrientes del agua por métodos espectrofotométricos utilizando el colorímetro DR900 de la marca HACH a las 36 muestras de agua colectadas. Las variables analizadas fueron nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), nitrógeno amoniacal (NH_3-N) y fosfato (PO_4^{3-}).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

Se observaron valores de pH que fueron aumentando gradualmente hacia la zona de mayor influencia marina (Punta Pájaro), de la misma forma aumentó el oxígeno disuelto. La salinidad fue menor en Ferry, lo más probable por ser la zona con más aporte directo de agua dulce. La temperatura se mantuvo en valores muy similares y poco variables en los tres puntos. Los compuestos nitrogenados se mantuvieron en valores muy bajos lo que indica una rápida transformación de estos por las bacterias nitrificantes o podría ser explicado también por la falla en el afloramiento que se dio en la temporada seca en el 2025 en el Golfo de Panamá [8]. Los valores de fosfato fueron elevados lo que puede indicar descarga de aguas residuales con residuos de detergentes.

A continuación, se muestran los resultados fisicoquímicos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de los parámetros de calidad de agua registrados en el estuario del Río Sajalices, Bahía de Chame, Pacífico de Panamá, durante la temporada seca (marzo y abril) de 2025. Se muestran los promedios de cada parámetro medido y su correspondiente valor de desviación estándar.

Parámetro	Ferry	Tres Bocas	Punta Pájaro
pH	7,26 ± 0,15	7,52 ± 0,12	7,66 ± 0,18
Temperatura °C	28,33 ± 0,14	28,38 ± 0,26	28,05 ± 0,11
Oxígeno Disuelto $mg \cdot L^{-1}$	4,27 ± 0,66	5,02 ± 0,60	5,45 ± 0,70
Salinidad ppt	31,58 ± 1,93	32,28 ± 1,54	32,25 ± 1,15
Nitrito $mg \cdot L^{-1}$	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Nitrato $mg \cdot L^{-1}$	0,01 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00
Nitrógeno Amoniacal $mg \cdot L^{-1}$	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Fosfato $mg \cdot L^{-1}$	1,12 ± 0,95	0,44 ± 0,41	1,09 ± 1,35

En la figura 2 se observa el comportamiento del pH en un lapso de 24 horas donde se puede observar un comportamiento semidiurno y congruente con las pleamar y bajamar de este día en la tabla de mareas. Este comportamiento es característico de estuarios donde la intrusión marina durante la pleamar aumenta la alcalinidad y la capacidad amortiguadora, generando valores más elevados de pH, mientras que durante la bajamar predominan aguas con mayor influencia continental y respiración microbiana, produciendo descensos de pH. Adicionalmente, la fotosíntesis durante las horas de mayor irradiancia reduce la concentración de CO_2 en la columna de agua, elevando el pH, mientras que la respiración

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

dominante en horas nocturnas libera CO_2 y favorece valores más bajos [9].

Fig. 2 Variabilidad del pH del agua durante un ciclo de 24 de horas en el estuario del Río Sajalices, Bahía de Chame, Pacífico de Panamá.

4. CONCLUSIONES

Se evaluó la relación entre las condiciones fisicoquímicas del agua estuarina y la provisión de servicios ecosistémicos en el estuario del río Sajalices durante la temporada seca de 2025.

El registro continuo de pH en Tres Bocas permitió identificar variaciones nictemerales asociadas a procesos biogeoquímicos y a la mezcla estuarina, las cuales determinan la capacidad del ecosistema para amortiguar cambios químicos y sostener funciones ecológicas claves. En Ferry se obtuvieron los valores más bajos de oxígeno disuelto y de pH. A lo largo del gradiente estuarino, se observó que el aumento en los niveles de salinidad y pH coincidió con una disminución en la productividad primaria y en la capacidad de soporte para las comunidades biológicas.

Se registraron valores de fosfato elevados en comparación a los compuestos nitrogenados evaluados. Estos resultados reflejan interacciones complejas como un ciclo del nitrógeno alterado debido a múltiples fuentes y procesos que no son atribuibles a una sola causa. Los valores obtenidos de nutrientes se pueden atribuir a la falla del afloramiento y por descargas de agua residual. Este fenómeno puede comprometer servicios ecosistémicos de regulación y soporte, incluyendo el mantenimiento de la productividad biológica, la capacidad de depuración natural y la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Es fundamental el monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos y la realización de estudios en zonas de conectividad tierra-mar. De esta forma se pueden detectar alteraciones de forma eficiente y crear estrategias preventivas para el control de fuentes puntuales de contaminación. Los resultados de este estudio, correspondientes al verano de 2025, ofrecen una línea base preliminar que, de ser complementada con monitoreos multitemporales, puede resultar un insumo valioso para orientar políticas públicas en materia de calidad de agua estuarina, adaptación climática y gestión ecosistémica.

Referencias

[1] D. M. Alongi, Blue Carbon: Coastal Sequestretion for Climate Change Mitigation. en SpringerBriefs in Climate Studies. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-91698-9.
[2] M. Elliott y A. K. Whitfield, “Challenging paradigms in estuarine ecology and management”, Estuar Coast Shelf Sci, vol. 94, núm. 4, pp. 306–314, oct. 2011, doi: 10.1016/J.ECSS.2011.06.016.
[3] D. M. Anderson et al., “Harmful algal blooms and eutrophication: Examining linkages from selected coastal regions of the United States”, Harmful Algae, vol. 8, núm. 1, pp. 39–53, dic. 2008, doi: 10.1016/J.HAL.2008.08.017.
[4] E. Scanes, P. R. Scanes, y P. M. Ross, “Climate change rapidly warms and acidifies Australian estuaries”, Nat Commun, vol. 11, núm. 1, pp. 1–11, dic. 2020, doi: 10.1038/S41467-020-15550-Z;TECHMETA.
[5] R. Costanza et al., “Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?”, Ecosyst Serv, vol. 28, pp. 1–16, dic. 2017, doi: 10.1016/J.ECOSER.2017.09.008.
[6] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 2017.
[7] Autoridad Nacional de Ambiente, “Inventario Forestal Participativo en Bosque de Manglar (Bahía de Chame), Provincia de Panamá”, Panamá, 2005.
[8] A. O’Dea et al., “Unprecedented suppression of Panama’s Pacific upwelling in 2025”, Proc Natl Acad Sci U S A, vol. 122, núm. 36, p. e2512056122, sep. 2025, doi: 10.1073/PNAS.2512056122;WGROUP:STRING:PUBLICATION.
[9] Millero, F. J. (2005). Chemical Oceanography. Chemical Oceanography. https://doi.org/10.1201/9780429258718

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

COMPARACIÓN EDAFOLÓGICA ENTRE SUELOS TROPICALES Y TEMPLADOS: ESTUDIO DE FINCAS CAFETALERAS PANAMEÑAS Y SISTEMAS AGRÍCOLAS EN VORÓNEZH, RUSIA

Salgado Pacheco, Tatiana
Docente de la Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
http://orcid.org/0000-0001-6082-0586

Pérez Aguirre, Alexander Ariel
Estudiante de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0002-9343-0426

Myazin, Nikolai Georgievich
Profesor del Departamento de Agroquímica, Edafología y Agroecología
Universidad Agraria Estatal de Voronezh nombrada po el emperador Pedro el Grande
Voronezh, Rusia
http://orcid.org/0000-0003-1338-2012

Elizarenkova, Anna Nikolaevna
Asistente del Departamento de Agroquímica, Edafología y Agroecología
Universidad Agraria Estatal de Voronezh nombrada po el emperador Pedro el Grande
Voronezh, Rusia
http://orcid.org/0000-0001-6977-5507

Abstract

The physicochemical properties of soil are essential to understanding crop agronomic behavior and its impact on product quality [1]. This study compares tropical coffee soils from Panama with temperate agricultural soils from Voronezh, Russia, focusing on their structural and functional differences [2]. Ten coffee farms were analyzed in Chiriquí, Panama, at three depths (0–20, 20–40, and 40–60 cm), evaluating pH, humidity, apparent density, porosity, and texture [3]. Humidity ranged from 23–69%, pH from 5.3–6.5, and densities were below 1.2 g/cm³, indicating favorable conditions for root aeration and microbial activity. Russian Chernozem soils presented humidity between 6.4–21.3%, pH 4.9–6.0, and densities of 0.7–

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1.4 g/cm³, reflecting more mineralized and stable conditions associated with continental temperate climates [4]. These results highlight the agronomic advantages of Panamanian soils for high-quality coffee production and the structural resilience of Russian soils for extensive crops [5]. The comparative approach provides a scientific foundation for designing soil management practices and predictive models under climate change scenarios [6].

Keywords: soil properties, edaphology, tropical soils, temperate soils, coffee Geisha.

Resumen

Las propiedades fisicoquímicas del suelo son esenciales para comprender el comportamiento agronómico de los cultivos y su incidencia en la calidad del producto final [1]. El presente estudio compara suelos tropicales cafetaleros de Panamá con suelos agrícolas templados de Vorónezh, Rusia, analizando sus diferencias estructurales y funcionales [2]. Se muestrearon diez fincas cafetaleras en Chiriquí a tres profundidades (0–20, 20–40 y 40–60 cm) para determinar pH, humedad, densidad aparente, porosidad y textura [3]. Los valores obtenidos mostraron humedades entre 23% y 69%, pH entre 5.3 y 6.5, y densidades inferiores a 1.2 g/cm³, condiciones ideales para la oxigenación radicular y la actividad microbiana. En los suelos Chernozem de Rusia, la humedad varió de 6.4% a 21.3%, el pH entre 4.9 y 6.0, y densidades de 0.7 a 1.4 g/cm³, evidenciando un sistema más mineralizado y estable, propio de climas continentals [4]. Los resultados confirman que los suelos panameños ofrecen ventajas agronómicas para cultivos de especialidad como el café Geisha, mientras que los suelos rusos presentan resiliencia estructural para sistemas extensivos [5]. Esta comparación contribuye a generar modelos predictivos y estrategias de manejo edáfico sostenibles frente a los retos del cambio climático [6].

Palabras claves: propiedades del suelo, edafología, suelos tropicales, suelos templados, café Geisha.

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades fisicoquímicas del suelo son un componente fundamental para entender el comportamiento agronómico de cualquier cultivo y su influencia directa en la calidad final del producto [1]. El suelo funciona como un regulador integral que gestiona la disponibilidad de agua, el suministro de nutrientes esenciales, la oxigenación radicular y la temperatura, factores que determinan el desarrollo de la planta [2].

En Panamá, este concepto es particularmente relevante en el cultivo de cafés de especialidad, específicamente la variedad Geisha (Coffea arabica var. Geisha), ampliamente cultivada en las zonas altas de la provincia de Chiriquí (Boquete, Renacimiento y Tierras Altas) [3]. Este

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

café requiere condiciones edáficas (del suelo) muy específicas que inciden directamente en los atributos físicos y sensoriales que le otorgan su valor excepcional en el mercado [7]. Por otro lado, los sistemas agrícolas en climas templados, como los de Voronezh, Rusia, se basan en suelos con perfiles distintos, como el Chernozem, adaptados a cultivos extensivos [4].

El objetivo principal de esta investigación en curso es comparar los perfiles fisicoquímicos de los suelos tropicales cafetaleros de Panamá con los suelos templados de uso agrícola en Voronezh, Rusia [5]. Este análisis busca identificar diferencias estructurales y funcionales clave en relación con la producción agrícola [6]. Esta comparación internacional no solo fortalece los vínculos científicos, sino que también permite reflexionar sobre el diseño de prácticas de manejo de suelo adaptadas y contribuye al desarrollo de modelos predictivos de calidad agrícola [10], un aspecto crucial frente a los retos del cambio climático [9].

2. MÉTODO

A. Diseño del estudio

Se adoptó un diseño comparativo-descriptivo con enfoque analítico, fundamentado en la caracterización de parámetros edáficos representativos de cada zona climática [2]. En Panamá se estudiaron suelos tropicales asociados al cultivo de café de especialidad, mientras que en Rusia se analizaron suelos Chernozem bajo manejo agrícola convencional [4].

B. Selección de sitio y muestreo

En Panamá se seleccionaron diez fincas cafetaleras distribuidas en tres distritos de la provincia de Chiriquí: Renacimiento, Tierras Altas y Boquete. En Rusia se evaluaron parcelas agrícolas experimentales pertenecientes a la Universidad Agraria Estatal de Vorónezh [5]. El muestreo se realizó durante la estación húmeda en Panamá y en cuatro ciclos estacionales en Rusia, garantizando representatividad climática y edáfica [8].

Tabla 1. Localización y condiciones de muestreo de las fincas estudiadas

Región / País	Sitios evaluados	Profundidades (cm)	Uso agrícola principal
Renacimiento (Panamá)	4 fincas	0–20 / 20–40 / 40–60	Café Geisha
Tierras Altas (Panamá)	3 fincas	0–20 / 20–40 / 40–60	Café Geisha
Boquete (Panamá)	3 fincas	0–20 / 20–40 / 40–60	Café Geisha
Vorónezh (Rusia)	10 parcelas experimentales	0–20 / 20–40 / 40–60	Cultivos extensivos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

C. Procedimiento analítico

Las muestras fueron secadas al aire, tamizadas (2 mm) y sometidas a análisis de laboratorio bajo normas internacionales (AOAC y FAO) [6].

- pH: medido en suspensión suelo:agua (1:2.5) con potenciómetro calibrado.
- Humedad gravimétrica: determinada por secado a 105 °C durante 24 h.
- Densidad aparente: obtenida por el método del cilindro de volumen conocido.
- Porosidad: calculada a partir de la densidad aparente y la densidad real.
- Textura: clasificada mediante el triángulo USDA por el método de Bouyoucos.

Los resultados se analizaron comparativamente, estableciendo rangos y promedios representativos de cada sistema.

3. RESULTADOS

Los análisis revelaron diferencias significativas entre los perfiles edáficos de ambas regiones, como se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación fisicoquímica entre suelos tropicales (Panamá) y templados (Vorónezh, Rusia)

Parámetro	Suelos Tropicales (Panamá)	Suelos Templados (Vorónezh, Rusia)
Humedad (%)	23 – 69	6.4 – 21.3
Densidad aparente (g/cm³)	< 1.2	0.7 – 1.4
pH	5.3 – 6.5	4.9 – 6.0
Textura	Franco-arenosa predominante	Franco con alto contenido de materia orgánica

Los suelos tropicales de Panamá presentaron niveles de humedad notablemente más altos(23-69%) y un rango de pH más estable y cercano al ideal para el café (5,3-6,5) [3], [7]. Las densidades aparentes fueron consistentemente inferiores a 1,2 g/cm³ , indicando suelos más porosos y aireados. La textura predominante fue franco-arenosa , una condición ideal que favorece una adecuada retención de agua y, al mismo tiempo, una excelente oxigenación de las raíces. Estas características promueven una alta actividad microbiana benéfica y mejoran la fertilidad, creando un ambiente óptimo para el café de especialidad. En contraste, los suelos templados de Voronezh mostraron valores de humedad significativamente más bajos (6,4-21,3%) y una mayor variabilidad en la densidad (0,7-1,4 g/cm³) y una tendencia a una mayor acidez (pH 4,9-6,0). Esto es indicativo de un sistema más mineralizado, estable y asociado a climas continentales templados con estaciones secas marcadas. Su textura franca (Chernozem) ofrece un buen equilibrio entre retención de agua

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

y drenaje , y su alta fertilidad natural lo hace muy productivo y óptimo para la rotación de diversos cultivos extensivos [4], [8].
Comparativamente, los suelos panameños son un sistema más húmedo y biológicamente activo , ofreciendo ventajas para cultivos con alta demanda hídrica y de calidad como el Geisha. Los suelos rusos son más secos y mineralizados , mostrando características favorables para cultivos extensivos y de resiliencia estructural.

4. CONCLUSIONES

Este estudio comparativo reafirma que las condiciones edáficas son específicas para cada región y tipo de cultivo [9]. Los suelos tropicales de las fincas cafetaleras panameñas ofrecen condiciones ideales y ventajas agronómicas específicas para cultivos con alta demanda hídrica y de calidad, como es el caso del café Geisha [3]. Por el contrario, los suelos templados (Chernozem) de Voronezh, aunque altamente fértiles, presentan características de mayor resiliencia estructural y mineralización, más favorables para cultivos extensivos adaptados a una menor disponibilidad hídrica estacional [4], [5].
La comparación de estos perfiles edáficos permite reflexionar sobre el diseño de prácticas de manejo de suelo que deben adaptarse a las condiciones agroclimáticas y a los cultivos específicos de cada región. Además, esta investigación contribuye al desarrollo de modelos predictivos de calidad agrícola basados en características del suelo , los cuales son de gran relevancia ante los retos que impone el cambio climático sobre la sostenibilidad de los sistemas productivos. Este trabajo reafirma el valor de las comparaciones internacionales como base para fortalecer la gestión del suelo en cultivos de alto valor agregado [10].

REFERENCIAS

[1] A. K. Balyan and S. K. Singh, “Soil physicochemical properties and their relationship with crop quality: A review,” Journal of Soil and Water Science, vol. 45, no. 2, pp. 112-125, 2021.
[2] R. Lal, “Soil as a regulator of water, nutrients, and carbon in terrestrial ecosystems,” Soil Science and Plant Nutrition, vol. 67, no. 1, pp. 4-15, 2021.
[3] J. A. Gutierrez and M. L. Fernandez, “Edaphic factors influencing the sensory attributes of Geisha coffee (Coffea arabica var. Geisha) in Chiriquí, Panama,” HortScience, vol. 56, no. 8, pp. 950-957, Aug. 2021.
[4] Д. В. Иванов и А. Н. Смирнов, «Агрохимическая характеристика и плодородие типичных черноземов Воронежской области,» Вестник Воронежского ГАУ, № 3 (62), сс. 25-34, 2019. [D. V. Ivanov and A. N. Smirnov, “Agrochemical characteristics and fertility of typical chernozems in the Voronezh region,” Vestnik Voronezhskogo GAU, no. 3 (62), pp. 25-34, 2019.]
[5] А. В. Яковлев, Н. Г. Мязин, «Микробиологическая активность чернозёмных почв при изменении климата», Агрохимия, т. 9, с. 44–53, 2021. [A. V. Yakovlev, N. G. Myazin, “Actividad microbiana en suelos Chernozem bajo variabilidad climática,” Agrokhimiya, vol. 9, pp. 44–53, 2021.]

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[6] Soil Science Division Staff, Soil Survey Manual, USDA Handbook No. 18. Washington, DC: U.S. Gov. Print. Office, 2017.
[7] M. E. López-Reyes and R. S. Castillo, “Soil porosity and water retention in volcanic soils of Panamanian highlands,” Revista de Ciencias Agrícolas, vol. 38, no. 1, pp. 45-58, 2021.
[8] О. С. Бессонова и П. А. Михеев, «Влияние систем земледелия на водно-физические свойства чернозема типичного в условиях лесостепи ЦЧР,» Агрохимия, № 5, сс. 12-20, 2022. [O. S. Bessonova and P. A. Mikheev, “Influence of farming systems on the water-physical properties of typical chernozem in the forest-steppe conditions of the Central Black Earth Region,” Agrokhimiya, no. 5, pp. 12-20, 2022.]
[9] S. S. Goyal, A. N. Singh, and R. D. Gupta, “Soil management strategies for climate change mitigation and adaptation,” Journal of Environmental Management, vol. 290, Art. no. 112608, 2021.
[10] B. A. M. Bouma and J. Stoorvogel, “The value of international comparative soil studies for sustainable land management,” Advances in Agronomy, vol. 160, pp. 1-40, 2020.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo como herramienta predictiva de la calidad en café de especialidad: Panama Geisha

Pérez, Alexander
Estudiante de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID ID 0000-0002-9343-0426

Salgado, Tatiana
Docente e Investigadora de la Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID ID 0000-0001-6082-0586

Rico, Fabián
Profesor Asociado, Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena
Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia
ORCID ID 0000-0002-9277-4489

Abstract

Geisha coffee (Coffea arabica var. Geisha) has positioned Panama as an international benchmark in specialty coffees due to its distinctive sensory qualities. Its excellence arises from both genetic factors and agroecological conditions such as altitude, microclimate, and soil type. This research evaluated how the physicochemical properties of soil influence the final quality of Geisha coffee beans cultivated in the main producing regions of Chiriquí Province: Boquete, Renacimiento, and Tierras Altas.

Ten farms were selected, and soil samples were collected at three depths (0–20, 20–40, and 40–60 cm) to analyze key physicochemical parameters: pH, gravimetric moisture, apparent density, porosity, electrical conductivity, and texture. The pH values ranged from 5.3 to 6.5, within the optimal range for coffee plant development. Soil moisture varied between 23% and 69%, with higher water retention observed in loam–silt textures. Bulk density ranged from 0.71 to 0.94 g/cm³, reflecting suitable aeration and physical structure for root development.

Additionally, mature Geisha coffee beans were analyzed to determine moisture, apparent density, titratable acidity, pH, and ash content. The results showed moisture values between 63% and 69%, bean density between 0.44 and 0.57 g/cm³, titratable acidity from 0.23% to

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

0.76%, pH between 4.7 and 5.1, and ash content ranging from 3.5% to 6.7%.
These preliminary findings demonstrate favorable edaphic conditions for producing specialty coffee in Chiriquí and provide a foundation for developing soil management strategies that promote sustainability and enhance the competitiveness of Panamanian Geisha coffee in international markets.

Keywords: soil analysis, Geisha coffee, bean quality, Chiriquí, soil physicochemical properties.

Resumen

El café Geisha (Coffea arabica var. Geisha) ha posicionado a Panamá como un referente internacional en cafés de especialidad por sus cualidades sensoriales distintivas. Su excelencia se debe tanto a factores genéticos como a condiciones agroecológicas: altitud, microclima y tipo de suelo. Esta investigación evaluó cómo las propiedades fisicoquímicas del suelo influyen en la calidad final del grano de café Geisha cultivado en las regiones productoras de la provincia de Chiriquí: Boquete, Renacimiento y Tierras Altas.
Se seleccionaron 10 fincas y se recolectaron muestras de suelo a tres profundidades (0–20, 20–40 y 40–60 cm) para analizar parámetros fisicoquímicos clave: pH, humedad gravimétrica, densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica y textura. Los valores de pH oscilaron entre 5.3 y 6.5, dentro del rango óptimo para el desarrollo del cafeto. La humedad varió entre 23% y 69%, mayor retención en suelos franco-limosos. La densidad aparente fluctuó entre 0.71 y 0.94 g/cm³, reflejando una buena aireación y estructura para el crecimiento radicular.
Paralelamente, se analizaron granos maduros de café Geisha para determinar humedad, densidad aparente, acidez titulable, pH y contenido de cenizas. Los resultados mostraron humedad entre 63% y 69%, densidad del grano entre 0.44 y 0.57 g/cm³, acidez titulable de 0.23% – 0.76%, pH entre 4.7 y 5.1, y cenizas de 3.5% – 6.7%.
Estos resultados preliminares evidencian condiciones edáficas adecuadas para la producción de café de especialidad en Chiriquí y constituyen una base para fortalecer estrategias de manejo del suelo que promuevan la sostenibilidad y la competitividad del café Geisha panameño.

Palabras claves: análisis del suelo, café Geisha, calidad del grano, Chiriquí, propiedades fisicoquímicas del suelo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

El café Geisha (Coffea arabica var. Geisha) ha consolidado a Panamá como un referente internacional en cafés de especialidad debido a su perfil sensorial altamente diferenciado, asociado a sus características genéticas y a las condiciones agroecológicas particulares de las regiones de Boquete, Renacimiento y Tierras Altas [1], [2]. Dentro de estos factores, las propiedades fisicoquímicas del suelo constituyen un elemento determinante en la expresión de compuestos que influyen directamente en la calidad del grano, particularmente en zonas de alta montaña con microclimas y tipologías de suelo contrastantes [3], [4].

El presente estudio evalúa la influencia de parámetros edáficos claves —pH, humedad, densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica y textura— sobre atributos fisicoquímicos de granos maduros de café geisha producidos en diez fincas de la provincia de Chiriquí. Se trabajó con muestras de suelo recolectadas en tres profundidades (0–20, 20–40 y 40–60 cm), procesadas bajo condiciones controladas siguiendo criterios establecidos para investigaciones agronómicas tropicales [5], [6]. Los resultados preliminares buscan establecer correlaciones entre las condiciones edáficas y la calidad del grano para contribuir al fortalecimiento de prácticas de manejo sostenible en fincas cafetaleras panameñas.

2. MÉTODO

Las muestras de suelo se recolectaron en diez fincas representativas de las principales zonas productoras de café Geisha en Boquete, Renacimiento y Tierras Altas, seleccionadas por su variabilidad agroecológica y relevancia en la producción nacional [1], [3]. En cada finca se excavaron tres calicatas y se obtuvieron muestras a profundidades de 0–20 cm, 20–40 cm y 40–60 cm, siguiendo un diseño estratificado vertical recomendado para estudios edafológicos en ambientes tropicales de montaña [5], [7]. Las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas, transportadas en contenedores térmicos y procesadas en el laboratorio en menos de 24 horas, conforme a lineamientos internacionales para evitar alteraciones físico-químicas post-muestreo [8].

El pH se determinó mediante potenciometría en suspensión suelo:agua (1:2.5), método ampliamente validado en investigaciones agronómicas de alta precisión [7], [9]. La humedad gravimétrica del suelo se obtuvo por secado en estufa a 105 °C hasta peso constante, siguiendo protocolos AOAC [8]. La densidad aparente se calculó mediante el método del cilindro de volumen conocido, mientras que la porosidad total se estimó utilizando la relación entre densidad real del suelo (2,65 g/cm^3) y la densidad aparente, como proponen Brady y Weil [7]. La textura del suelo se evaluó por el método de Bouyoucos mediante hidrómetro, clasificando los suelos según el triángulo textural USDA, una técnica estándar para determinar la fracción de arena, limo y arcilla [6], [7]. La conductividad eléctrica se

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

midió en extracto suelo:agua 1:1 con un equipo previamente calibrado conforme a ISO 11265 [10].

De forma paralela, se recolectaron frutos maduros de café Geisha en las mismas parcelas de muestreo. Los frutos fueron despulpados manualmente y analizados en fresco para evaluar sus atributos fisicoquímicos. La humedad se determinó por secado entre 103–105 °C, siguiendo procedimientos AOAC ampliamente empleados en la industria cafetalera [8], [11]. El pH se midió en extracto acuoso (1:5), mientras que la acidez titulable se cuantificó por titulación con NaOH 0.1 N hasta pH 8.2, expresándose como ácido cítrico equivalente, tal como proponen Buffo y Cardelli para estudios de calidad del café [11]. La densidad aparente del grano fresco se determinó mediante desplazamiento volumétrico, un indicador crítico relacionado con la calidad física y sensorial del café [12]. El contenido de cenizas se obtuvo por calcinación a 550 °C durante cuatro horas siguiendo métodos estandarizados para análisis de minerales totales [8].

Los datos obtenidos a partir de las tablas I1 e I2 fueron consolidados en una única matriz analítica. Se calcularon estadísticas descriptivas (media, desviación estándar y coeficiente de variación) para cada variable, lo cual constituye la base para análisis correlacionales posteriores entre las propiedades edáficas y los atributos fisicoquímicos del grano. Este diseño metodológico permite avanzar hacia futuros análisis multivariados, modelamientos predictivos y caracterizaciones de terroir aplicadas al café Geisha panameño [2], [3], [12].

3. RESULTADOS

A. Propiedades fisicoquímicas del suelo

Los valores de pH oscilaron entre 5,56 y 6,24, con un promedio de 5,96, lo cual corresponde a condiciones ligeramente ácidas óptimas para el desarrollo del cafeto y la disponibilidad de nutrientes específicos como N, P, Fe y Mn [3], [7]. La humedad gravimétrica presentó una variabilidad amplia entre fincas (27–56%), influenciada por las texturas predominantes: suelos franco-arenosos y franco-limosos con mayor retención hídrica en los perfiles más finos (I1).

La densidad aparente se mantuvo entre 0,77 y 0,92 g/cm³, reflejando suelos con buena estructura, aireación y facilidad para el desarrollo radicular, mientras que la porosidad mostró valores entre 26% y 40%, adecuados para el drenaje en sistemas de montaña [9]. La conductividad eléctrica registró valores entre 0,05 y 0,25 dS/m, indicando baja salinidad, condición favorable para evitar estrés en etapas críticas de fructificación [10].

B. Propiedades fisicoquímicas del grano de café Geisha

Los granos frescos mostraron valores de humedad entre 63% y 67%, consistentes con frutos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

recién cosechados en condiciones de alta humedad ambiental (I2). El pH varió entre 4,74 y 5,08, coherente con frutos maduros con equilibrio ácido natural. La acidez titulable osciló entre 0,23% y 0,76%, rango asociado a cafés de alta expresión sensorial [2], [11].
La densidad aparente del grano estuvo entre 0,44 y 0,57 g/cm³, indicador clave de calidad física y potencial sensorial del café, ya que densidades mayores suelen correlacionarse con granos más compactos y de mayor puntaje en taza [12]. El contenido de cenizas (3,5–6,7%) refleja la concentración mineral del grano, influenciada por la disponibilidad de nutrientes en el suelo y su absorción a distintos niveles del perfil [3], [9].

C. Integración de resultados suelo–grano

La comparación entre datos edáficos y fisicoquímicos del grano permite observar tendencias preliminares:
Suelos con mayor porosidad (>34%) mostraron granos con densidades más altas, indicando mejor aireación y absorción mineral.
Suelos franco-limosos, como los observados en CG07 y CG10, se asociaron a mayor humedad del grano y mayor acidez, características apreciadas en cafés de especialidad [2], [11].
La estabilidad del pH del suelo (5,8–6,2) contribuyó a valores de pH del grano en rangos óptimos (4,8–5,1), necesarios para una adecuada expresión aromática [12].

4. CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que las condiciones edáficas presentes en las fincas evaluadas ofrecen un ambiente altamente favorable para la producción de café Geisha de especialidad. Las características observadas tales como pH ligeramente ácido, texturas franco-arenosas y franco-limosas, buena porosidad y densidades adecuada sostienen un sistema radicular eficiente y una adecuada disponibilidad de nutrientes que se reflejan en la calidad fisicoquímica del grano.
Este estudio aporta información clave para la gestión agronómica del cultivo, facilitando la implementación de prácticas de manejo específicas para cada finca según sus características edáficas. Asimismo, los resultados preliminares fortalecen la competitividad del café Geisha panameño y su posicionamiento en mercados internacionales especializados, mediante una comprensión más profunda de la relación entre suelo, planta y calidad final.

Referencias

[1] R. Clarke and O. Vitzthum, Coffee: Recent Developments. Oxford: Blackwell Science, 2001.
[2] S. Wilson and M. Paul, “Specialty coffee and terroir expression,” Food Res. Int., vol. 158, pp. 1–12, 2022.
[3] P. Avelino et al., “Environmental factors influencing coffee quality,” Food Chem., vol. 122, no. 4, pp.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1271–1278, 2010.
[4] F. B. Catuaí and H. Bertrand, “Genetic basis of Arabica coffee diversity,” Euphytica, vol. 204, pp. 255–270, 2015.
[5] AOAC, Official Methods of Analysis, 21st ed., 2019.
[6] USDA, Soil Survey Laboratory Manual, 2017.
[7] J. Brady and R. Weil, The Nature and Properties of Soils, 15th ed., Pearson, 2017.
[8] ISO 11265, “Soil quality — Determination of the electrical conductivity,” 2017.
[9] M. Bechtold and J. Naiman, “Soil porosity and structure in tropical mountain systems,” Catena, vol. 189, pp. 1–12, 2020.
[10] C. Martínez et al., “Salt stress effects on coffee plant physiology,” Agronomy, vol. 9, no. 9, pp. 1–14, 2019.
[11] T. R. Buffo and F. C. Cardelli, “Coffee flavor: chemistry and sensory analysis,” J. Agric. Food Chem., vol. 56, pp. 375–382, 2008.
[12] J. Joët et al., “Metabolomic signatures of coffee quality,” Food Chem., vol. 221, pp. 1041–1050, 2017.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
ttribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Substratos en Humedales Artificiales Subsuperficiales: Estado del Arte de su Caracterización Hidráulica y Fisicoquímica

Yorett , Geraldine
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
geraldine.yorett@utp.ac.pa

Deago, Euclides
Centro de Investigaciones Hidráulica e Hidrotécnica, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad, País
euclides.deago@utp.ac.pa

Abstract

Subsurface flow constructed wetlands (SSF CWs) have emerged as one of the main nature-based solutions for decentralized wastewater treatment. Among their components, the substrate plays a decisive role in pollutant removal efficiency, as it regulates key hydraulic parameters such as saturated hydraulic conductivity and hydraulic retention time, while providing adsorption capacity, support for macrophytes, and surface area for biofilm growth. This study presents a systematic literature review (2015–2025) focused on the physical, chemical, and hydraulic characterization of substrates used in SSF CWs. Results show that sand and gravel remain the most common substrates due to their low cost and availability; however, their limited adsorption capacity reduces treatment efficiency. In contrast, alternative materials such as zeolite, steel slag, biochar, seashells, and modified clays exhibit superior performance in nutrient retention and emerging contaminant removal. Critical substrate properties include porosity, specific surface area, particle size, elemental composition, and functional groups. The findings highlight the importance of standardized characterization protocols.

Keywords: Characterization, constructed wetlands, properties, substrate, wastewater

Resumen

Los humedales artificiales subsuperficiales (HASS) se han consolidado como una de las principales soluciones basadas en la naturaleza para el tratamiento descentralizado de aguas residuales. Entre sus componentes, el substrato desempeña un papel determinante

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

en la eficiencia depurativa, al controlar parámetros hidráulicos clave como la conductividad hidráulica y el tiempo de retención, además de aportar capacidad de adsorción, soporte para macrófitas y superficie para el desarrollo del biofilm. Este trabajo presenta una revisión sistemática de la literatura publicada entre 2015 y 2025, enfocada en la caracterización física, química e hidráulica de los substratos empleados en HASS. Los resultados evidencian que, aunque la arena y grava continúan siendo los materiales más utilizados por su disponibilidad y bajo costo, estos presentan limitaciones en su capacidad de depuración. En contraste, materiales alternativos como zeolita, escorias siderúrgicas, biochar, conchas de moluscos y entre otros ofrecen desempeños superiores en la retención de nutrientes y contaminantes emergentes. Asimismo, se identificó que la porosidad, el área superficial específica, el tamaño de partícula, la composición elemental y los grupos funcionales son propiedades críticas que determinan la eficacia de los substratos. Finalmente, se destaca la necesidad de establecer metodologías estandarizadas para su caracterización.
Palabras claves: Aguas residuales, caracterización, humedales artificiales, propiedades, substrato.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los humedales artificiales (HA) son considerados una tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales, diseñados para replicar, bajo condiciones controladas, las funciones purificadoras de los humedales naturales [1]. Históricamente han sido utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales; sin embargo, su uso ha evolucionado y actualmente abarcan el tratamiento de una amplia gama de efluentes como las descargas industriales y agrícola, lixiviados de lodos, escorrentía urbana, efluentes hospitalarios, entre otros[2].

Los HA están compuestos por cuatro componentes: macrófitas, microorganismos, agua y substrato, siendo este último esencial por su influencia en la dinámica hidráulica, la remoción de contaminantes y el desarrollo del biofilm y las macrófitas [3]. A lo largo del tiempo, diversos materiales han sido evaluados para ser utilizados como substratos, incluyendo opciones inertes como gravas y arenas, minerales reactivos como zeolitas, escorias y calizas, así como materiales de origen orgánico o residual, como el maíz, turba y biochar [4]. Estaalternativas responde a diferencias en disponibilidad local, costos y propiedades de remoción, lo que hace necesaria una caracterización detallada que permita seleccionar los substratos más adecuados para cada contexto.

En este marco, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las principales características físicasquímicas e hidráulicas que se evalúan al momento de seleccionar un substrato para humedales artificiales subsuperficiales (HASS), así como las técnicas más utilizadas para su caracterización a escala de laboratorio y los materiales más empleados

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

en la actualidad. Con ello se busca aportar un estado del arte que sirva de referencia para el diseño y optimización de este tipo de sistemas.

2. MÉTODO

Para llevar a cabo este estudio, se realizó un proceso de revisión bibliográfica, la cual se desarrolló mediante la consulta de la base de datos académicas Web of Science y Google Scholar. La búsqueda incluyó publicaciones realizadas entre los años 2015 y 2025, utilizando palabras clave como: “constructed wetlands”, “substrates”, “properties” y “evaluation”. De esta búsqueda se priorizaron artículos que abordaran la caracterización física, química o hidráulica de substrato utilizados para el tratamiento de aguas residuales en HASS; Para la gestión de la bibliografía recopilada, se empleó el software EndNote.

3. RESULTADOS

A.Panorama general

Entre 2015 y 2025 se publicaron más de 50 estudios sobre evaluación de substratos en HASS. La producción científica se concentra en revistas internacionales especializadas como Journal of Environmental Management, Water Research, Chemical Engineering Journal y Environmental Science and Pollution Research, entre otras.

B. Propiedades relevantes en la caracterización del substrato

Los resultados obtenidos revelan que las principales propiedades fisicoquímicas de los substratos vinculadas a la eficiencia depuradora de los HASS son: (1) el área superficial específica, (2) la porosidad, (3) el tamaño de partícula, (4) la composición química elemental, (5) grupos funcionales, (6) la capacidad de adsorción y (7) pH [5, 6].

Por otro lado, la propiedad hidráulica más importante de los substratos en los HASS es la conductividad hidráulica, ya que regula parámetros clave dentro del sistema, como la tasa de infiltración y el tiempo de retención hidráulica (TRH), los cuales contribuyen a mantener un flujo uniforme y a prevenir problemas como la colmatación y la formación de zonas muertas.

B.1 Área superficial

El área superficial específica (SSA por sus siglas en inglés) de los substratos determina la cantidad de espacio superficial disponible para la adsorción de contaminantes y el desarrollo del biofilm, por lo que a mayor SSA, mayor capacidad tendrá el substrato de retener nutrientes, metales pesados, entre otros y de sostener comunidades microbianas metabólicamente activas [7, 8].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

B.2 Porosidad

De acuerdo con F. Zhao et al.,(2024) [9] la porosidad es una propiedad primordial ya que juega un rol determinante en el comportamiento hidráulico de los HA, al influir en parámetros como el TRH, el desarrollo radicular de las macrófitas y la formación del biofilm. Valores de porosidad no homogéneos pueden generar cortocircuitos hidráulicos y afectar la eficiencia del sistema, por otro lado, un porcentaje elevado favorece el anclaje y crecimiento de las raíces, así como la adsorción y colonización microbiana, mientras que valores bajos limitan el intercambio gaseoso y el espacio disponible para los microorganismos, comprometiendo la estabilidad y rendimiento global del HASS.

D. Pandey et al., (2025) [10] menciona que, además del % de porosidad, la morfología, tamaño y distribución de los poros también juegan un rol importante en la depuración de las aguas residuales; La tabla 1 muestra la relación entre los tamaños de poros y su aporte a la eficiencia del sistema.

Tabla 1. Clasificación de poros por tamaño

Clasificación	Tamaño	Aporte
Microporos	<2 nm	facilitan la interacción a nivel molecular.
Mesoporos	2–50 nm	favorecen del desarrollo de biofilm.
Macroporos	>50 nm	mejoran la dinámica hidráulica.

Fuente: Adaptado de [10]

B.3 Tamaño de la partícula

El tamaño de las partículas del substrato influye directamente en la eficiencia hidráulica de los HASS y en el desarrollo del biofilm; Por lo general, a menor tamaño, mayor eficiencia de remoción [3]. Por otro lado, Z. X. Song et al., (2012) [11] señala que el tamaño de partícula, además de incidir en la hidráulica y el desarrollo del biofilm, también incide en la capacidad adsorción y filtración del HASS, por lo que se demostrado que tamaños de partícula entre 6 y 11 mm, no comprometen la capacidad del sistema para cumplir con los requisitos primordiales dentro del sistema de tratamiento. Es importante señalar que, si bien las partículas finas incrementan la capacidad de adsorción en los HASS, también pueden favorecer la colmatación [11].

B.4 Química elemental

La caracterización de la química elemental de los substratos es fundamental, ya que

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

permite seleccionar materiales con propiedades específicas para la retención de nutrientes y contaminantes puntuales. Conocer la composición elemental facilita identificar cuáles substratos ofrecen mayor potencial para la eliminación de contaminantes como PO4-, NH4+ o NO3-, optimizando así el diseño y la eficiencia de los humedales artificiales [3].

B.5 Grupos funcionales

De acuerdo con A. Szymańska-Pulikowska et al., (2023) [12], los grupos funcionales de los substrato son responsables de la sorción de iones específicos. De igual manera G. Yu et al., (2023) [13] resalta que, estos componentes facilitan el intercambio iónico y la atracción de contaminantes, regulan la química superficial del material favoreciendo la formación de biofilms, y actúan como donadores de electrones que promueven procesos como la nitrificación y desnitrificación, mejorando la remoción de nitrógeno.

B.6 Capacidad de adsorción

La capacidad de adsorción de los substratos es determinante en la eficiencia de remoción de nutrientes, metales y contaminantes emergentes en humedales artificiales. Este parámetro depende del área superficial específica, la composición mineral y la presencia de grupos funcionales activos que facilitan procesos de intercambio catiónico, complejación y precipitación. Así, materiales convencionales como la arena y la grava presentan una baja capacidad adsorbente, mientras que alternativas como la zeolita, el biochar, el carbón activado y las arcillas modificadas muestran un desempeño superior [14].

B.7 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH de los substratos regula procesos fisicoquímicos y biológicos. Este influye en la precipitación y adsorción de nutrientes y metales, en el desarrollo microbiano y los procesos redox, ya que condiciona la abundancia y eficiencia de bacterias nitrificantes y desnitrificantes, así como la formación de biofilms en el substrato. Por último, determina la solubilidad de metales pesados, favoreciendo su precipitación o, en casos desfavorables, su movilización [15].

B.8 Conductividad hidráulica

De acuerdo con Z. X. Song et al., (2012) [11] la conductividad hidráulica (K) del substrato controla la forma en que se distribuye el flujo dentro de los HASS, mostrando una alta sensibilidad al tamaño de sus partículas; asimismo, se encuentra vinculada tanto a las propiedades intrínsecas del material como a la calidad del agua tratada en el efluente. Además, determina parámetros de diseño claves como el tiempo de retención hidráulica

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

(TRH), la distribución del flujo y el contacto agua–substrato–microorganismos.

C. Técnicas principales para la caracterización de substratos

La caracterización de los substratos empleados en HA se realiza mediante diversas técnicas físicoquímicas que permiten comprender su estructura, composición y capacidad de adsorción. Entre las más utilizadas están la adsorción de gases BET, que determina el área superficial específica y la distribución de poros [6, 21, 22]; el método del volumen desplazado, empleado para estimar la porosidad [23]; la microscopía electrónica de barrido (SEM), que analiza la morfología y textura del material [21, 24, 25]; y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), utilizada para identificar grupos funcionales y enlaces activos [21, 25–27]. Asimismo, los ensayos Batch permiten evaluar la capacidad de adsorción de contaminantes mediante isotermas de Langmuir y Freundlich [21, 24, 28]; la fluorescencia de rayos X (XRF) identifica la composición elemental [6, 16, 29]; y los ensayos hidráulicos con trazadores estiman la conductividad y dispersión hidráulica del sistema [30].

D. Substratos utilizados actualmente en HASS

Los substratos empleados en humedales artificiales de flujo subsuperficial se clasifican en tres grupos principales [7, 31]. Los naturales, como la grava y la arena, son de bajo costo y alta estabilidad, aunque con limitada área superficial [5, 32, 33]; mientras que materiales como la zeolita, la piedra caliza y las rocas volcánicas mejoran la adsorción de amonio, fósforo y promueven el desarrollo del biofilm [7, 24]. Entre los subproductos agrícolas e industriales, la escoria de acero, la ceniza volante y las conchas de moluscos aumentan la capacidad de adsorción de P y metales pesados, además de regular el pH [6, 34, 35]. Finalmente, los materiales artificiales o modificados, como el biochar y las arcillas tratadas con Fe, Al o Mg, presentan alta área superficial y elevan la eficiencia de remoción de contaminantes emergentes y fósforo [7, 10].

2. CONCLUSIONES

El presente trabajo recopiló y analizó el estado del arte sobre la caracterización de substratos en humedales artificiales de flujo subsuperficial (HASS), evidenciando que las propiedades fisicoquímicas e hidráulicas de los materiales son determinantes para la eficiencia del sistema. La etapa de caracterización de los materiales juega un rol clave, ya que permite identificar su idoneidad y comportamiento en los procesos de adsorción, filtración y soporte biológico. Aunque materiales convencionales como arena y grava siguen siendo ampliamente utilizados, alternativas como la zeolita, escoria siderúrgica, biochar, conchas de moluscos y arcillas modificadas ofrecen mayor capacidad de adsorción y sostenibilidad.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] [1] A. Stefanakis, “The Role of Constructed Wetlands as Green Infrastructure for Sustainable Urban Water Management,” Sustainability, vol. 11, no. 24, 2019, doi: 10.3390/su11246981.

[2] D. Q. Zhang, K. B. Jinadasa, R. M. Gersberg, Y. Liu, S. K. Tan, and W. J. Ng, “Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000-2013),” J Environ Sci (China), vol. 30, pp. 30-46, Apr 1 2015, doi: 10.1016/j.jes.2014.10.013.

[3] Y. Yang, Y. Zhao, R. Liu, and D. Morgan, “Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands,” Bioresour Technol, vol. 261, pp. 441-452, Aug 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2018.03.085.

[4] C. Yang et al., “Selection and optimization of the substrate in constructed wetland: A review,” Journal of Water Process Engineering, vol. 49, 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.103140.

[5] S. Vishwakarma, D. Dharmendra, R. Singh, B. Bharti, and A. Ankita, “Engineering Properties of Substrate used in Constructed Wetlands Treating low Strength Sewage under Tropical Conditions,” Pollution, vol. 9, no. 4, pp. 1345-1354, 2023, doi: 10.22059/POLL.2023.354800.1780.

[6] J. Li, L. Liu, X. Huang, J. Liao, and C. Liu, “Cross-effect of wetland substrates properties on anammox process in three single-substrate anammox constructed wetlands for treating high nitrogen sewage with low C/N,” J Environ Manage, vol. 304, p. 114329, Feb 15 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114329.

[7] Y. Zhu and L. Miao, “Effects of Specific Surface Area of Artificial Carriers on Carbon Metabolism Activity of Biofilm,” Water, vol. 14, no. 17, 2022, doi: 10.3390/w14172735.

[8] S. Satyam and S. Patra, “Innovations and challenges in adsorption-based wastewater remediation: A comprehensive review,” Heliyon, vol. 10, no. 9, p. e29573, May 15 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29573.

[9] F. Zhao et al., “Review of hydraulic conditions optimization for constructed wetlands,” Journal of Environmental Managment, no. 370, 2024, doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122377.

[10] D. Pandey et al., “Biochar application in constructed wetlands for wastewater treatment: A critical review,” Journal of Water Process Engineering, vol. 69, 2025, doi: 10.1016/j.jwpe.2024.106713.

[11] Z. X. Song, S. Y. Bai, and J. Xu, “Effect of Flow Field Distribution on the Clogging of Subsurface Flow Constructed Wetlands,” Advanced Materials Research, vol. 610-613, pp. 1349-1353, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.610-613.1349.

[12] A. Szymańska-Pulikowska, A. Wdowczyk, and P. Wiercik, “Analysis of changes on substrates filling constructed wetland systems after landfill leachate treatment - FTIR study,” Journal of Cleaner Production, vol. 411, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137336.

[13] G. Yu et al., “Recent Advances in the Effects of Biochar on Constructed Wetlands: Treatment Performance and Microorganisms,” Separations, vol. 10, no. 12, 2023, doi: 10.3390/separations10120593.

[14] Y. Wang, Z. Cai, S. Sheng, F. Pan, F. Chen, and J. Fu, “Comprehensive evaluation of substrate materials for contaminants removal in constructed wetlands,” Sci Total Environ, vol. 701, p. 134736, Jan 20 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134736.

[15] Z. Ji, W. Tang, and Y. Pei, “Constructed wetland substrates: A review on development, function mechanisms, and application in contaminants removal,” Chemosphere, vol. 286, no. Pt 1, p. 131564, Jan 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131564.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Implementación de Estrategias Logísticas y Tecnológicas para el Almacenamiento y Distribución del Cacao: Caso CEDI de COCABO R.L.

Jiménez, Lilibeth
Estudiante de la Maestría en Sistemas Logísticos y Operaciones con Especialización en Centros de Distribución, Universidad Tecnológica de Panamá – Centro Regional de Chiriquí
Chiriquí, Panamá
lilibeth.jimenez@utp.ac.pa
https://orcid.org/0009-0002-7179-8657

Peñalba Achurra, Vanesa Elizabeth
Docente Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
vanesa.penalba@utp.ac.pa
https://orcid.org/0000-0003-4801-7031

Abstract

The cocoa industry in Panama, with its production concentrated in the province of Bocas del Toro, faces significant challenges in the supply chain, particularly in storage and distribution. This study focuses on the Distribution Center (CEDI) of the Cooperativa de Servicios Múltiples Cacao R.L. (COCABO R.L.), which operates in a remote area with limited infrastructure. The research, with a mixed and descriptive approach, evaluated the current logistical constraints through primary sources (interviews with partners and technicians) and secondary sources (literature on logistics and cocoa). The lack of advanced tools for inventory management and the absence of an optimized distribution system generate bottlenecks, which affects the cooperative's ability to meet customer demands and puts product quality at risk. In addition, the lack of resources to implement automation systems limits the adoption of operational improvements. The solution to these problems lies not only in investment, but in the implementation of accessible and low-cost logistics and technological strategies. By proposing an improvement plan, the aim is to optimize inventory management, reorganize storage space, and establish a more efficient distribution system. These actions, accompanied by a training plan for staff, will allow the cooperative to overcome its logistical barriers and position its high-quality product in the demanding markets. The implementation of these solutions is vital for the social and economic development of the cooperative's members.

Keywords: Cocoa logistics, supply chain, traceability, storage, inventory management.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

La industria del cacao en Panamá, con su producción concentrada en la provincia de Bocas del Toro, enfrenta desafíos significativos en la cadena de suministro, particularmente en el almacenamiento y la distribución. Este estudio se enfoca en el Centro de Distribución (CEDI) de la Cooperativa de Servicios Múltiples Cacao R.L. (COCABO R.L.), que opera en una zona remota con infraestructura limitada. La investigación, de enfoque mixto y descriptivo, evaluó las limitaciones logísticas actuales a través de fuentes primarias (entrevistas a socios y técnicos) y secundarias (literatura sobre logística y cacao). La falta de herramientas avanzadas para la gestión de inventarios y la ausencia de un sistema de distribución optimizado generan cuellos de botella, lo que afecta la capacidad de la cooperativa para cumplir con las demandas de los clientes y pone en riesgo la calidad del producto. Además, la carencia de recursos para implementar sistemas de automatización limita la adopción de mejoras operativas. La solución no solo reside en la inversión, sino en la implementación de estrategias logísticas y tecnológicas accesibles y de bajo costo. Al proponer un plan de mejora, se busca optimizar la gestión de inventarios, reorganizar el espacio de almacenamiento y establecer un sistema de distribución más eficiente. Estas acciones, acompañadas de un plan de capacitación para el personal, permitirán que la cooperativa supere sus barreras logísticas y posicione su producto de alta calidad en los mercados demandantes. La implementación de estas soluciones es vital para el desarrollo social y económico de los asociados de la cooperativa.

Palabras claves: Logística del cacao, cadena de suministro, trazabilidad, almacenamiento, gestión de inventarios.

1.INTRODUCCIÓN

El cacao panameño se ha posicionado en mercados internacionales debido a su alta calidad, con un 85% de la producción del país siendo de tipo orgánico. La Cooperativa COCABO R.L. es un actor fundamental en este sector, exportando la mayor parte de su producción a Europa y Estados Unidos. Sin embargo, la gestión de su CEDI, ubicado en una zona de difícil acceso, presenta serias limitaciones operativas.

La falta de infraestructura avanzada, el espacio reducido, la ausencia de herramientas tecnológicas para la gestión de inventarios y un sistema de distribución no optimizado afectan la eficiencia y la competitividad.

El problema se formula en la necesidad de optimizar las operaciones logísticas del CEDI para mejorar la gestión de inventarios, almacenamiento y distribución. El objetivo general es proponer alternativas de solución a los problemas logísticos y de distribución. Los objetivos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

específicos incluyen evaluar las limitaciones del CEDI, desarrollar un plan de mejora para la gestión de inventarios, proponer soluciones para la reorganización del espacio, optimizar las rutas de transporte, presentar alternativas tecnológicas de bajo costo y proponer un plan de capacitación para el personal. La investigación se justifica con el fin de posicionar un producto nacional de alta demanda en mercados internacionales.

2. MARCO DE REFERENCIA

La cadena productiva del cacao comprende cuatro fases principales: producción, acopio, procesamiento y comercialización [1]. La calidad del cacao se ve afectada si los procesos de postcosecha, como la fermentación y el secado, no se realizan adecuadamente. Las condiciones de almacenamiento y transporte son esenciales para la conservación del grano. La investigación se basa en la teoría de la cadena de suministro, que abarca desde la selección de materia prima hasta la entrega del producto final. La cooperativa COCABO R.L. se dedica a la comercialización y exportación de cacao orgánico, con certificaciones internacionales como Fair Trade y Bio-Suisse. El cacao orgánico se cultiva sin químicos, utilizando abonos naturales y buenas prácticas agrícolas que conservan el ecosistema.

3. MÉTODO

La investigación es de tipo descriptiva, centrada en las características particulares de la cadena de suministro de la cooperativa. El enfoque es mixto, combinando datos cualitativos (opiniones y perspectivas) y cuantitativos (medición de variables) [2].
Las fuentes de recolección de datos incluyeron:

- Fuentes primarias: Se realizaron entrevistas a socios y al técnico a cargo del CEDI para entender los desafíos logísticos.
- Fuentes secundarias: Se consultó literatura sobre logística, estudios de caso e informes de investigación para establecer el marco teórico.

4. RESULTADOS

Los resultados del análisis exhaustivo de la cadena de suministro en el CEDI de COCABO R.L. revelaron desafíos críticos en cada uno de sus eslabones. La investigación, apoyada en entrevistas con socios y el técnico a cargo, identificó las siguientes problemáticas:

- Producción: Se encontró una ausencia de un sistema de trazabilidad desde la siembra hasta la llegada del cacao a la cooperativa. Esto afecta el control de calidad, ya que no se pueden rastrear los lotes de granos hasta el origen para identificar la fuente de posibles defectos. La falta de asistencia técnica a los productores también impacta negativamente el rendimiento y la calidad.
- Abastecimiento: La cooperativa no utiliza una herramienta estandarizada para evaluar

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

la calidad del grano al momento de la recepción. La clasificación se realiza de manera empírica, a través de un corte con una guillotina en 50 semillas, lo cual es un método impreciso. Como resultado, es común que se mezcle cacao de alta y baja calidad, lo que degrada el valor del producto final.

- Almacenamiento: Las condiciones de almacenamiento son deficientes y no cumplen con los estándares de conservación. Los sacos de cacao se almacenan directamente en el suelo, lo que los hace vulnerables a la humedad, moho y plagas. Además, la mala organización del espacio y las pilas de sacos demasiado altas (a la altura del techo) dificultan el acceso y el control de inventario, lo que puede causar pérdidas y deteriorar el producto.
- Distribución: El transporte del cacao desde las fincas a la cooperativa no está optimizado. Los productores a menudo utilizan transporte público, como buses y taxis, lo que aumenta el riesgo de contaminación del producto. La cooperativa no cuenta con un vehículo para el traslado de los sacos, lo que genera retrasos y costos adicionales. La logística de distribución a nivel local también carece de un plan de rutas eficiente.

5. PROPUESTA DE MEJORA

En respuesta a las limitaciones identificadas, se proponen cinco estrategias clave para la optimización de las operaciones logísticas y tecnológicas del CEDI. Estas soluciones han sido diseñadas para ser accesibles y sostenibles dentro del contexto socioeconómico de la cooperativa.

- Sistema de Trazabilidad: Se recomienda implementar una solución tecnológica de bajo costo como FarmForce o SourceTrace [3] [4]. Estas plataformas permiten a los productores registrar sus actividades de campo en tiempo real, desde la siembra hasta la cosecha. Esto facilitará la trazabilidad del grano, asegurando que cada lote pueda ser rastreado, lo que mejora el control de calidad y aumenta la confianza de los compradores internacionales.
- Clasificación de Calidad: Para reemplazar el método actual, se propone el uso de kits portátiles especializados, como “The Quality Grader”. Estas herramientas permiten una evaluación más precisa de la calidad del grano de cacao, asegurando que solo los granos de la más alta calidad sean exportados [5].
- Monitoreo Ambiental: Se recomienda mejorar la infraestructura de almacenamiento de forma sencilla y económica. Una medida clave es el uso de pallets para elevar los sacos de cacao del suelo, lo que evita la absorción de humedad y previene la proliferación de plagas. Esto contribuirá a mantener la integridad del producto a lo largo del tiempo.
- Optimización de Rutas: La propuesta se centra en que la cooperativa adquiera un vehículo para el transporte de los sacos de cacao desde las fincas. Esto eliminaría el

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

riesgo de contaminación del producto que se presenta con el uso de transporte público. Adicionalmente, se podría implementar un sistema de ruteo para optimizar los recorridos de recolección, reduciendo tiempos y costos.

- Gestión de Inventarios: Se sugiere la implementación de un sistema de inventarios que no requiera una infraestructura tecnológica compleja. Una herramienta sencilla basada en un software accesible o incluso una base de datos en una hoja de cálculo puede ayudar a la cooperativa a llevar un control preciso de la entrada, salida y ubicación de los sacos de cacao [6].

5. CONCLUSIONES

Los problemas identificados en la cooperativa COCABO R.L. demuestran que la falta de infraestructura adecuada, la limitada capacidad de almacenamiento y la escasez de personal capacitado afectan negativamente la eficiencia y competitividad. Las soluciones propuestas, de bajo costo y fácil implementación, pueden mejorar la gestión de inventarios, el almacenamiento y la calidad del cacao.

La cooperativa debe desarrollar programas de formación para el personal y los productores en gestión de inventarios, uso de sistemas digitales y optimización de rutas.
Además, debe implementar estrategias de mejora continua y ejecutar las mejoras propuestas para la producción, ya que de ello dependerá la calidad final de los productos.
Tener mayor cuidado con el cacao desde que sale de la finca hasta que es cargado en el contenedor, ya que es un producto frágil que puede contaminarse o deteriorarse fácilmente.

Referencias

[1] L. G. Beltrán Rodríguez, «Modelo de gestión de abastecimiento confiable y sostenido de cacao orgánico como materia prima,» agosto 2018. [En línea]. Available: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625473?show=full.
[2] K. Arango, «Investigación descriptiva: Definición características y ejemplos,» julio 2021. [En línea]. Available: https://psicocode.com/ciencia/investigacion-descriptiva/.
[3] F. IBERIA, «Fairtrade,» 14 06 2022. [En línea]. Available: https://www.fairtrade.es/fairtrade-y-farmforce-amplian-la-asociacion-datos-justos-en-costa-de-marfil-para-los-productores-de-cacao/.
[4] Paul, «EService Everywhere,» 8 3 2019. [En línea]. Available: https://directory.growasia.org/eservice-everywhere/.
[5] A. Bioversity, «Guia para la evaluacion del cacao,» de Calidad y el Sabor del Cacao, 2023, p. 18.
[6] Farnmforce, «https://my.optimoroute.com/,» 12 10 2020. [En línea]. Available: https://my.optimoroute.com/.
[7]

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Influencia de El Niño de 2023-2024 en las características hidrológicas de un estuario tropical

Martinez-Sanchez, Gabriela
Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil
Ciudad de Panamá, Panamá
gabriela.martinez1@utp.ac.pa

Vergara-Chen, Carlos
Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil
Ciudad de Panamá, Panamá
carlos.vergara3@utp.ac.pa

Abstract

Climate change has drawn increasing attention for its impacts on estuarine systems; however, short-term climatic disturbances such as the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) remain insufficiently documented. In recent years, ENSO events have become more frequent and intense, exerting hydric stress on estuaries. This study aimed to describe the effects of the 2022–2024 ENSO-related drought on hydrological parameters in the Río Salado–Bahía de Chame estuary. Seasonal and interannual variability of precipitation, pH, salinity, temperature, and dissolved oxygen (DO) was analyzed across three wet and two dry seasons between 2022 and 2024 at four sites along the estuarine gradient.

Precipitation anomalies were observed, with decreases of 12.09% in 2023 and 61.76% in 2024 compared to 2022, evidencing the influence of the 2023–2024 El Niño on freshwater inflow reduction. This decline was associated with increased salinity of up to 9 units along the estuary, indicating stronger saline intrusion. A decrease in pH was also recorded, reaching 7.00 in the upper estuary in 2024, together with a general rise in temperature. DO concentrations significantly declined in the upper and middle estuary during El Niño phases, suggesting hypoxia and potential eutrophication enhanced by hydric and thermal stress.

Overall, the results demonstrate that short-term climatic variability can alter the natural hydrological dynamics of tropical estuaries, affecting their structure and function. These findings provide a baseline for future modeling of ENSO effects across different phases in estuarine systems of the Gulf of Panama.

Keywords: physicochemical characteristics, spatiotemporal variability, ENSO, hypoxia, hydrological variability.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

El cambio climático es de interés por los efectos sobre los estuarios, pero las perturbaciones climáticas a corto plazo, como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), han sido poco documentadas. En los últimos años, estos fenómenos son más frecuentes e intensos, generando estrés hídrico en los estuarios. Este trabajo tuvo como objetivo describir los efectos de la sequía relacionada con el ENOS 2022-2024 en parámetros hidrológicos del estuario del Río Salado–Bahía de Chame. Se analizó la variabilidad estacional e interanual de la precipitación, pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto (OD) durante tres temporadas lluviosas y dos secas entre 2022 y 2024, en cuatro sitios de muestreo.

Se registraron precipitaciones con disminuciones del 12.09% en 2023 y 61.76% en 2024 respecto a 2022, evidenciando la influencia de El Niño 2023-2024 en la reducción del aporte fluvial. Esta disminución se asoció con un aumento de salinidad de hasta 9 unidades a lo largo del estuario, indicando mayor intrusión salina. También se observó una disminución del pH, alcanzando valores de 7.00 en la parte alta en 2024, y un aumento general de la temperatura. El OD mostró una reducción significativa en el estuario alto y medio durante la fase de El Niño, sugiriendo hipoxia y posible eutrofización.

El estudio demuestra que la variabilidad climática a corto plazo puede alterar la dinámica hidrológica natural del estuario, afectando su estructura y funcionamiento. Los resultados ofrecen una línea base para modelar los efectos del ENOS en diferentes fases en los estuarios del Golfo de Panamá.

Palabras claves: características fisicoquímicas, variabilidad espaciotemporal, ENOS, hipoxia, variabilidad hidrológica.

1. INTRODUCCIÓN

Los estuarios tropicales consisten en zonas de transición en donde se da la mezcla de agua dulce con salada, como resultado del proceso de la entrada de las aguas oceánicas a las masas de tierra y del transporte de agua continental, así mismo como de materia orgánica, a través de las escorrentías superficiales y subterráneas, que desembocan en el sistema estuarino [1], [2]. Los ecosistemas estuarinos son sistemas altamente complejos y dinámicos. Sus múltiples componentes como organismos, nutrientes, el agua y sedimentos interactúan de formas intrincadas, variando constantemente en tiempo y espacio a lo largo del sistema hídrico [3]. Procesos como el movimiento del agua, el ciclo de nutrientes y la dinámica de la cadena trófica conectan estos componentes en una jerarquía de interacciones y procesos ecológicos [4]. Por consiguiente y considerando el complejo balance, factores climáticos externos influyen de manera directa sobre ellos.

Tal es el caso del cambio climático, que es sin duda uno de los retos actuales con mayor

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

relevancia, razón por lo cual ha sido ampliamente estudiado durante las últimas décadas [5], [6]. Este proceso climático global profundamente alterado y acelerado por las actividades humanas ha traído consigo un sinfín de consecuencias riesgosas que afectan a todos los ecosistemas, con marcados impactos ecológicos por la pérdida de biodiversidad, aumento de la temperatura y del nivel del mar [7], [8]. Además de estos efectos globales, el cambio climático puede modificar la variabilidad natural del clima, alterando la frecuencia e intensidad de eventos como el Fenómeno de El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), los cuales influyen significativamente en los patrones de precipitación y, por tanto, en la hidrodinámica y el balance biogeoquímico de los estuarios tropicales [9], [10].

Aunque existen investigaciones sobre los efectos del ENOS en sistemas costeros, como el trabajo de Da Costa Silva [11] en Brasil, los estudios que abordan de forma directa la respuesta de estuarios tropicales al ENOS y en particular en Panamá siguen siendo escasos [12]. Durante la fase Niño del ENOS ocurrida en 2023–2024, se registraron condiciones anómalas de sequía, aumento de la temperatura superficial y reducción significativa de las precipitaciones en gran parte del territorio panameño [13], [14], [15], [16]. Estas perturbaciones climáticas pueden alterar los gradientes de salinidad, el balance hídrico del sistema, la disponibilidad de oxígeno disuelto (llevando al ecosistema a episodios de hipoxia), generando estrés hídrico y térmico sobre las comunidades biológicas que habitan estos ecosistemas. La comprensión de estas variaciones resulta fundamental para anticipar los posibles efectos sobre la resiliencia y el funcionamiento del sistema estuarino bajo escenarios de cambio climático global [17], [18].

En este contexto, este estudio tuvo como objetivo describir los efectos de la fase El Niño asociada al ENOS 2023–2024 sobre los parámetros hidrológicos del estuario del Río Salado, Bahía de Chame, costa Pacífica de Panamá. Se analizó la variabilidad estacional-anual de la precipitación, pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto (OD) durante tres temporadas lluviosas y dos épocas secas comprendidas entre 2023 y 2024, en cuatro sitios de muestreo distribuidos a lo largo del gradiente estuarino.

Este trabajo busca reducir la brecha científica sobre cómo los eventos climáticos extremos pueden modificar la dinámica hidrológica natural de los estuarios tropicales, afectando su funcionamiento y resiliencia. Además, los resultados proporcionan una línea base que podría ser utilizada en el desarrollo de modelos predictivos sobre los efectos de las distintas fases del ENOS (El Niño, La Niña y neutra) en los ecosistemas estuarinos de Panamá y posiblemente en otras zonas tropicales con condiciones similares.

2. MÉTODO

La selección de los puntos de muestreo está basada en estudios previos [19], [20], [21], para considerar datos consecutivos del área de estudio en temporada lluviosa y seca

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

desde el 2023-2024. El estuario del río Salado se dividió en 4 puntos: estuario alto (EA), estuario medio (EM), estuario bajo (EB) y Bahía de Chame (BC) (Figura 1) para la descripción espaciotemporal.

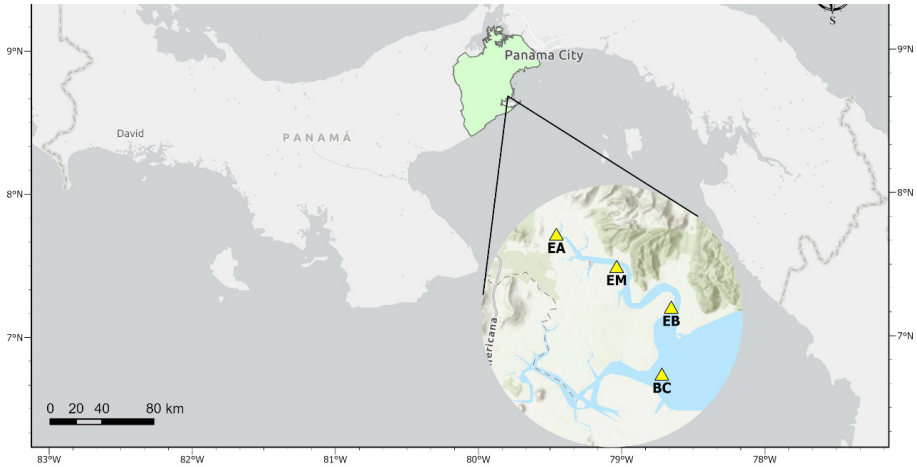


Figura 1. Sitios de muestreo en el estuario del río Salado, Bahía de Chame

El análisis se realizó combinando datos de precipitación satelital y mediciones in situ de parámetros fisicoquímicos, para evaluar la influencia del fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) 2023–2024 sobre la dinámica hidrológica del estuario del Río Salado–Bahía de Chame.

Se utilizaron imágenes satelitales del CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), las cuales poseen información de sensores remotos con registros locales. Este proporciona estimaciones de precipitación diaria con alta resolución espacial, la cual se consideró necesaria en vista de que la estación meteorológica más cercana al área de estudio está a más de 60 km de distancia. Para identificar las anomalías de precipitación asociadas al ENOS, se promediaron los valores diarios para obtener el valor promedio mensual y así comparar anualmente con el siguiente año.

Los muestreos se realizaron in situ mediante un total de cuatro campañas por temporadas, durante el periodo comprendido entre 2023 y 2024. En cada campaña se registraron los parámetros pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto (OD) utilizando una sonda multiparamétrica YSI ProQuatro.

Se graficaron las series temporales continuas para visualizar los cambios estacionales e interanuales tanto en la precipitación como en los parámetros fisicoquímicos. Los resultados se representaron mediante gráficas comparativas, las cuales permitieron relacionar el fenómeno climático, la estacionalidad con los parámetros estudiados.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

Dinámica hidrológica y fisicoquímica durante el 2023

Para las gráficas anuales de precipitación se considera ambas temporadas (Figura 2) por lo que se hizo distinción entre la temporada seca (sección sombrada de amarillo) y la temporada lluviosa (sección sombreada de celeste), en las cuales se observan las diferencias estacionales en la hidrología del estuario.

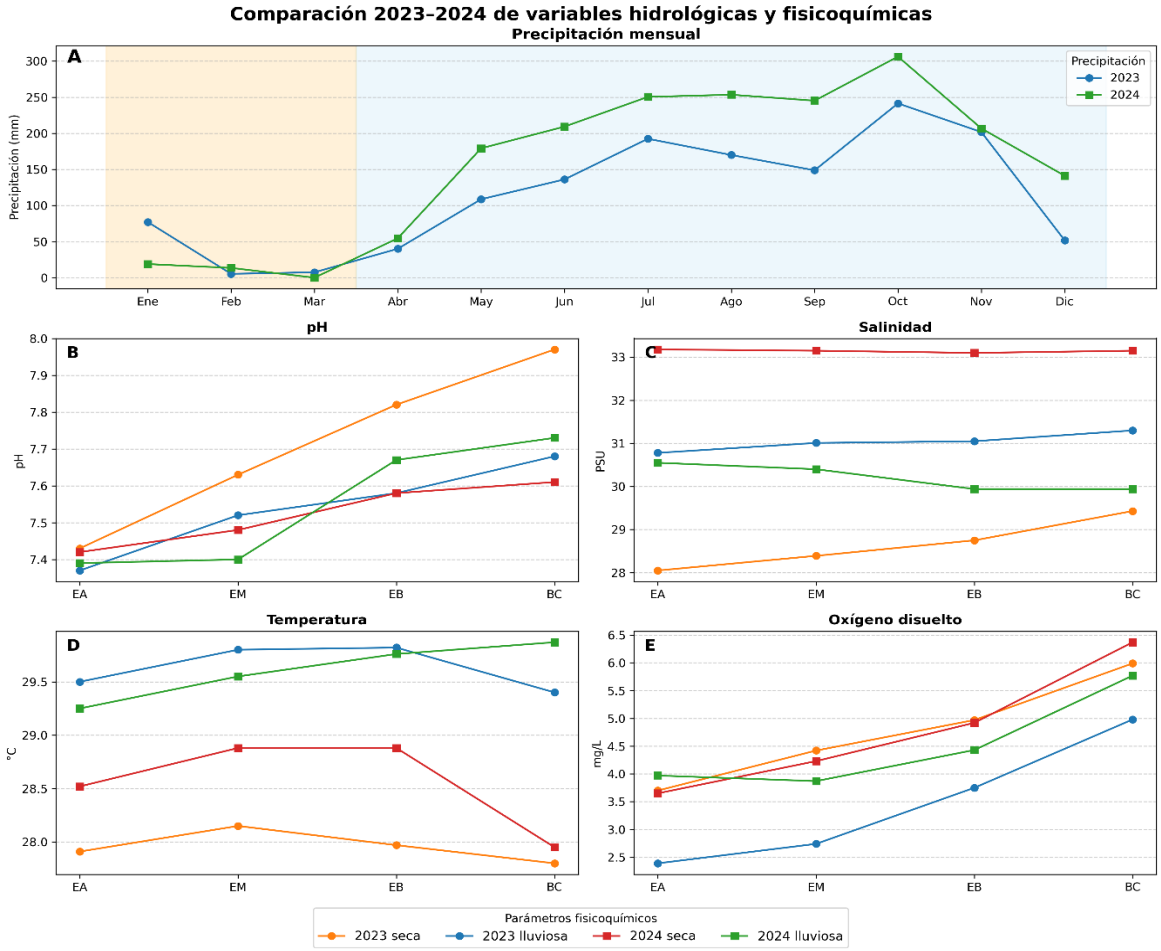


Figura 2. Variables hidrológicas y fisicoquímicas A) Precipitación, B) pH, C) Salinidad, D) Temperatura y E) Oxígeno disuelto.

En general, el comportamiento de la precipitación mantuvo el patrón estacional típico de la región del Pacífico panameño. Durante el 2023, bajo fase El Niño del fenómeno, la precipitación presentó una reducción [13] de aproximadamente del 30% en comparación al 2022 el cual fue clasificado como fase La Niña. Esta disminución de descarga fluvial altera el equilibrio del intercambio de aguas dulces y saladas, por lo que favorece la intrusión marina [1], [17]. En consecuencia, el pH mostró un incremento gradual desde la parte alta

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

hacia la bahía en las temporadas, con valores ligeramente más bajos durante la época seca del 2024 debido al escaso recambio de agua y la acumulación de CO_2 disuelto del 2023 [2], [22]. En la temporada lluviosa, los valores se mantuvieron similares anualmente. En cuanto a la salinidad, se observó un gradiente ascendente a lo largo del estuario en ambos años, con valores particularmente elevados durante 2024. Esto sugiere una mayor intrusión marina y menor dilución incluso durante la temporada lluviosa, posiblemente por el efecto residual de la sequía del año anterior y la constante intrusión de aguas oceánicas [20], patrón que coincide con lo reportado para otros estuarios del Pacífico panameño, como el Golfo de Montijo [23]. En 2023, la salinidad también aumentó, pero mostró mayor variabilidad espacial, especialmente en los sectores intermedios del estuario, donde la mezcla entre aguas dulces y saladas depende directamente de las descargas fluviales [1], [24]. La temperatura del agua se mantuvo relativamente estable en el periodo analizado, con valores más altos en la temporada seca debido a la radiación directa sobre un volumen de agua reducido. Durante la temporada lluviosa, la temperatura disminuyó levemente, influenciada por la recarga de agua dulce y la mezcla vertical. En 2024 se registraron valores ligeramente superiores a los de 2023, lo que puede asociarse al efecto acumulativo del calentamiento superficial producto de las condiciones prolongadas de El Niño [25].

El oxígeno disuelto (OD) mostró los contrastes más marcados entre estaciones y años. En 2023 se observaron los valores más bajos, especialmente en la parte alta del estuario durante la estación seca, con concentraciones que sugieren condiciones hipóxicas localizadas. Esta reducción puede asociarse a la baja renovación de agua, el aumento de temperatura y la descomposición de materia orgánica acumulada, tal como han descrito [18], [19]. En 2024, aunque los valores de OD siguieron siendo menores durante la estación seca, se evidenció una ligera recuperación durante la temporada lluviosa, alcanzando concentraciones superiores a 5 mg/L en la zona de la bahía, lo que indica que el sistema empezó a estabilizarse gradualmente conforme aumentó la precipitación.

En conjunto, los resultados demuestran que la variabilidad climática anual asociada al fenómeno ENOS afectó significativamente la dinámica hidrológica y fisicoquímica del estuario. La reducción de la precipitación durante el evento El Niño 2023–2024 alteró el balance hídrico, incrementó la salinidad y redujo la disponibilidad de oxígeno, generando condiciones de estrés hídrico y térmico para las comunidades biológicas [3], [7]. Aunque en 2024 se observó una leve recuperación en algunas variables, los efectos del déficit hídrico persistieron, evidenciando la vulnerabilidad del sistema ante perturbaciones climáticas de corta duración [8], [12].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

Se describió los efectos de la fase El Niño asociada al ENOS 2023–2024 sobre los parámetros hidrológicos del estuario del Río Salado, Bahía de Chame, costa Pacífica de Panamá. Durante el año 2023, bajo la influencia de una fase Niño fuerte, caracterizada por un inicio reducido de las lluvias, los parámetros fisicoquímicos del estuario mostraron una respuesta progresiva y relativamente estable frente a las condiciones climáticas. En cambio, en 2024, con la llegada de lluvias más intensas y tempranas, la respuesta del sistema fue más evidente: se observó un descenso en la salinidad, un incremento más rápido del pH y mayores concentraciones de oxígeno disuelto. Hacia finales de 2024 se declaró la entrada a una fase La Niña débil; sin embargo, durante 2025 el sistema climático se ha mantenido en una fase neutra, lo que podría explicar el aumento de las precipitaciones registrado a finales de 2024.

Estos resultados confirman que la precipitación no solo regula la estacionalidad hidrológica del estuario, sino que también influye en la mezcla de aguas, la intrusión marina y la dinámica biogeoquímica. Los fenómenos climáticos como el ENOS están ocurriendo con mayor frecuencia e intensidad debido a las alteraciones del sistema climático global, reflejando los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas tropicales. Por ello se destaca la importancia de estudiar la dinámica de los ecosistemas y así permita comprender los procesos de respuesta del estuario frente a eventos climáticos extremos y auxiliar el diseño de estrategias y acciones de manejo ambiental.

Referencias

[1] C. Medeiros and B. Kjerfve, “Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá, Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 36(5), 495–515 | 10.1006/ecss.1993.1030,” Estuarine, Coastal and Shelf Science , vol. 36, pp. 495–515, 1993, Accessed: May 13, 2025. [Online]. Available: https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1006/ecss.1993.1030

[2] S. Wu et al., “Characteristics of Sedimentary Organic Matter in Tidal Estuaries: A Case Study from the Minjiang River Estuary,” Water 2023, Vol. 15, Page 1682, vol. 15, no. 9, p. 1682, Apr. 2023, doi: 10.3390/W15091682.

[3] E. J. Douglas, A. M. Lohrer, and C. A. Pilditch, “Biodiversity breakpoints along stress gradients in estuaries and associated shifts in ecosystem interactions,” Sci Rep, vol. 9, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1038/S41598-019-54192-0.

[4] R. Kenneth, E. Reyes, and J. Dubravko, Estuarine Ecology, 3rd edition. Wiley, 2023.

[5] A. Engels, “Energy and Emission Control Technologies Anthropogenic climate change: how to understand the weak links between scientific evidence, public perception, and low-carbon practices,” 2016, doi: 10.2147/EECT.S63005.

[6] G. Hansen and D. Stone, “Assessing the observed impact of anthropogenic climate change,” Nat Clim Chang, vol. 6, no. 5, pp. 532–537, Apr. 2016, doi: 10.1038/NCLIMATE2896;TECHMETA=119;SUBJMETA=106,2739,674,694,704;KWRD=ATTRIBUTION,CLIMATE-CHANGE+IMPACTS.

[7] A. K. Priya et al., “Impact of climate change and anthropogenic activities on aquatic ecosystem – A review,” Environ Res, vol. 238, p. 117233, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.ENVRES.2023.117233.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[8] B. Talukder, N. Ganguli, R. Matthew, G. W. vanLoon, K. W. Hipel, and J. Orbinski, “Climate change-accelerated ocean biodiversity loss & associated planetary health impacts,” The Journal of Climate Change and Health, vol. 6, p. 100114, May 2022, doi: 10.1016/J.JOCLIM.2022.100114.
[9] W. Cai et al., “Changing El Niño–Southern Oscillation in a warming climate,” Nature Reviews Earth & Environment 2021 2:9, vol. 2, no. 9, pp. 628–644, Aug. 2021, doi: 10.1038/s43017-021-00199-z.
[10] G. E. Molina-Bolívar, M. L. Nava Ferrer, and I. A. Jiménez Pitre, “Water Physicochemical Variables In The Rancheria River Delta, La Guajira, Colombia,” Ciencia en Desarrollo, vol. 11, no. 1, pp. 21–32, 2020, doi: 10.19053/01217488.v11.n1.2020.6120.
[11] T. Raelly Da Costa Silva et al., “El Niño-Driven Changes in Zooplankton Community Structure in an Amazonian Tropical Estuarine Ecosystem (Taperaçu, Northern Brazil),” Coasts 2025, Vol. 5, Page 39, vol. 5, no. 4, p. 39, Oct. 2025, doi: 10.3390/COASTS5040039.
[12] E. Díaz-Ferguson et al., “Recomendaciones para la conservación de los estuarios y restauración de los manglares de Centroamérica y Sudamérica,” 2024, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: www.iai.int
[13] IMHPA, “Comportamiento de las lluvias en las cuencas hidrográficas en Panamá. Período: desde el año 2022 hasta agosto 2023,” Sep. 2023. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: https://www.imhpa.gob.pa/uploads/documentos/09Act_InformeElNino23.pdf
[14] S. Ruiz and C. Shintani, “Drought, Climate, and the Panama Canal - Woodwell Climate,” Woodwell Climate Research Center, Feb. 20, 2024. Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.woodwellclimate.org/drought-panama-canal-7-graphics/?utm_source=chatgpt.com
[15] The World Bank Group, “Climate Risk Country Profile: Panama,” 2024. Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: www.worldbank.org
[16] UNCCD, “Drought Hotspots Around the World 2023-2025,” United Nations Convention to Combat Desertification . Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.unccd.int/sites/default/files/2025-07/Drought%20Hotspots%202023-2025_ENG.pdf?
[17] D. Chilton et al., “Environmental Flow Requirements of Estuaries: Providing Resilience to Current and Future Climate and Direct Anthropogenic Changes,” Front Environ Sci, vol. 9, Nov. 2021, doi: 10.3389/FENVS.2021.764218/FULL.
[18] K. Waddington, A. Harrison, D. Rayner, T. Tucker, and W. Glamore, “Estuarine Hypoxia—Identifying High Risk Catchments Now and Under Future Climate Scenarios,” Water Resour Res, vol. 59, no. 9, Sep. 2023, doi:
[19] G. Martínez et al., “Calidad del agua y flujo de CO2 en el estuario del Río Salado, Bahía de Chame, Pacífico de Panamá,” Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC, pp. 210–217, 2023, doi: 10.33412/apanac.2023.3937.
[20] B. Rodriguez, J. Vasquez, Y. Gonzalez, A. A. Grey, G. Collado, and C. Vergara-Chen, “Nutrient distribution in a mangrove estuary in Bahia de Chame,” Proceedings - 2024 9th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2024, pp. 303–307, 2024, doi: 10.1109/IESTEC62784.2024.10820243.
[21] C. Vergara-Chen, A. Medina, G. Martinez, M. Quintero, G. Collado, and C. A. Vargas, “Exploring oxygen consumption of the bivalve Anadara tuberculosa under contrasting environmental conditions,” Proceedings - 2024 9th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2024, pp. 127–129, 2024, doi: 10.1109/IESTEC62784.2024.10820222.
[22] W. J. Cai et al., “Natural and Anthropogenic Drivers of Acidification in Large Estuaries,” Ann Rev Mar Sci, vol. 13, pp. 23–55, 2021, doi: 10.1146/annurev-marine-010419-011004.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[23] A. L. García, D. Araúz, E. Martínez, and J. Molino, “Environmental characterization of the estuarine zone of the Gulf of Montijo, province of Veraguas, Panama,” PLoS One, vol. 18, no. 6, p. e0283606, Jun. 2023, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0283606.
[24] Y. Cardona et al., “Influence of River Discharge and Tides on the Salinity Structure at the Magdalena River Estuary,” Estuaries and Coasts 2024 48:1, vol. 48, no. 1, pp. 23-, Nov. 2024, doi: 10.1007/S12237-024-01435-7.
[25] A. Timmermann et al., “El Niño–Southern Oscillation complexity,” Nature 2018 559:7715, vol. 559, no. 7715, pp. 535–545, Jul. 2018, doi: 10.1038/s41586-018-0252-6.

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Metodología estratégica para levantamientos geológicos extensivos: caso de estudio en la Región Central de Panamá

Solís M., Yinela Y.
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
yinela.solis@utp.ac.pa
0000-0003-4588-9061

Grajales-Saavedra, Francisco
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
francisco.grajales@utp.ac.pa
0000-0003-1705-864x

Martínez, Ernesto
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ernesto.martinez@utp.ac.pa
0000-0002-6108-9841

Quintero A., Maynor N.
Consultor independiente
Panamá, Panamá
maynorquintero2016@outlook.com
0009-0001-3718-2851

Rodríguez, Rita D.
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
rita.rodriguez1@utp.ac.pa
0000-0003-4097-6502

Abstract

This study presents an adaptive methodology for the planning and execution of extensive geological surveys in the Central Region of Panama, developed within the framework of the project Petrographic Description of Central Panama. The proposed approach

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

integrates Geographic Information Systems (GIS), satellite-based photointerpretation, and territorial segmentation using Thiessen polygons to optimize site selection and improve spatial coverage in areas characterized by lithological heterogeneity and variable accessibility. Preliminary sampling points were identified through a bibliographic review, base cartography and satellite imagery analysis, which enabled the refinement of an initial network of potential outcrops. The territorial segmentation derived from Thiessen polygons facilitated logistical organization into seven balanced sampling zones. During 21 effective days of fieldwork, a total of 208 sites distributed across 27 districts were documented, and 229 rock samples were collected following a standardized protocol that included structural measurements, macroscopic lithological descriptions, and photographic documentation. The results demonstrate that GIS-based pre-field planning enhances operational efficiency and improves lithological representativeness, providing a viable alternative for surveys in regions with limited accessibility or outdated geological cartography. The methodology is reproducible, cost-effective, and applicable to academic, institutional, and research contexts, contributing to the development of future geological characterization initiatives in Panama.

Keywords: Geological mapping, photointerpretation, geological sampling, field planning, Thiessen polygons.

Resumen

Este estudio presenta una metodología adaptativa para la planificación y ejecución de levantamientos geológicos extensivos en la Región Central de Panamá, desarrollada en el marco del proyecto Descripción Petrográfica de la Región Central de Panamá. La propuesta integra herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), fotointerpretación satelital y segmentación territorial mediante polígonos de Thiessen con el objetivo de optimizar la selección de sitios de muestreo y mejorar la cobertura espacial en áreas con heterogeneidad litológica y variabilidad en accesibilidad. La identificación preliminar de puntos se realizó mediante revisión bibliográfica, cartografía base y análisis de imágenes satelitales, lo que permitió depurar una red inicial de afloramientos potenciales. La segmentación territorial derivada de los polígonos de Thiessen facilitó la organización logística en siete zonas de muestreo equilibradas. Durante 21 días efectivos de campaña se documentaron 208 sitios distribuidos en 27 distritos y se recolectaron 229 muestras de roca, siguiendo un protocolo estandarizado que incluyó registro estructural, descripción macroscópica y documentación fotográfica. Los resultados demuestran que la planificación previa basada en SIG mejora la eficiencia operativa y la representatividad litológica, constituyendo una alternativa viable para estudios en regiones con accesibilidad limitada o cartografía desactualizada. La metodología propuesta es reproducible, de bajo costo relativo y aplicable en contextos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

académicos, institucionales y de investigación, contribuyendo al fortalecimiento de futuras iniciativas de caracterización geológica en Panamá.

Palabras claves: Cartografía geológica, fotointerpretación, muestreo geológico, planificación de campo, Polígonos de Thiessen.

1. INTRODUCCIÓN

El levantamiento geológico constituye una etapa fundamental para la caracterización litológica y estructural de un territorio, especialmente en regiones donde la diversidad litológica, la complejidad morfológica y la distribución irregular de afloramientos dificultan la obtención de datos representativos[1]. A nivel internacional los métodos como las mallas regulares o cuadrangulares han sido ampliamente utilizados por su simplicidad operativa. Sin embargo, múltiples autores han señalado sus limitaciones en zonas con accesibilidad variable, fuerte cobertura vegetal o ausencia de una red vial densa, factores que introducen sesgos espaciales y reducen la eficiencia del trabajo de campo[2].

En las últimas dos décadas, el uso de herramientas digitales y la integración de Sistemas de Información geográfica (SIG) han permitido el desarrollo de metodologías de planificación más precisas y adaptativas[3]. La fotointerpretación satelital, la segmentación espacial mediante algoritmos geométricos y la integración de rutas óptimas han mejorado la capacidad de seleccionar sitios con potencial geológico antes de las campañas de campo, optimizando tiempo, recursos y cobertura litológica[3]. No obstante, estos enfoques siguen siendo poco documentados en la literatura latinoamericana y son escasamente aplicados en estudios regionales.

En Panamá, la ejecución de levantamientos geológicos extensivos presenta desafíos particulares. La cartografía geológica disponible es limitada en resolución y, en muchos casos, carece de actualizaciones recientes[4]. Asimismo, no existen protocolos estandarizados, ni guías metodológicas ampliamente difundidas para la planificación de muestras a gran escala, lo que afecta la consistencia de los estudios académicos y profesionales. Esta ausencia metodológica limita la construcción de bases de datos modernas, la planificación territorial, la enseñanza universitaria y la valorización del patrimonio geológico del país.

Frente a este vacío, se vuelve necesario proponer un enforque metodológico que permita la selección racional y eficiente de puntos de muestreo, incorporando criterios litológicos, accesibilidad en campo y segmentación espacial adaptativa. Los SIG, combinados con herramientas de observación remota como Google Earth y Google Maps, ofrecen una oportunidad para estructurar una planificación digital previa al muestreo, minimizando sesgos y permitiendo ampliar la cobertura geográfica en zonas extensas o de difícil acceso[1].

El presente estudio, desarrollado en el marco del proyecto descripción Petrográfica de la

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Región Central de Panamá, propone una metodología integral para la planificación y ejecución de levantamientos geológicos extensivos. El objetivo es diseñar y evaluar un sistema de muestreo adaptativo basado en herramientas SIG, fotointerpretación y segmentación territorial mediante Polígonos de Thiessen, con el fin de optimizar la selección de sitios, maximizar la representatividad litológica y generar una base metodológica reproducible que pueda fortalecer futuras investigaciones geológicas, geotécnicas, ambientales y geoturísticas en Panamá.

2. MÉTODO

A. Selección preliminar de los puntos de muestreo

La identificación inicial de sitios potenciales se realizó mediante una revisión bibliográfica que recopiló antecedentes geológicos del área de estudio, unidades litológicas previamente descritas y afloramientos documentados en estudios académicos e institucionales[4]. A partir de esta información se estableció una primera propuesta de puntos distribuidos de manera irregular, en concordancia con la heterogeneidad litológica del área de estudio. Posteriormente, se complementó esta red preliminar con sitios identificados a través de marcadores geográficos y puntos turísticos registrados por usuarios en Google Maps, considerados útiles para inferir accesibilidad y la posible presencia de afloramientos. Cada punto se evaluó posteriormente mediante fotointerpretación en Google Earth, analizando patrones de exposición rocosa, rasgos geomorfológicos, texturas superficiales y características del relieve. Con base en esta evaluación se seleccionaron los puntos que presentaban afloramientos visibles, acceso viable mediante caminos principales o secundarios y relevancia litológica estimada. Se excluyeron aquellos ubicados en propiedades privadas sin permiso, en áreas con riesgos geológicos significativos, en zonas con afloramientos artificiales o en localidades repetitivas sin aporte litológico adicional. El resultado fue un conjunto depurado de puntos preliminares aptos para su incorporación en la planificación del levantamiento geológico.

B. Segmentación territorial mediante Polígonos de Thiessen

Una vez definida la red preliminar de puntos, el área de estudio se segmentó utilizando el método de Polígonos de Thiessen, que genera áreas de influencia equidistantes alrededor de cada punto. Esta técnica permitió dividir el territorio en zonas objetivas y continuas, evitando delimitaciones basadas en criterios subjetivos o de conveniencia operativa. El proceso dio como resultado siete zonas de muestreo de dimensiones equilibradas, cada una planificada para cubrirse en un periodo aproximado de tres días de trabajo en campo. Esta segmentación territorial facilitó la organización logística, redujo desplazamientos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

innecesarios y permitió una cobertura, más homogénea en regiones con variaciones topográficas y diferencias en accesibilidad.

C. Planificación logística y mapas de apoyo

Con la segmentación territorial establecida, se generaron mapas temáticos utilizando la versión de ArcGIS Pro 3.4.3, integrando la cartografía geológica disponible, la red hidrográfica, las vías de acceso principales y secundarias, las curvas de nivel y el sombreado del terreno. Esta información permitió visualizar con precisión las características morfológicas del área y anticipar las condiciones de accesibilidad. Las rutas hacia los sitios de muestreo se planificaron digitalmente mediante Google Maps, priorizando trayectos seguros, continuos y eficientes dentro de cada zona. Todos los mapas y rutas se exportaron a dispositivos móviles y cuadernos de campo digitales, lo que facilitó su consulta durante las actividades en terreno y mejoró la capacidad de adaptación ante cambios en las condiciones del entorno[2], [5].

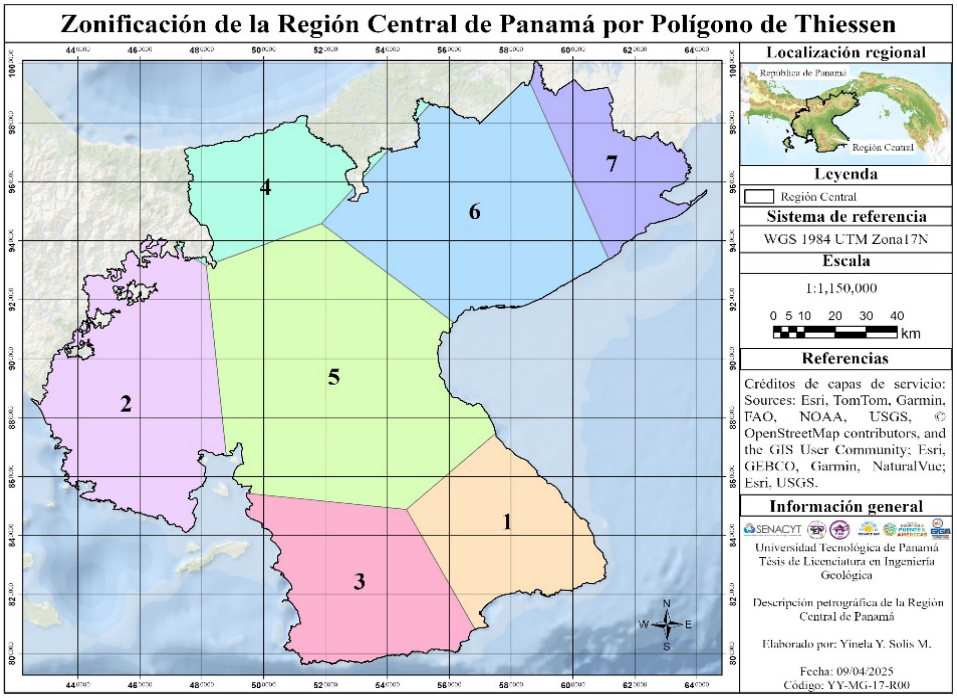


Figura 1. Ejemplo del formato cartográfico utilizado para la elaboración de los mapas temáticos y operativos empleados durante la planificación del levantamiento geológico. La figura ilustra el estilo de representación, simbología y elementos base (localización regional, escala, sistema de referencia y leyenda) incluidos en los mapas generados en ArcGIS Pro.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

D. Protocolo de muestreo en campo

Las campañas se llevaron a cabo en estación seca, siguiendo un protocolo estandarizado en cada punto de muestreo. En cada sitio se registraron las coordenadas geográficas con una precisión inferior a 5m, se realizó documentación fotográfica del afloramiento y su entorno geomorfológico, y se efectuaron descripciones macroscópicas de las litologías, texturas y estructurales presentes. Asimismo, se registraron datos estructurales básicos como rumbo y buzamiento, junto con observaciones sobre la meteorización y la calidad de exposición. Cada muestra recolectada se identificó mediante un código único, almacenada adecuadamente y registrada en la libreta de campo. El equipo utilizado incluyó martillo geológico, brújula brunton, GPS, cinta métrica, bolsas resistentes, zunchos, cinta masking tape y cuadernos de campo, asegurando un procedimiento sistemático y reproducible.

E. Flujo metodológico general

El Proceso metodológico siguió una secuencia estructurada que comenzó con la revisión bibliográfica y cartográfica, continuó con la selección preliminar de punto mediante fotointerpretación, y avanzo hacia la segmentación territorial mediante polígonos de Thiessen para delimitar zonas de muestreo. Posteriormente, se desarrolló la planificación logística mediante mapas temáticos y rutas optimizadas, para finalmente ejecutar el trabajo de campo siguiendo un protocolo estandarizado de documentación y recolección de muestras. Esta secuencia permitió integrar eficazmente análisis digitales y trabajo de campo adaptativo, garantizando una cobertura eficiente y representativa del área de estudio.

3. RESULTADOS

El levantamiento geológico realizado en la Región Central de Panamá permitió documentar un total de 208 sitios de muestreo distribuidos en 27 de los 36 distritos que conforman el área de estudio. La cobertura espacial abarcó zonas con variada accesibilidad, desde áreas cercanas a vías principales hasta sectores rurales con redes viales secundarias. La aplicación del esquema de segmentación territorial generó siete zonas operativas, lo que facilitó una distribución equilibrada del esfuerzo de muestreo. Las zonas de mayor densidad de puntos coincidieron con áreas donde las condiciones topográficas, la exposición de roca y la accesibilidad favorecieron la identificación de afloramientos. El uso continuo de herramientas SIG permitió mantener un registro preciso de la localización de cada sitio, con exactitud inferior 5 m en las coordenadas capturadas durante las campañas.

Las campañas se desarrollan durante 21 días efectivos, con un promedio de diez puntos de muestreo por día. Esta tasa de productividad se mantuvo relativamente constante en las siete zonas planificadas, pese a la variabilidad en las condiciones de accesibilidad y exposición. En cada sitio se completó el protocolo de registro fotográfico, descripción macroscópica y

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

levantamiento estructural básico. La logística preestablecida permitió minimizar tiempos de desplazamiento y maximizar la permanencia en los sitios de muestreo, lo que contribuyó al cumplimiento del itinerario previsto para cada zona. La planificación previa de rutas y la disponibilidad de mapas temáticos facilitaron la adaptación del recorrido diario ante cambios e el clima, condiciones del terreno o restricciones de acceso inesperadas.

En total se recolectaron 229 muestras de roca representativas de las principales unidades litológicas en el área de estudio. Las muestras incluyeron litologías ígneas, sedimentarias, volcanosedimentarias y metamórficas distribuidas de forma heterogénea en el territorio. En algunos sectores, especialmente en áreas de topografía más abrupta, la exposición rocosa permitió la descripción de estructuras mesoscópicas, mientras que en zonas de baja exposición se optó por el registro de rasgos macroscópicos y la toma de muestras de mano. La calidad de las exposiciones varió entre sitios, pero el protocolo permitió obtener descripciones confiables incluso en afloramientos parcialmente cubiertos por vegetación o depósitos superficiales.

Se recorrieron 208 sitios de muestreo que se documentaron mediante registro fotográfico orientado a capturar tanto el afloramiento como su entorno geomorfológico inmediato. Además, se obtuvieron datos estructurales básicos, entre ellos medidas de rumbo y buzamiento cuando la morfología del afloramiento lo permitía. Esta información complementaria permitió generar un archivo descriptivo consistente para cada localización, listo para su integración posterior con los análisis petrográficos y las representaciones cartográficas del proyecto.

La planificación digital previa se reflejó en la congruencia entre los puntos preliminares seleccionados mediante fotointerpretación y los sitios que finalmente pudieron visitarse y muestrearse. El 87% de los puntos preseleccionados se validaron como afloramientos aptos durante el trabajo de campo, mientras que el resto fue descartado por condiciones de accesibilidad y restricciones de propiedad. La concordancia entre la planificación SIG y la ejecución en terreno permitió mantener una cobertura equilibrada en zonas con variabilidad litológica y topográfica.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de una metodología adaptativa para el levantamiento geológico extensivo en la Región Central de Panamá permitió establecer un procedimiento reproducible y eficiente para la planificación y ejecución de campañas de muestreo. La integración de herramientas SIG, fotointerpretación satelital y segmentación territorial mediante polígonos de Thiessen constituyó un enfoque coherente para optimizar la selección de sitios y mejorar la cobertura espacial en áreas como heterogeneidad litológica y variabilidad en accesibilidad.

El protocolo aplicado en campo demostró ser operativo en regiones extensas y diversas, al

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

permitir una documentación sistemática de los afloramientos y la recolección de muestras representativas en un periodo de tiempo reducido. La coherencia entre la planificación digital y la validación en campo mostró que las técnicas empleadas son replicables, de bajo costo relativo y adecuadas para proyectos académicos y profesionales.

Los resultados obtenidos evidencian el potencial de este enfoque para fortalecer futuras iniciativas de investigación geológica y para contribuir al desarrollo de lineamientos metodológicos aplicables en Panamá. Se recomienda su incorporación en procesos de formación universitaria, en la actualización de protocolos institucionales y en la planificación de estudios geocientíficos orientados a la caracterización litológica, el ordenamiento territorial y el desarrollo del geoturismo.

Referencias

[1] K. J. W. McCaffrey et al., “Unlocking the spatial dimension: Digital technologies and the future of geoscience fieldwork,” J Geol Soc London, vol. 162, no. 6, pp. 927–938, Nov. 2005, doi: 10.1144/0016-764905-017.

[2] M. del P. Villalta Echeverría and A. G. Viña Ortega, “Diseño de una metodología de análisis de recursos digitales para planificación de actividades de levantamiento geológico,” 2020, Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/50432

[3] J. C. Otto, G. Prasicek, J. Blöthe, and L. Schrott, “GIS Applications in Geomorphology,” Comprehensive Geographic Information Systems, vol. 3, pp. 81–111, Jul. 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10029-6.

[4] Y. Y. S. M., R. D. Rodríguez, E. Gutierréz, F. Grajales-Saavedra, and E. Martínez, “Historia de los estudios petrográficos de la Región Central de Panamá: una revisión literaria,” Revista de Iniciación Científica, vol. 11, no. 1, pp. 75–81, Jan. 2025, doi: 10.33412/REV-RIC.V11.1.4127.

[5] S. J. Whitmeyer, E. J. Pyle, T. L. Pavlis, W. Swanger, and L. Roberts, “Modern approaches to field data collection and mapping: Digital methods, crowdsourcing, and the future of statistical analyses,” J Struct Geol, vol. 125, pp. 29–40, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.JSG.2018.06.023.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Sistema de información geográfica como peritaje en los delitos de vertidos de sustancias tóxicas en áreas protegidas

MACIAS, MADELAINE
Universidad Metropolitana De Educación, Ciencia Y Tecnología
Panamá Oeste, Panamá
Código ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6220-0707

UREÑA, KIMBERLY
Universidad Metropolitana De Educación, Ciencia Y Tecnología
Panamá Oeste, Panamá
Código ORCID: https://orcid.org/0009-0007-7608-9805

Abstract

The incorporation of Geographic Information Systems (GIS) as an expert tool in criminal proceedings for environmental crimes, specifically for the dumping of toxic substances in protected areas, is analyzed in accordance with Article 399 of the Panamanian Criminal Code. The study focuses on the landfill in the district of Chame, where damage to mangroves and natural resources has been identified, highlighting the need for technical means to document environmental damage. The objective is to evaluate the usefulness of GIS as an expert tool and propose its incorporation into the Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences in order to strengthen criminal investigations. The methodology used was a mixed approach, based on document review, technical analysis of GIS platforms, use of remote sensors, and surveys of the area's population. The results show that GIS allows for comparison of the state of the area before and after contamination using georeferenced maps and dispersion models. The surveys reflect the environmental impacts. In conclusion, the implementation of GIS would strengthen technical evidence in environmental crimes and improve expert services in Panama.

Keywords: Environment, crime, expertise, toxic substances, investigations.

Resumen

Se analiza la incorporación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta pericial en los procesos penales por delitos ambientales, específicamente por vertido de sustancias tóxicas en áreas protegidas, conforme al artículo 399 del Código

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Penal panameño. El estudio se centra en el vertedero del distrito de Chame, donde se han identificado afectaciones al manglar y a los recursos naturales, lo que evidencia la necesidad de medios técnicos para documentar el daño ambiental. El objetivo es evaluar la utilidad de los SIG como peritaje y proponer su incorporación al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, con el fin de fortalecer las investigaciones penales. La metodología empleada fue de enfoque mixto, basada en revisión documental, análisis técnico de plataformas SIG, uso de sensores remotos y encuestas a la población del área. Los resultados muestran que los SIG permiten comparar el estado del área antes y después de la contaminación mediante mapas georreferenciados y modelos de dispersión. Las encuestas reflejan las afectaciones ambientales. En conclusión, la implementación de los SIG fortalecería la prueba técnica en los delitos ambientales y mejoraría los servicios periciales en Panamá.

Palabras claves: Ambiente, delito, pericial, tóxicos, investigaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación tiene como finalidad analizar la utilidad del Sistema de Información Geográfica (SIG) como peritaje en la investigación de delitos ambientales por vertido de sustancias tóxicas en áreas protegidas, específicamente en el manglar del distrito de Chame, donde anteriormente operaba un vertedero. El uso de los SIG permite una visualización precisa del daño ambiental, facilitando la comprobación de las conductas delictivas y la vinculación de personas naturales o jurídicas en los procesos penales.

Estas herramientas, junto con sensores y análisis geoespacial, contribuyen al monitoreo responsable de los recursos naturales y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente los ODS 13 y 15. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas que permiten recopilar, analizar y visualizar datos georreferenciados para comprender fenómenos que ocurren en el territorio. Su capacidad para integrar información espacial los convierte en instrumentos fundamentales para la gestión ambiental, especialmente en la detección, monitoreo y prevención de vertidos tóxicos que afectan la biodiversidad y los recursos hídricos en áreas protegidas. La incorporación de la teledetección, mediante imágenes satelitales y drones, ha fortalecido la vigilancia ambiental al facilitar la identificación de cambios físicos, químicos y térmicos en suelos y cuerpos de agua.

Un SIG se compone de hardware, software, datos geográficos y personal especializado, y puede operar desde niveles básicos de elaboración de mapas hasta sistemas avanzados de apoyo a la toma de decisiones que permiten modelar escenarios ambientales. En el ámbito medioambiental, los SIG son esenciales para la gestión sostenible de recursos como el agua, los bosques y la biodiversidad, así como para el seguimiento de especies y la conservación

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de hábitats en zonas protegidas.

En Panamá, los SIG son utilizados por diversas instituciones públicas para el monitoreo ambiental, la planificación urbana, la cartografía oficial y la gestión de recursos hídricos. Su desarrollo combina software libre y propietario, el uso de imágenes satelitales y drones, y la integración de bases de datos espaciales. Estos sistemas permiten detectar anomalías, generar alertas tempranas y servir de apoyo técnico en la toma de decisiones y en procesos legales relacionados con delitos ambientales.

Estudios de la Universidad de Panamá, la Organización Panamericana de la Salud y el Ministerio de Ambiente evidencian altos niveles de contaminación, presencia de metales pesados y deterioro progresivo del ecosistema en la zona.

Pese a que el área se encuentra protegida por la Resolución AG-0364 de 2009, la falta de vigilancia constante y de pruebas técnicas efectivas ha dificultado la sanción de los responsables. En este contexto, los SIG se presentan como una herramienta clave para detectar, documentar y judicializar los daños ambientales de manera objetiva y oportuna.

2. MÉTODO

La investigación se desarrolló bajo un método mixto (cuantitativo y cualitativo) basado en la revisión de fuentes científicas, normativas ambientales y estudios de caso nacionales relacionados con la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la detección de vertidos tóxicos en áreas protegidas. Se efectúo diferentes etapas para lograr los objetivos de la investigación.

1. Recolección de datos secundarios provenientes de artículos científicos, informes institucionales, plataformas satelitales y normativa panameña vigente.
2. Análisis teórico-técnico sobre la estructura y funcionamiento de los SIG en Panamá.
3. Revisión de casos aplicados como el sistema de monitoreo de la Bahía de Chame.
4. Identificación de componentes técnicos clave: sensores remotos, plataformas SIG (QGIS, ArcGIS), drones, bases de datos espaciales y modelos de dispersión.Evaluación de la utilidad probatoria del SIG dentro del marco penal panameño (artículos 399 del Código Penal).
5. Se trabajó con una población directa específicamente en el área de Chame.

3. RESULTADOS

Los SIG no son la prueba en sí misma, pero sí son herramientas técnicas esenciales que producen evidencia pericial robusta. El sistema produce datos como mapas georreferenciados que indican el sitio preciso del derrame, modelos de dispersión de contaminantes, estudios satelitales del perjuicio y series de tiempo del suceso, puede ser incorporada en un informe pericial y presentada ante un tribunal.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

La encuesta realizada a la población cercana al vertedero de Chame en su mayoría coincide que puede percibir afectaciones en el agua, fauna cercana a este; además tienen conocimiento sobre las denuncias que se han interpuesto por el vertido de sustancias tóxicas en el área. Sin embargo, respecto a los SIG, muy pocas personas conocen la existencia de los mismos. El uso de esta tecnología hará más fácil para los fiscales sustentar imputaciones formales de cargos y respaldar medidas cautelares, sirviendo como evidencia técnica clave en juicios orales.

Se propone la implementación formal de los SIG en el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses (IMELCF), mediante la creación de un departamento especializado para el análisis geoespacial, que sea responsable de elaborar los informes periciales.

Figura 1. número de denuncias por delitos ambientales de enero a julio de 2025.

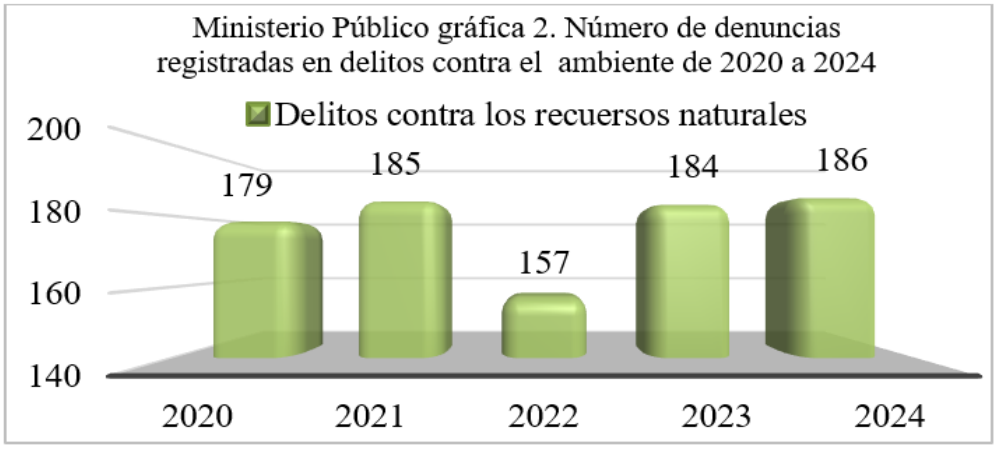
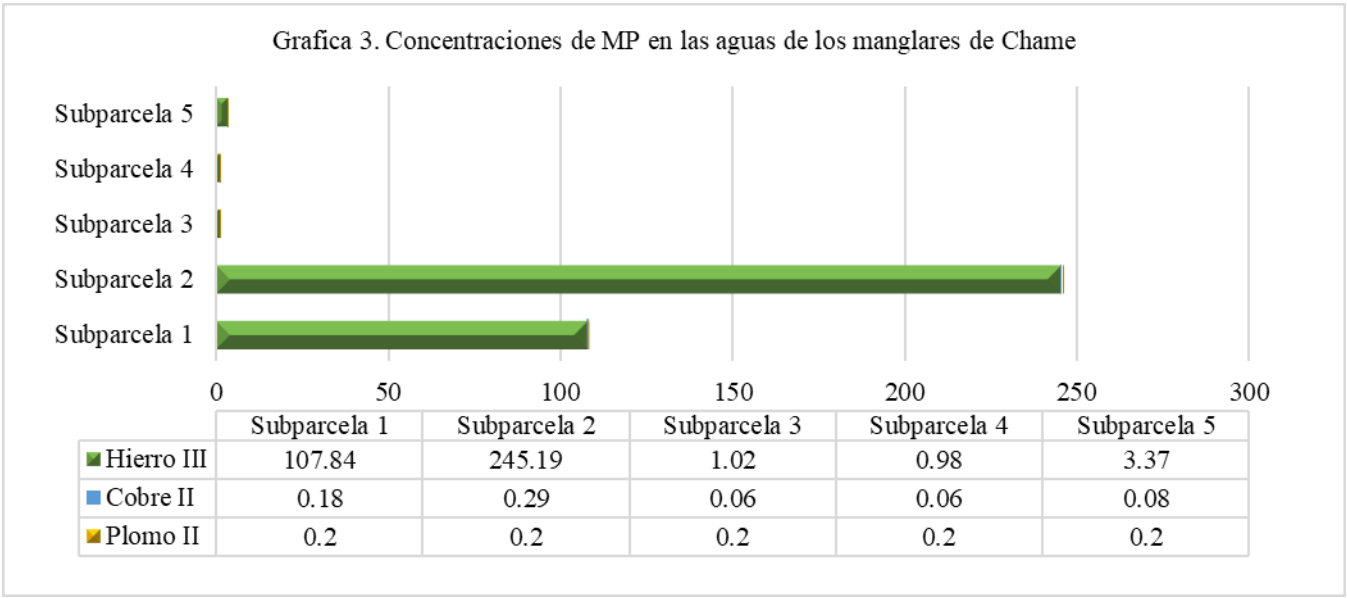


Figura 2. concentración de metales pesados en el agua del vertedero de chame



	Subparcela 1	Subparcela 2	Subparcela 3	Subparcela 4	Subparcela 5
Hierro III	107.84	245.19	1.02	0.98	3.37
Cobre II	0.18	0.29	0.06	0.06	0.08
Plomo II	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Se encuestaron a 31 personas de la comunidad cercana al vertedero de Chame.

Tabla 1. Resultados de la población encuestada de Chame cercana al vertedero.

Preguntas	Respuestas		
¿Conoce que son los vertidos tóxicos?	SI 26 (83.9%)	NO 5(16.1%)	
¿Conoce qué son los delitos Ambientales?	SI 28 (90.3%)	NO 3 (9.7%)	
¿Sabe usted que son los Sistemas de Información Geográfica?	SI 6 (19.4%)	NO 25 (80.6%)	
¿Cómo describiría el impacto del vertedero en su vida diaria?	Ninguno 9 (29%)	Poco 16 (51.6%)	Mucho 6 (19.4%)
¿Considera que la presencia del vertedero ha afectado la calidad del aire o el olor en su comunidad?	Si, mucho 11 (35.5%)	Si, poco 19(61.3%)	NO 1 (3.2%)
¿Cree que el vertedero ha tenido un impacto en la fauna o el medio ambiente local?	SI 25 (80.6%)	NO 0 (0%)	No lo se 6 (19.4%)

4. CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de investigación geográfica inteligente para la detección, monitoreo y análisis de vertidos tóxicos en áreas protegidas de Panamá representa una herramienta fundamental para fortalecer la vigilancia ambiental. Los resultados confirman que los SIG no sustituyen la prueba pericial tradicional, sino que la complementan y refuerzan, al proporcionar evidencia técnica objetiva, verificable y comprensible para los operadores de justicia. Los mapas georreferenciados, modelos de dispersión de contaminantes y análisis espaciales producidos por estos sistemas facilitan la labor de fiscales y jueces al momento de sustentar imputaciones, medidas cautelares y decisiones judiciales en el marco del artículo 399 del Código Penal panameño. Asimismo, se constató que, aunque la población local percibe claramente las afectaciones ambientales derivadas de los vertidos tóxicos, existe un bajo nivel de conocimiento sobre el uso de los SIG, lo que resalta la necesidad de fortalecer la divulgación y capacitación en estas tecnologías.

A lo largo del estudio, se comprobó la viabilidad de integrar tecnologías avanzadas como sensores remotos, drones, estaciones ambientales y plataformas SIG, QGIS, ArcGIS, para obtener datos precisos y en tiempo real sobre la calidad del suelo y cuerpos de agua, especialmente en zonas vulnerables como la bahía de Chame. El sistema tiene la capacidad de detectar cambios químicos y físicos en los ecosistemas, identificar fuentes potenciales de contaminación y activar alertas automáticas, lo que permite una respuesta temprana y eficaz ante emergencias ambientales, no solo en la jurisdicción administrativa sino también

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

en la penal. El Directorio e Servicios Periciales del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses no tiene este peritaje para la investigación de delito ambiental, comprobando con esta investigación la necesidad de implementar el mismo, además la creación de este departamento especializado en análisis geoespacial permitiría optimizar la recolección y presentación de pruebas técnicas, contribuir a una respuesta más oportuna frente a los delitos ambientales y reforzar el compromiso del Estado panameño con la protección del ambiente, la sostenibilidad de los recursos naturales y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Referencias

[1] Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford University Press.
[2] Arcgis.com. [online] https://www.arcgis.com/home/index.html
[3] Spatial without Compromise. [online] https://qgis.org/
[4] Darracott, M. (2022, mayo 16). How GIS can help in managing the environment. MGISS. [online] https://mgiss.co.uk/managing-the-environment/
[5] Google Earth Engine [online]https://www.google.com/intl/es-419_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/
[6] Explore Copernicus satellite missions. [Online]. https://sentinels.copernicus.eu/
[7] CATHALAC. (2007). Diagnóstico del estado actual de los manglares, su manejo y su relación con la pesquería en Panamá.Autoridad de los recursos acuáticos de Panamá. Panamá: CATHALAC.
[8] JP. (2016, febrero 2). Nuevo sistema inteligente para la etección de vertidos tóxicos en el mar. Campus de Gandia Ciencia; Campus de Gandia de la Universitat Politècnica de València [online] UPV. https://cienciagandia.webs.upv.es/2016/02/nuevo-sistema-inteligente-para-la-deteccion-de-vertidos-toxicos-en-el-mar/
[9] Medioambiente, E. (2020, junio 29). Los Sistema de Información geográficos en la Evaluación de Impacto ambiental. Emberiza Medioambiente. [online] https://www.emberizamedioambiente.es/noticia-medio-ambiente/los-sistema-de-informacion-geograficos-en-la-evaluacion-de-impacto-ambiental
[10] Rodríguez, E. L. (2024, noviembre 7). Los SIG y la gestión del Medio Ambiente. Geoinnova; GEOINNOVA SL. [online]https://geoinnova.org/blog-territorio/los-sig-aplicados-al-medio-ambiente/
[11] MiAMBIENTE. (2024). Establecerán plan de manejo para evitar la contaminación de los manglares de la Bahía de Chame. [online]https://miambiente.gob.pa/estableceran-plan-de-manejo-para-evitar-la-contaminacion-de-los-manglares-de-la-bahia-de-chame
[12] Agustín Jiménez Riley. (2021). Bacterias resistentes a metales pesados, aisladas en aguas de los manglares Chame, Panamá.
[13] Universidad de Panamá – Facultad de Ciencias Naturales. [13] Gob.pa. [En línea]. Disponible en: https://ministeriopublico.gob.pa/wp-content/uploads/Informe-Estadistico-Delitos-Ambientales-Junio-2025.pdf. [Consultado: 19-ago-2025].
[14] “Delitos Ambientales - Procuraduria General de la Nación”, Procuraduria General de la Nación, 16-mar-2017. [En línea]. Disponible en: https://ministeriopublico.gob.pa/estadisticas-judiciales/delitos-ambientales/. [Consultado: 19-ago-2025].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Formulación de Protectores Solares, Validación de su Metodología Analítica y Determinación del Factor de Protección Solar (FPS)

Gómez, Militza
Universidad de Panamá
Panamá, Panamá
militza.gomez@up.ac.pa

González, Alejandra
Universidad de Panamá
Panamá, Panamá
alejandra.gonzalez-v@up.ac.pa

Taymes, Ixis
Universidad de Panamá
Panamá, Panamá
ixis.taymes@up.ac.pa

De Noriega, Yariela
Universidad de Panamá
Panamá, Panamá
yariela.denoriega@up.ac.pa

ABSTRACT

UV radiation damages the skin, making SPF essential. This study evaluated the SPF of sunscreens in Panama using the Mansur method. The zinc oxide formulation performed poorly, while the octocrylene one performed well. Commercial products showed lower in vitro SPF than labeled. The method proved precise and reliable, highlighting the need for stronger standardized testing.

Keywords: sun protection, ultraviolet radiation, sun protection factor, UV spectrophotometry, cosmetic formulations.

RESUMEN

La radiación UV causa daños en la piel, por lo que el FPS es fundamental. El estudio evaluó el FPS de protectores solares en Panamá usando el método de Mansur. La formulación

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

con óxido de zinc tuvo bajo rendimiento y la de octocrileno mostró buenos resultados. Los productos comerciales presentaron FPS in vitro menor al declarado. El método mostró buena precisión y fiabilidad, resaltando la necesidad de pruebas más estandarizadas.

Palabras claves: protección solar, radiación ultravioleta, factor de protección solar, espectrofotometría UV, formulaciones cosméticas.

1. INTRODUCCIÓN

En Panamá, el Instituto de Meteorología e Hidrología (2024) ha emitido alertas por altos niveles de radiación UV-B, lo que aumenta el riesgo de daños en la piel y resalta la importancia del uso de protectores solares. En este contexto, el proyecto evalúa el Factor de Protección Solar (FPS) de productos comercializados en el país y de una formulación elaborada con octocrileno, además de una formulación de prueba con óxido de zinc. El estudio utiliza el método espectrofotométrico de Mansur y realiza una verificación analítica del procedimiento linealidad, exactitud, precisión y especificidad junto con un inventario de los protectores solares disponibles en el mercado panameño.

2. MÉTODO

A. FORMULACIÓN DE PROTECTORES SOLARES

Se desarrolló una formulación de protector solar en la Facultad de Farmacia, tomando como referencia investigaciones previas sobre filtros solares (Morales, 2018; Mori y Wang, 2020). Primero se elaboró una formulación de prueba con óxido de zinc y luego la formulación definitiva con octocrileno, la cual incluyó de manera general emulsionantes, tensioactivos, ceras, aceite, un gel y agua destilada. Ambas preparaciones se realizaron mediante emulsificación en caliente, con ajuste de pH entre 4.7 y 5.7, empleando excipientes comunes, equipos básicos de laboratorio y un placebo como referencia comparativa.

B. MÉTODO ANALÍTICO EN FASE DE VERIFICACIÓN

Se realizó una fase de verificación del método analítico para la cuantificación de octocrileno en un protector solar elaborado en la Facultad de Farmacia, siguiendo lo establecido en el capítulo <1225> de la Farmacopea de los Estados Unidos (USP, 2017) y la guía ICH Q2(R1) (ICH, 2005). Para ello se evaluaron los parámetros de linealidad, exactitud, precisión y especificidad: la linealidad se determinó mediante una curva de calibración de cinco concentraciones; la exactitud a través de porcentajes de recuperación entre 80% y 120%; la precisión mediante la desviación estándar relativa y la especificidad empleando soluciones patrón de octocrileno, placebos y muestra. Se realizaron ajustes menores conforme a las

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

condiciones de ensayo y disponibilidad de reactivos, sin afectar los criterios establecidos por las guías de referencia. No obstante, es importante señalar que este estudio constituye una fase preliminar de la validación, por lo que será necesaria una validación exhaustiva en investigaciones futuras para confirmar integralmente la confiabilidad del método.

C. DETERMINACIÓN DEL FPS CON MUESTRAS DE BLOQUEADORES SOLARES COMERCIALIZADOS EN PANAMÁ

Se seleccionaron 20 bloqueadores solares de venta comercial disponibles en el mercado, con rangos de SPF entre 15 y 100 y se evaluaron mediante el método espectrofotométrico UV in vitro utilizando el método de Mansur et al. (1986), bajo condiciones controladas con mediciones cada 5 nm en el rango de 290 a 320 nm; para el procedimiento experimental se emplearon celdas de cuarzo de 1 cm y como disolvente etanol anhidro, grado HPLC/ espectroscopía, realizando triplicados técnicos por muestra para garantizar trazabilidad, confiabilidad y repetibilidad del análisis; finalmente, se estimó el Factor de Protección Solar (SPF) de cada bloqueador y se comparó con el SPF declarado en su etiqueta, aplicando el método de Mansur como control de calidad interno.

3. RESULTADOS

Las formulaciones de protectores solares elaboradas mostraron comportamientos distintos. La preparación con óxido de zinc, creada con fines de prueba, inicialmente presentó buena apariencia, pero a los pocos días perdió estabilidad, mostró separación de fases y evidenció grumos al aplicarse, como se muestra en la Fig. 1. En contraste, la formulación definitiva con octocrileno presentó características organolépticas adecuadas: crema blanca, homogénea, de textura ligera y fácil aplicación. Durante varios meses se mantuvo estable, sin separación de fases ni sensación grasa, como se muestra en la Fig. 2. Además, el pH obtenido para la formulación con octocrileno fue de 5.2, lo cual resulta aceptable para su aplicación en la piel.

Fig.1 Formulación con óxido de zinc

Fig. 2 Formulación con octocrileno

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Por otra parte, la linealidad del método fue adecuada, con un rango de 12–18 µg/mL y un $R^2 = 0.9979$, superando el criterio de la USP como se ilustra en la Fig.3 . La exactitud mostró recuperaciones entre 99.06% y 100.68%, dentro del rango aceptado, con un promedio de 99.81% como se puede observar en la Tabla 1. La precisión fue excelente, con un RSD% de 0.42%, muy por debajo del límite del 2% establecido por ICH Q2 (R1) como se muestra en la Tabla 2 . Finalmente, el método demostró especificidad, ya que el placebo no presentó absorbancia en 303 nm y la señal correspondió únicamente al octocrileno como se aprecia en las Fig. 4, Fig. 5 y Fig. 6. Estos resultados en conjunto confirman que el procedimiento analítico es confiable, reproducible y adecuado para la evaluación del filtro químico en la formulación estudiada.

Fig.3 Curva de calibración de octocrileno

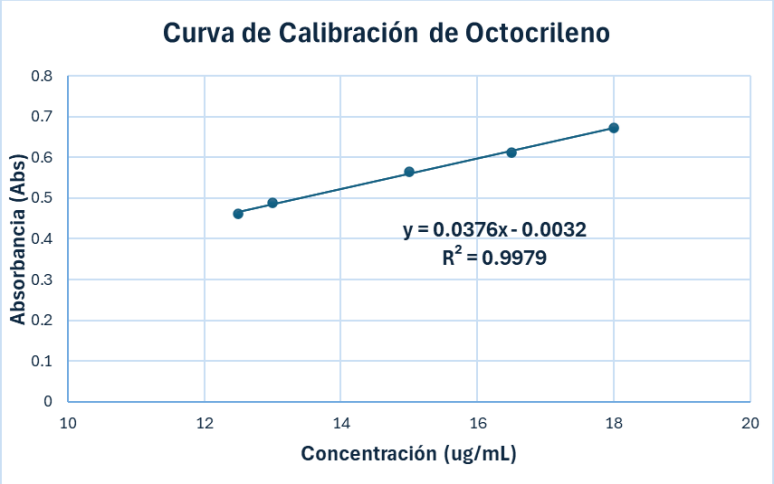


Tabla 1. Resultados ensayo de exactitud para la cuantificación de octocrileno

Nivel (% de concentración teórica)	Muestra	µg /ml de muestra en la curva	% de recuperación
83,3%	0,564	15,47	100,37%
86,66%	0,565	15,49	99,11%
100%	0,565	15,49	100,68%
110%	0,560	15,35	99,06%
Promedio	0,564	15,45	99,81%

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 2. Precisión del método evaluada mediante repetibilidad

Soluciones	Absorbancia (nm)	Concentración (ug/mL)
1	0,564	15,47
2	0,565	15,49
3	0,565	15,49
4	0,560	15,36
Promedio	0,564	15,45
Desviación estándar (DS)	0,002	0,07
Desviación estándar relativa (RSD%	0,422	0,42

Fig. 4 Espectro UV de la solución del placebo

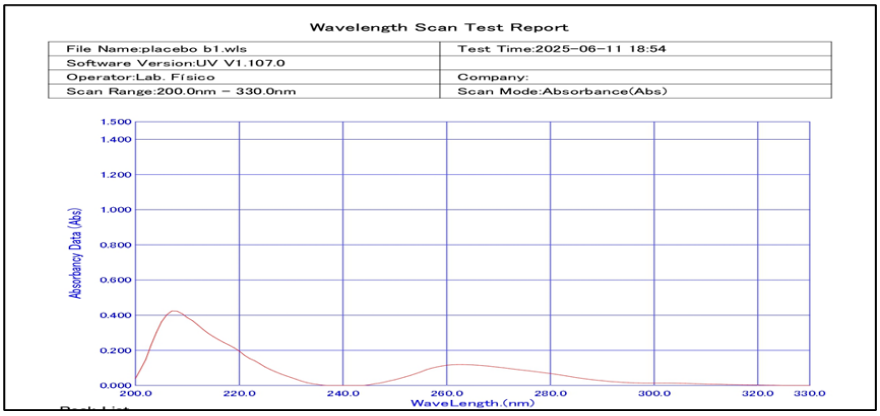
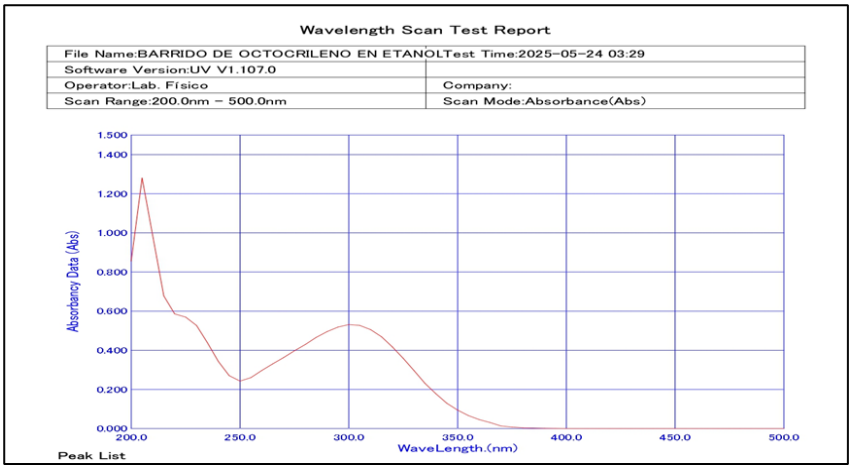
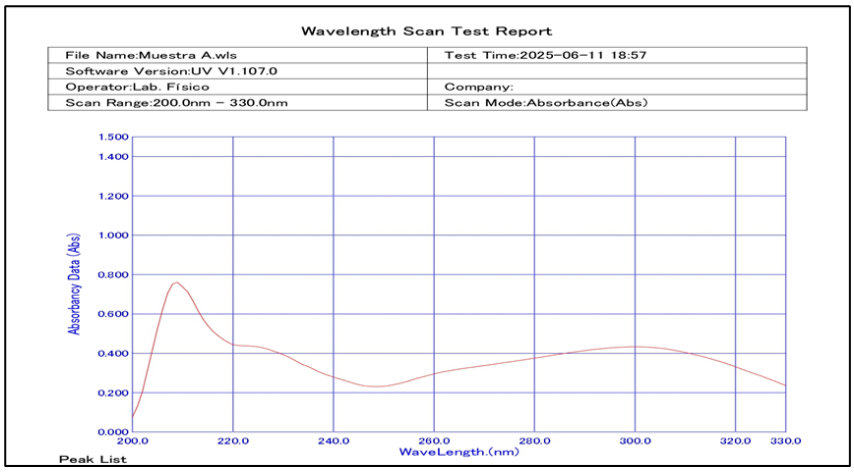


Fig. 5 Espectro UV del patrón de octocrileno.



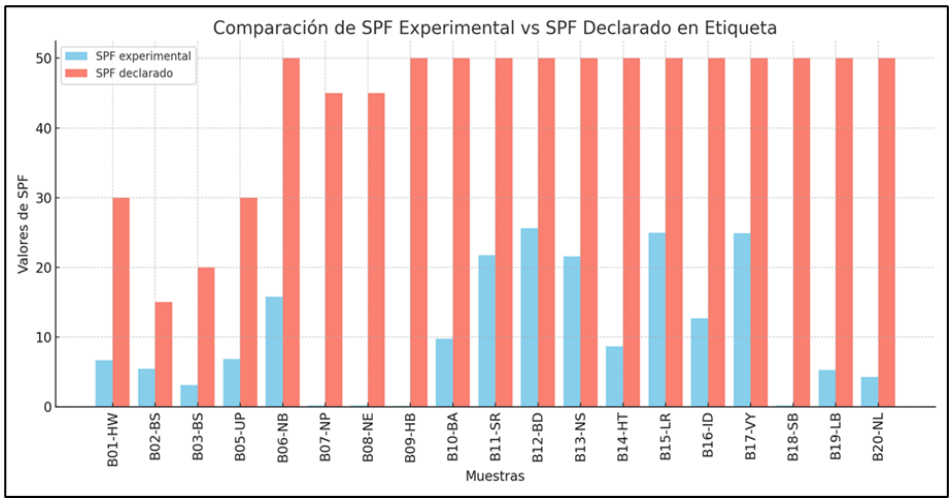
https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig. 6 Espectro UV de la muestra del protector solar formulada con octocrileno



Mientras tanto, en la comparación entre el SPF experimental obtenido mediante el método de Mansur y el declarado por los fabricantes mostró diferencias marcadas. La mayoría de los productos con SPF alto presentó valores experimentales muy bajos, incluso menores de 10, mientras que solo algunas muestras lograron valores moderados sin alcanzar lo indicado en la etiqueta como se observa en la Fig.7. También se identificaron protectores con valores prácticamente nulos pese a declarar SPF elevados, lo que sugiere una protección mínima bajo este método. En conjunto, los resultados indican que varios productos no ofrecen el nivel de fotoprotección que afirman, resaltando la importancia de verificar su eficacia de manera objetiva.

Fig.7 Gráfica de comparación del SPF experimental vs SPF declarado en la etiqueta



https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

En conclusión, el estudio permitió comparar dos formulaciones de bloqueadores solares, destacando que la de octocrileno presentó un mejor desempeño que la de óxido de zinc. La verificación analítica realizada demostró que el método empleado fue confiable para sustentar los resultados obtenidos. Aunque el método de Mansur no determina el FPS real, sí permitió identificar discrepancias relevantes en varios productos evaluados, sobre todo en los de bajo costo. Estos hallazgos evidencian la necesidad de fortalecer los controles previos a la comercialización de protectores solares en Panamá, a fin de garantizar su efectividad y seguridad.

REFERENCIAS

[1] Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá, “Panamá emite aviso de vigilancia por altas temperaturas,” teleSURtv, 29-Mar-2024. [Online]. Available: https://www.telesurtv.net/panama-emite-aviso-de-vigilancia-por-altas-temperaturas/. [Accessed: 15-Dec-2024].

[2] S. Mori and S. Q. Wang, “Sunscreens,” in Comprehensive Dermatologic Drug Therapy, 4th ed., pp. 565–575.e2. 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-61211-1.00050-4.

[3] United States Pharmacopeial Convention, United States Pharmacopeia 40 – National Formulary 35 (USP 40–NF 35), Rockville, MD, USA, 2017.

[4] International Conference on Harmonisation (ICH), “Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology, Q2(R1),” Nov. 2005.

[5] J. de S. Mansur, M. N. Rodrigues, M. C. Mansur, and R. D. Azulay, “Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria [Determination of sun protection factor by spectrophotometry],” Anais Brasileiros de Dermatologia, vol. 61, no. 3, pp. 121–124, 1986.

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD: UN CASO DE ESTUDIO EN LA DISTRIBUCIÓN DEL QUETZAL RESPLANDECIENTE

Salazar, Maribel A.
Facultad de Ingeniería Civil – (FIC), Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, República de Panamá
maribel.salazar@utp.ac.pa

Grey G., Ariel A.
Facultad de Ingeniería Civil – (FIC), Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, República de Panamá
ariel.grey@utp.ac.pa

Abstract

Climate change increases the risk of species extinction and influences their ecological responses, including changes in distribution towards higher altitudes or latitudes.
Tropical montane cloud forests, located between 1500 and 3000 m a.s.l., are priority ecosystems for conservation due to their high levels of endemism. The Resplendent Quetzal (Pharomachrus mocinno costaricensis), a bird of the family Trogonidae, inhabits exclusively these forests and is listed as endangered in Panama. In Costa Rica and Guatemala, studies indicate that climate change is causing an upward altitudinal shift and a reduction of this species' hábitat.
The Barú Volcano National Park (PNVB) covers approximately 143 km² of unique ecosystems, including cloud forests that represent critical habitat for the quetzal throughout its reproductive cycle.
As part of an ongoing research project, species records were compiled from the citizen science platform eBird, showing a higher concentration of observations between 2015 and 2025, mainly at elevations ranging from 1800 to 2500 m a.s.l.
The predominance of forest cover within the PNVB underscores the importance of conserving these habitats for the preservation of the quetzal, while the recent concentration of records reflects a growing interest in the use of citizen science platforms. Integrating these data with tools such as GIS is proposed as an approach for biological monitoring and for identifying priority conservation areas under long-term environmental change scenarios.

Keywords: Climate change, biodiversity, distribution, citizen science, resplendent quetzal

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

El cambio climático eleva el riesgo de extinción de especies e influye en sus respuestas ecológicas, incluyendo cambios en la distribución hacia mayores altitudes o latitudes.
Los bosques nublados tropicales montanos, ubicados sobre 1500 m a 3000 m s.n.m., son ecosistemas prioritarios para la conservación por su alto endemismo. El quetzal resplandeciente (Pharomachrus mocinno costaricensis), un ave de la familia Trogonidae, habita exclusivamente estos bosques y está catalogada en peligro de extinción en Panamá. En Costa Rica y Guatemala, estudios indican que el cambio climático está provocando un desplazamiento altitudinal y una reducción del hábitat de esta especie.
El Parque Nacional Volcán Barú (PNVB), abarca aproximadamente 143 km² de ecosistemas únicos, incluyendo bosques nublados que constituyen hábitat crítico para el quetzal a lo largo de su ciclo reproductivo.
Como parte de una investigación en desarrollo, se recopilaron registros de la especie en el proyecto de ciencia ciudadana eBird, con mayor concentración de avistamientos entre 2015 y 2025, localizados a elevaciones entre 1800 m a 2500 m s.n.m.
La predominancia de bosques en el PNVB resalta la importancia de conservar estos hábitats para la preservación del quetzal, mientras que la concentración de observaciones recientes refleja un creciente interés en el uso de plataformas de ciencia ciudadana. Integrar estos datos con herramientas como los SIG se plantea como una alternativa para el monitoreo biológico y la identificación de áreas prioritarias de conservación, en escenarios de cambio ambiental a largo plazo.

Palabras claves: Cambio climático, biodiversidad, distribución, ciencia ciudadana, quetzal resplandeciente.

1.INTRODUCCIÓN

El cambio climático global acelera la pérdida de biodiversidad y aumenta el riesgo de extinción de especies vulnerables sometidas a otras presiones [1]. Asimismo, puede influir en las respuestas ecológicas de los distintos niveles de vida. En las especies, se han reportado cambios en la distribución hacia zonas de mayor altitud o latitud, lo que hace más vulnerables a las áreas con mayor endemismo y a las especies con distribución restringida, como las que habitan en la cima de las montañas [2][3].
El quetzal resplandeciente (Pharomachrus mocinno), es un ave de la familia Trogonidae, que vive únicamente en los bosques montanos de niebla del sur de México y Centroamérica [4]. En Panamá y Costa Rica, habita la subespecie P.m.mocinno costaricensis, catalogada en peligro de extinción [5][6].
Refugios del quetzal resplandeciente en Panamá, se encuentran en el Parque Nacional

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Volcán Barú (PNVB), el cual fue declarado como área protegida en 1976 mediante el Decreto Ejecutivo No.40 de 24 de junio de 1976, se localiza sobre la cordillera de Talamanca en la provincia de Chiriquí [7] y cubre una extensión de 143 km² aproximadamente. Aquí, el gradiente altitudinal origina diversos bioclimas y ha permitido el desarrollo evolutivo de ecosistemas únicos, como los bosques nublados [8].

Este tipo de bosques, presentes en Costa Rica sobre los 1500 m a 1800 m s.n.m., se han identificado como hábitats del quetzal durante la etapa de cortejo y anidación [9].

En este contexto, identificamos los rangos altitudinales en que se distribuye el quetzal resplandeciente en el PNVB, para conocer los patrones espaciales de su ocurrencia, como base para anticipar los posibles efectos del cambio climático sobre la especie en Panamá.

2. MÉTODO

A. Revisión de antecedentes sobre la especie:

Se realizó una revisión bibliográfica sobre la especie Pharomachrus mocinno y los efectos del cambio climático en su distribución. Para esta búsqueda se utilizó la base de datos académica Google Scholar mediante combinaciones de palabras clave en español e inglés.

B. Caracterización del área de estudio:

Para identificar los tipos de cobertura vegetal se utilizó cartografía del Ministerio de Ambiente sobre los límites y usos de suelo del área protegida y para obtener el rango altitudinal, se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) con resolución espacial de 5x5 metros, que se procesó mediante el software ArcGIS Pro (versión 3.3.0)

C. Adquisición de registros de la especie:

Se realizó una búsqueda de avistamientos para Panamá en el proyecto de ciencia ciudadana ebird del Laboratorio de Ornitología de Cornell [10], generando una lista con coordenadas y fechas.

D. Procesamiento de los datos:

Los registros de avistamientos se integraron con la capa de límites y uso de suelo para representar espacialmente la distribución del quetzal en relación con la cobertura vegetal. Seguido, se integraron con el DEM para obtener la elevación de los sitios, se procesaron en Microsoft Excel para eliminar duplicados y se graficaron en Minitab.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

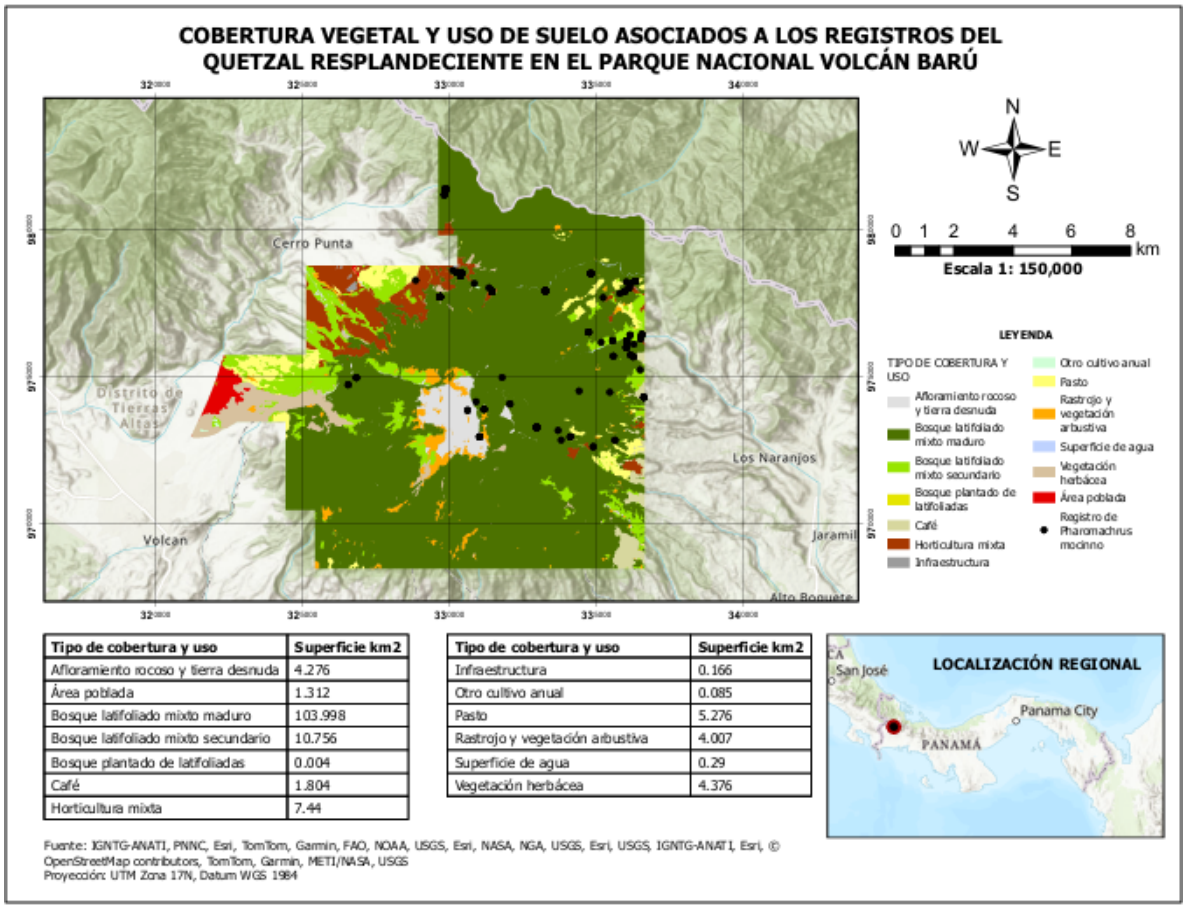
3. RESULTADOS

Estudios realizados en Costa Rica y Guatemala evidencian que el cambio climático está provocando un desplazamiento altitudinal y una contracción del hábitat del quetzal resplandeciente, lo que podría limitar su capacidad de migración y adaptación [11][12].
Se identificaron avistamientos de Pharomachrus mocinno costaricensis desde 1981 a mayo de 2025. El análisis temporal indica una mayor concentración de observaciones desde el 2015 a 2025. Los registros se localizan desde 1600 m hasta 3400 m s.n.m. pero se concentran en el rango de 1800 m a 2500 m s.n.m. (Gráfica 1).

Gráfica 1: Rangos altitudinales de avistamientos del quetzal resplandeciente en el PNVB.

En el PNVB predomina la cobertura de bosques, constituida por bosques latifoliado mixto maduro y mixto secundario, que ocupan el 80.25 % del área protegida (Mapa 1).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/



Tipo de cobertura y uso	Superficie km2
Afloramiento rocoso y tierra desnuda	4.276
Área poblada	1.312
Bosque latifoliado mixto maduro	103.998
Bosque latifoliado mixto secundario	10.756
Bosque plantado de latifoliadas	0.004
Café	1.804
Horticultura mixta	7.44

Tipo de cobertura y uso	Superficie km2
Infraestructura	0.166
Otro cultivo anual	0.085
Pasto	5.276
Rastrojo y vegetación arbustiva	4.007
Superficie de agua	0.29
Vegetación herbácea	4.376

Mapa 1: Cobertura vegetal y uso de suelo asociados a los avistamientos del quetzal resplandeciente en el PNVB.

4. CONCLUSIONES

Los avistamientos del quetzal resplandeciente muestran un uso predominante de hábitat altitudinal entre 1800 m y 2500 m s.n.m.

La concentración de observaciones recientes muestra un mayor interés en el uso de plataformas de ciencia ciudadana como ebird, que permiten registrar los hábitats utilizados por la especie.

La prevalencia de bosques en la distribución del quetzal resplandeciente, resalta la importancia de conservar el bosque nublado para la preservación de la especie frente a los efectos del cambio climático.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) 2002: Cambio climático y biodiversidad. Documento Técnico V. Ginebra, Suiza. pp 85. Disponible en: https://www.ipcc.ch/publication/climate-change-and-biodiversity-2/

[2] Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., ... & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. Science of the Total Environment, 733, 137782. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720312948

[3] Pérez-García, J. N. (2020). Causas de la pérdida global de biodiversidad. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 1(32), 183–198. https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i32.219

[4] BirdLife International. (2023). Pharomachrus mocinno. The IUCN Red List of Threatened Species 2023: e.T22682727A221577625. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T22682727A221577625.en.Accessedon21February2025. eBird. 2021. eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]. eBird, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NewYork. Disponible en: http://www.ebird.org.

[5] ONUMedioAmbiente-Centro Mundial para el Seguimiento de la Conservación (UNEP-WCMC) (Comps.) 2020. Lista de especies CITES-Manual de identificación. CITES. Secretaría CITES, Ginebra, Suiza, y UNEP-WCMC, Cambridge, Reino Unido.

[6] Ministerio de Ambiente. Resolución N°DM-0657-2016 de 16 de diciembre de 2016. Por la cual se establece el proceso para la elaboración y revisión periódica del listado de las especies de fauna y flora amenazadas de Panamá, y se dictan otras disposiciones. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28187_A/GacetaNo_28187a_20161229.pdf

[7] Ministerio de Ambiente de Panamá. Resolución N°DAPVS-0006-2016 de 06 de julio de 2016) Por la cual se aprueba el Plan de Uso Público del Parque Nacional Volcán Barú. Publicada en Gaceta Digital No.28075-A de 16 de julio de 2016. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28075_A/GacetaNo_28075a_20160715.pdf

[8] Ministerio de Ambiente de Panamá. 2023. Actualización del Plan de Manejo del Parque Internacional La Amistad 2023-2033. Elaborado por ALC Global,S.A., parte de Grupo ALC Consultores, para el Ministerio de Ambiente, a través de Fondo FIDECO-Fundación Natura. Panamá. https://naturapanama.org/wp content/uploads/2023/09/Plan-de-Manejo-PILA_2023-comprimido-comprimido.pdf

[9] Powell, G.V., & Bjork, R. (1995). Implications of intratropical migrationon reserve design: a case study using Pharomachrus mocinno. Conservation Biology,9(2),354 362.https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.9020354.x

[10] eBird. 2021. eBird: An online database of bird distribution and abundance [aplicación web]. eBird, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NewYork. Disponible en: http://www.ebird.org

[11] Gasner, M. R., Jankowski, J. E., Ciecka, A. L., Kyle, K. O., & Rabenold, K. N. (2010). Projecting the local impacts of climate change on a Central American montane avian community. Biological Conservation, 143(5), 1250-1258. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.034

[12] González, B., Ortíz, M. J., & López, Z. (2022). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del Quetzal (Pharomachrus mocinno) en Guatemala a partir de modelamientos de nicho ecológico. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, 44, 43-52. Obtenido de https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4363

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Hacia una movilidad inteligente: diagnóstico y solución tecnológica para el transporte público en Santiago de Veraguas

Rodríguez M., Kenel L.
Universidad Tecnológica de Panamá
Veraguas, Panamá
kenel.rodriguez@utp.ac.pa

Rodríguez A., Jorge I.
Universidad Tecnológica de Panamá
Veraguas, Panamá
jorge.rodriguez33@utp.ac.pa

González U., Jafet A.
Universidad Tecnológica de Panamá
Veraguas, Panamá
jafet.gonzalez@utp.ac.pa

Batista B., Marietta Y.
Universidad Tecnológica de Panamá
Veraguas, Panamá
marietta.batista@utp.ac.pa

Mora D., Rolando A.
Universidad Tecnológica de Panamá
Veraguas, Panamá
0009-0007-3932-5485

Abstract

In Santiago de Veraguas, public transportation lacks technologies that facilitate trip planning. This study proposes GeoBus, a web-based prototype to visualize routes, schedules, and stops. A quantitative methodology was applied, using a quasi-experimental pretest-posttest design and a market research phase. Initial results revealed limitations in access to reliable information, but a strong interest in digital solutions. The prototype was developed using modern technologies (React, Node.js, MongoDB, Mapbox) and evaluated through the Technology Acceptance Model. The posttest showed improved perceptions of ease of use (average score of 4,23), lower response dispersion, and high user satisfaction. GeoBus is concluded to be a viable solution to enhance urban mobility and the user experience.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Keywords: Mobile applications, smart cities, real-time monitoring, intelligent transportation systems, public transportation.

Resumen

En Santiago de Veraguas, el transporte público carece de tecnologías que faciliten la planificación de trayectos. Este estudio propone GeoBus, un prototipo web para visualizar rutas, horarios y paradas. Se aplicó una metodología cuantitativa con diseño cuasiexperimental pretest-postest y una fase de estudio de mercado. Los resultados iniciales evidenciaron limitaciones en el acceso a información, pero alto interés en soluciones digitales. El prototipo fue desarrollado con tecnologías modernas (React, Node.js, MongoDB, Mapbox) y evaluado mediante el Modelo de Aceptación Tecnológica. El postest mostró mejora en la percepción de facilidad de uso (media de 4,23), menor dispersión y alta satisfacción. Se concluye que GeoBus es una solución viable para mejorar la movilidad urbana y la experiencia del usuario.

Palabras claves: Aplicaciones móviles, ciudades inteligentes, monitoreo en tiempo real, sistemas de transporte inteligente, transporte público.

1. INTRODUCCIÓN

El transporte público constituye un componente esencial para el desarrollo económico y social de las ciudades, al facilitar la movilidad eficiente de personas y contribuir a la sostenibilidad urbana [1]. En la ciudad de Santiago de Veraguas, provincia panameña con alta actividad turística y religiosa, el transporte público es ampliamente utilizado. Sin embargo, enfrenta limitaciones significativas debido a la falta de información confiable sobre rutas y horarios, lo cual repercute en una experiencia de movilidad ineficiente, con usuarios que recurren a medios alternativos más costosos o menos accesibles.

Frente a esta problemática, los Sistemas de Transporte Inteligente (STI) emergen como una solución viable. Estas tecnologías integran herramientas de monitoreo y gestión de información en tiempo real que optimizan tanto la operación del sistema como la experiencia del usuario [2]. Una de sus aplicaciones clave es el rastreo de vehículos, la visualización de rutas y el acceso en línea a tiempos estimados de llegada, lo cual empodera al usuario para tomar decisiones informadas [3]. En Panamá, la aplicación MiBus ha demostrado el potencial de estas soluciones al permitir conocer la llegada de autobuses en tiempo real [4]. Actualmente el sistema de transporte público en Santiago de Veraguas aún opera sin digitalización, generando incertidumbre en los tiempos de espera, lo que dificulta la planificación de trayectos y limita la eficiencia del sistema. Esta brecha tecnológica representa una oportunidad para el desarrollo de soluciones digitales centradas en el usuario, orientadas tanto a mejorar la experiencia de movilidad como a fomentar un

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

turismo más inteligente y conectado.

Por tanto, el presente proyecto plantea el diseño de un prototipo de plataforma digital de monitoreo del transporte público, que permita a los usuarios visualizar rutas, horarios y ubicación de paradas a través de una interfaz web de fácil acceso. Esta solución busca ser escalable e integrable con otras funcionalidades complementarias como alertas de servicio, recomendaciones de ruta o contenidos turísticos geolocalizados; apoyándose en experiencias previas desarrolladas en Latinoamérica como aplicaciones [5], sistemas de monitoreo GPS [6] [7], sistemas de control de estaciones [8], entre otros.

Estas experiencias evidencian que la tecnología aplicada al transporte público es capaz de transformar los sistemas urbanos y rurales, mejorar su percepción de calidad, reducir tiempos de espera, y fortalecer la accesibilidad, sobre todo si se integran bajo el enfoque de ciudades inteligentes [9]. En este marco, el presente estudio no solo busca aplicar herramientas digitales en Santiago de Veraguas, sino también identificar necesidades reales y desarrollar un diseño centrado en el usuario, que aportan evidencia empírica sobre la aceptación y efectividad del sistema propuesto, integrando así la investigación aplicada con una perspectiva de mejora tecnológica contextualizada.

2. MÉTODO

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, empleando un diseño cuasiexperimental de tipo pretest–postest con un solo grupo, complementado por una fase exploratoria inicial de investigación de mercado. Esta estructura metodológica permitió, por un lado, diagnosticar necesidades y comportamientos de los usuarios del transporte público, y por otro, evaluar el impacto de una intervención tecnológica específica orientada a mejorar su experiencia de movilidad.

En la primera etapa, se realizó un estudio de mercado mediante un cuestionario exploratorio de 16 ítems a una muestra de usuarios del transporte público en Santiago de Veraguas. Para el prototipo, se optó por trabajar en primer lugar con las rutas La Peña-Mercado, Forestal-Mercado y Santiago-Atalaya; por tanto, la población total fue de 127,112 habitantes entre el distrito de Santiago (109,605) y Atalaya (17,507) [10]. Para calcular el tamaño de la muestra, se empleó la siguiente ecuación para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p(1-p)}{d^2(N-1) + Z^2 \cdot p(1-p)}$$

Con un nivel de confianza del 95% (Z = 1.96), un margen de error (d) igual a 5% y una proporción esperada (p) del 0.5, se obtuvo un tamaño recomendado de 383 personas. Se trabajó una muestra estratificada donde se encuestaron 330 santiagueños (86%) y

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

53 atalayeros (14%) Con este instrumento, se recolectó datos sobre frecuencia de uso del bus, dificultades comunes para acceder a información, utilización de aplicaciones de georreferencia y nivel de interés en soluciones digitales. Los resultados obtenidos guiaron el diseño de un prototipo funcional, el cual integró herramientas de visualización de rutas y horarios mediante una interfaz web de fácil acceso.

Posteriormente, se administró un pretest a un subgrupo de participantes seleccionados para interactuar con el prototipo. Dicho cuestionario incluyó ítems alineados con el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), el cual busca predecir la intención de uso de una tecnología a partir de dos constructos clave: la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida [11]. Ambas variables influyen directamente en la intención de uso futuro, la cual condiciona la adopción o el rechazo de la tecnología. Estudios posteriores han ampliado el TAM, incorporando factores como la experiencia previa, el contexto organizacional y las condiciones facilitadoras [12] [13]. Este modelo ha sido aplicado en diversos entornos, incluyendo sistemas de información, aplicaciones móviles, plataformas educativas y soluciones tecnológicas para el transporte urbano [14].

Tras la implementación del prototipo, se aplicó un postest a los mismos participantes, también en función del TAM, permitiendo evaluar la percepción de los usuarios respecto a la plataforma. Las dimensiones fueron medidas mediante escalas tipo Likert con un valor mínimo de 1 y máximo de 5, lo cual posibilitó la comparación entre los resultados del pretest y el postest para identificar cambios significativos en las percepciones. El cuestionario final incluyó además una sección abierta para recoger observaciones cualitativas.

Ambos instrumentos fueron administrados de forma digital mediante formularios en Google Forms y Microsoft Forms, a una muestra no probabilística por conveniencia, conformada por 34 personas entre estudiantes universitarios mayores de edad, usuarios frecuentes del transporte público y aquellos dispuestos a interactuar con la plataforma. Para completar el postest, se requirió haber utilizado previamente el prototipo.

3. RESULTADOS

A. Estudio de mercado

Los resultados del cuestionario evidencian una alta dependencia del transporte público en Santiago de Veraguas, donde el 69% de los encuestados utiliza el bus de forma frecuente. La principal dificultad identificada es la falta de información horaria, señalada por el 55%, seguida de cambios inesperados de rutas o desvíos con un 18%, lo que refleja deficiencias en la gestión informativa del sistema. Actualmente, el 66% de los usuarios recurre a fuentes informales como preguntas a otros pasajeros, llamadas telefónicas o redes sociales para orientarse. No obstante, se observa una alta disposición hacia soluciones digitales, ya que el 89% manifestó interés en utilizar una aplicación que facilite la planificación de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

trayectos y sugiera actividades o eventos, mientras que el 91% consideró útil o muy útil integrar información turística y urbana. Finalmente, el 62% indicó haber usado previamente aplicaciones de transporte, lo que confirma la viabilidad y pertinencia de desarrollar un prototipo de plataforma digital de monitoreo del transporte público adaptado al contexto local.

B. Desarrollo de prototipo

El desarrollo del prototipo "GeoBus" se sustentó en una arquitectura web moderna orientada a la escalabilidad, la interoperabilidad y la facilidad de uso. En el frontend se empleó React, una biblioteca de JavaScript basada en componentes reutilizables, combinada con Tailwind CSS para el diseño de una interfaz responsiva y modular. El backend se implementó con Node.js y Express, permitiendo la creación de servicios eficientes para la gestión de datos y la comunicación entre componentes. Para el almacenamiento de la información se utilizó MongoDB Atlas, una base de datos NoSQL en la nube que facilita el manejo flexible de datos estructurados y geoespaciales [15] [16].

Las rutas del transporte público seleccionadas fueron trazadas manualmente mediante la plataforma AllTrails, aprovechando su capacidad para registrar trayectos georreferenciados. Posteriormente, los recorridos fueron exportados en formato GPX y procesados mediante scripts en Python, que permitieron su conversión a GeoJSON, formato compatible con la plataforma de visualización cartográfica utilizada. La visualización e interacción de las rutas se integró en la aplicación web mediante la API de Mapbox, permitiendo al usuario explorar rutas completas, seleccionar tramos específicos entre paradas y visualizar conexiones entre distintas rutas para la planificación de trasbordos [17]. Adicionalmente, el sistema incorpora funciones de geolocalización para identificar paradas cercanas y facilitar la planificación de trayectos de forma dinámica, como se observa en la Figura 1, reforzando así el objetivo del prototipo de mejorar el acceso a información confiable del transporte público.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

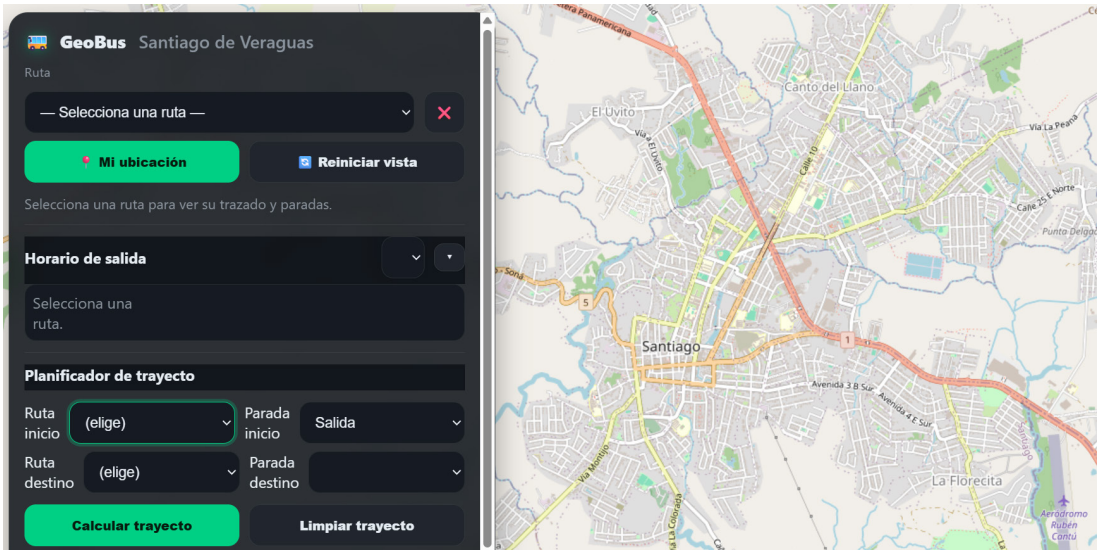


Fig. 1. Prototipo del sistema desarrollado.

C. Pretest y postest

Los resultados del pretest reflejaron una experiencia limitada en la planificación del transporte público, con valoraciones medianas cercanas a 4 y una desviación estándar de 1.07, lo que evidencia percepciones diversas. Si bien algunos usuarios reconocen utilidad en el sistema actual, persisten dificultades para acceder a información clara y confiable. En comparación, el postest mostró mejoras notables: la media ascendió a 4.23, con una menor dispersión (desviación estándar igual a 0.94), lo que indica mayor consenso sobre la facilidad de uso y utilidad del prototipo. La mayoría valoró positivamente la navegación y visualización de rutas, destacando la interfaz intuitiva. Los comentarios abiertos recogieron sugerencias como integrar horarios detallados, notificaciones en tiempo real y ampliar la cobertura de rutas, lo cual refuerza la pertinencia del prototipo como herramienta de apoyo a la movilidad cotidiana en contextos reales.

4. CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta investigación permiten concluir que el desarrollo e implementación del prototipo “GeoBus” responde de forma efectiva a las necesidades identificadas en la población usuaria del transporte público en Santiago de Veraguas. El diagnóstico inicial evidenció una alta dependencia del transporte colectivo, acompañada por limitaciones significativas en el acceso a información clara y confiable sobre rutas y horarios. A partir de estos datos, se diseñó una solución digital centrada en el usuario que integró funcionalidades clave como la visualización de trayectos y geolocalización de paradas, con resultados favorables. Las mediciones posteriores a la implementación del sistema mostraron una mejora significativa en la percepción de utilidad y facilidad de uso, validando la efectividad

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

del enfoque adoptado tanto desde el diseño como desde la experiencia del usuario. La alta valoración del sistema por parte de los participantes, junto con la baja dispersión de respuestas en el postest, refleja un consenso sobre su funcionalidad y pertinencia, así como el potencial de este tipo de tecnologías para optimizar la movilidad urbana y fortalecer la planificación de trayectos. Estos resultados respaldan el uso de herramientas digitales como una vía factible para mejorar la experiencia de transporte en contextos similares, abriendo oportunidades para futuras ampliaciones, como la incorporación de información en tiempo real y contenidos turísticos integrados.

Referencias

[1] A. D. Hidalgo Astudillo, «Sistema de monitoreo y ubicación de buses basado en la tecnología GPS en la Cooperativa de Transporte Urbano 7 de Octubre en la ciudad de Quevedo,» Universidad Técnia de Ambato, Ecuador, 2018.

[2] Y. Quiñonez, C. Lizarraga, J. Peraza y O. Zatarain, «Sistema inteligente para el monitoreo automatizado del transporte público en tiempo real,» Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, nº 31, pp. 94-105, 2019, doi: 10.17013/risti.31.94-105.

[3] J. Osorio Arjona y J. C. García Palomares, «Nuevas fuentes y retos para el estudio de la movilidad urbana,» Nuevas fuentes y retos para el estudio de la movilidad urbana, vol. 56, nº 3, pp. 247-267, 2017.

[4] C. Perea, «Mi Bus lanza aplicación con información de rutas y llegada de los buses en tiempo real,» Telemetro.com, 16 Octubre 2018.

[5] J. P. Rojas, J. C. Bustos y D. Ordóñez Camacho, «Transporte público inteligente al alcance de sus manos,» Enfoque UTE. Edición Especial INCISCOS 2016, vol. 8, nº 1, pp. 122-134, 2017, doi: 10.29019/enfoqueute.v8n1.143.

[6] A. M. d. C. Garcia Morgan, «Implementación de un sistema de monitoreo de buses con dispositivo GPS para mejorar el servicio de transporte del personal del Ministerio de Agricultura para el Año 2020,» Universidad Peruana de Ciencias e Informática, Perú, 2020.

[7] G. E. Barahona Martínez, F. J. Martínez Holguín y Y. E. Villegas Rugel, «Estudio técnico para la implementación de dispositivos GPS en las unidades de la cooperativa de transportes Santa Lucia,» Revista Científica Sinapsis, vol. 1, nº 22, 2023, doi: 10.37117/s.v1i22.720.

[8] N. A. Aldás Rovayo, «Sistema de Information Integrado para el Monitoreo y Control de estaciones de transporte publico urbano en la ciudad de Ambato,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.

[9] S. Shaheen, A. Cohen y I. Zohdy, «Shared Mobility: Current Practices and Guiding Principles,» U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2016.

[10] Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), «XII Censo Nacional de Población y VIII de Vivienda 2023,» Panamá, 2023.

[11] F. D. Davis, «Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology,» MIS Quarterly, vol. 13, nº 3, pp. 319-339, 1989, doi: 10.2307/249008.

[12] V. Venkatesh y D. F. Davis, «A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies,» Management Science, vol. 46, nº 2, pp. 186-204, 2000, doi: 10.1287/mnsc.46.2.186.11926.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[13] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis y F. D. Davis, «User Acceptance of Information Technology: Toward A Unified View,» MIS Quarterly, vol. 27, nº 3, pp. 425-478, 2003, doi: 10.2307/30036540.
[14] P. Legris, J. Ingham y P. Collerette, «Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model,» Information & Management, vol. 40, nº 3, pp. 191-204, 2003, doi: 10.1016/S0378-7206(01)00143-4.
[15] S. Nagarathinam y R. Mythili, «Building the Modern Web: A Comparative Study of MERN And FERN Technology Stacks,» International Journal of Advanced Research and Interdisciplinary Scientific Endeavours, vol. 1, nº 7, pp. 10.61359/11.2206-2431, 2024, doi: 10.61359/11.2206-2431.
[16] D. Lorenzo Rodríguez, «Desarrollo de una aplicación web con ReactJS y NodeJS para la gestión de reserva de pistas de un polideportivo,» E.T.S.I. de Sistemas Informáticos (UPM), Madrid, 2021.
[17] D. Balla y M. Gede, «Vector Data Rendering Performance Analysis of Open-Source Web Mapping Libraries,» International Journal of Geo-Information, vol. 14, nº 9, p. 336, 2025, doi: 10.3390/ijgi14090336.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnologia
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnologia

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Desempeño de cimientos superficiales aislados en suelos colapsables bajo la acción de cargas excéntricas

Pinzon-Atencio, Wenddy
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
0009-0009-9857-6262

Vargas, Carlos
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
carlos.vargas2@utp.ac.pa

Grajales-Saavedra, Francisco
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
0000-0003-1705-864X

Abstract

This research is based on a real case of shallow foundation corresponding to a temporary structure that exerts eccentric vertical loads on the foundation. Located in an area with very heterogeneous soil, where the nearest borehole was 5 m away. The scope includes the modeling of the conditions presented in the field of the soil-structure system using finite element tools, with the aim of comparing the settlements observed in the field with those presented in the finite element models. In this way, it was possible to determine whether the soil properties assigned according to the nearest borehole did indeed produce the observed settlements. During the installation and operation of the temporary structure, the variations in elevation of the four corners of the concrete block were monitored. Subsequently, finite element modeling was performed using RocScience RS3 and Plaxis 3D software. The results obtained during modeling with the aforementioned tools show differential settlements between the corners of the foundation, but with values much lower than those measured in the field. The variation between these results suggests that, due to the heterogeneity of the site, the soil properties present in the foundation area do not correspond to those causing the differential settlements presented. Therefore, it is recommended that in soils with high variability, foundations be positioned in areas where there are boreholes at closer proximity.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Keywords: shallow foundation, differential settlement, heterogeneous soil, temporal foundation, finite elements.

Resumen

Esta investigación se fundamenta en un caso real de cimiento superficial correspondiente a una estructura temporal la cual ejerce cargas verticales excéntricas sobre el cimiento. Ubicada en un área correspondiente a un suelo muy heterogéneo, cuya perforación más cerca se encontraba a 5 m de distancia. El alcance incluye el modelado de las condiciones presentadas en campo del sistema suelo-estructura utilizando herramientas de elementos finitos, con el objetivo de comparar los asentamientos observados en campo con relación a los que se presentan en las modelaciones mediante elementos finitos. De tal forma, determinar si las propiedades del suelo asignadas. de acuerdo con la perforación más cercana, en efecto producían los asentamientos observados. Durante el proceso de instalación y operación de la obra temporal se llevó a cabo un monitoreo de las variaciones en elevación de las 4 esquinas del macizo de hormigón. Posteriormente, se realizaron modelaciones de elementos finitos en los softwares RocScience RS3 y Plaxis 3D. Los resultados obtenidos durante el modelado con las herramientas previamente mencionadas muestran los asentamientos diferenciales entre las esquinas de la base, pero con valores mucho menores a los medidos en campo. La variación entre estos resultados sugiere que, debido a la heterogeneidad del sitio, las propiedades del suelo presentes en el área de fundación no corresponden a las causantes de los asentamientos diferenciales presentados. Por lo que se recomienda que en suelos con mucha variabilidad fundaciones sean posicionadas en áreas en donde se tengan perforaciones a mayor cercanía.

Palabras claves: zapatas, asentamiento diferencial, suelo heterogéneo, fundación temporal, elementos finitos.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción, a nivel mundial, desde los años 50´s se comenzaron a usar con mayor frecuencia grúas torres [1] como solución al poco espacio disponible para construir grandes edificaciones en las ciudades [2]. Estas son estructuras verticales fijas con capacidad de rotación en la parte superior en el que su montaje, operación y desmontaje representan gran peligrosidad [3]. Uno de los riesgos asociados es el volteo por falla geotécnica [4]. Generalmente las perforaciones existentes están principalmente en la huella del edificio y la ubicación de estas grúas a veces no cuentan con una lo suficientemente cerca [5]. Por lo que se debe determinar si la información existente es suficiente. En los casos donde el suelo es favorable, se usan fundaciones superficiales genéricas del fabricante [6].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Un caso por el que se pueden dar fallas geotécnicas es la presencia de suelos colapsables (predominantemente compuestos por arenas y/o limos suaves) no identificados [7]. Estos tienen la característica de que cuando se someten a cambios en contenido de humedad o cargas o ambas, presentan cambios de volumen repentinos [8]. El Reglamento Estructural de Panamá, especifica que para fundaciones superficiales, en suelos cohesivos, se admiten asentamientos verticales máximos de 50 mm y distorsiones angulares máximas de 1/500 [9]. No obstante, cuando la cimentación es para una grúa torre el fabricante, en este caso de estudio, exige que los asentamientos diferenciales no deben pasar los 5 mm. Estos asentamientos deben ser sumamente controlados debido a que si se exceden representan peligro, atraso y pérdidas para el proyecto porque no se puede continuar con la obra hasta solucionarlo.

El objetivo de esta investigación consiste en comparar asentamientos observados con modelaciones mediante elementos finitos para determinar si las propiedades del suelo asignadas, de acuerdo con la perforación más cercana, en efecto producían los asentamientos observados.

2. MÉTODO

La investigación consistió en realizar: (1) el estudio geotécnico, (2) la construcción de la fundación temporal, (3) la instalación de la grúa torre, (4) el monitoreo de asentamientos e identificación de cargas asociadas, (5) la determinación de las cargas aplicadas, (6) la modelación del cimiento y (7) la comparación de resultados entre los valores de campo con los modelados por elementos finitos.

La figura 1, muestra la ubicación de 7 sondeos realizados y la ubicación del cimiento temporal, donde la perforación más cercana corresponde a H-9 (aprox. 5 m de cercanía). En la figura 2, se observa que el suelo es altamente variable con existencia de limos y arena a diferentes profundidades. A partir de la información geotécnica se determinan las propiedades del suelo de los estratos encontrados en la perforación H-9, tabla 1.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

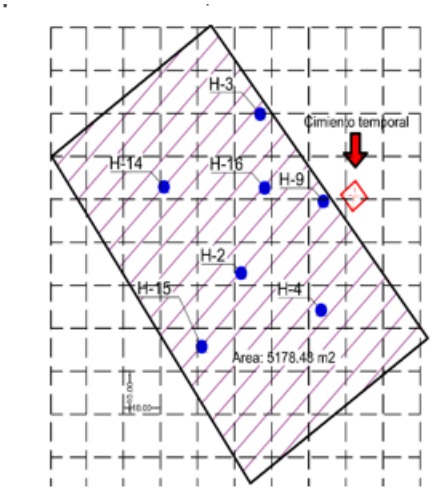


Fig 1. Ubicación de sondeos

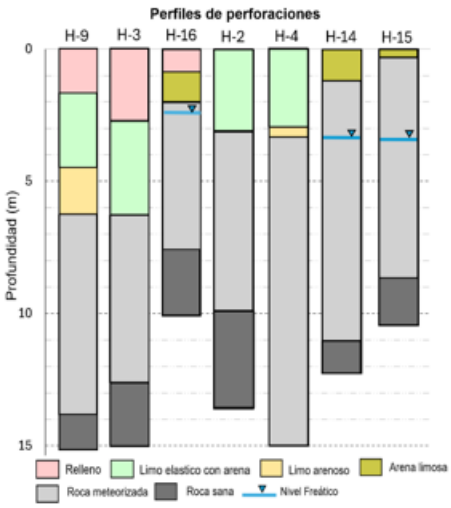


Fig 2. Perfiles de sondeos

Tabla 1. Propiedades del suelo

Parámetro	Limo elástico firme	Limo arenoso firme	Roca Meteorizada
Peso específico saturado [kN/m³]	18,0	18,0	20,0
Peso específico no saturado [kN/m³]	18,0	18,0	20,0
Módulo de Young [kN/m²]	60000,0	85901,0	3076937,0
Poisson (v)	0,2	0,2	0,2
Cohesión efectiva [kN/m²]	20,0	40,0	
Ángulo de fricción [°]	30,0	35,0	
Compresión Axial [kN/m²]			8900,00
RQD [%]			53

La fundación temporal por su parte se desplanta a 1,93 m de profundidad. Con dimensiones de 5 x 5 x 1,35 m, con concreto reforzado (f´c = 24,5 MPa), en contacto directo con el suelo. Luego, la grúa torre se instaló por etapas y se monitoreó el asentamiento de la fundación en sus esquinas con el nivel de los puntos rojos observados en la figura 3 y representados en la figura 4. Posteriormente se procedió a calcular, de forma simplificada, las cargas asociadas que recibe la fundación en el centro. La tabla 2, muestra la carga puntual (Q) y el momento (M). Cabe destacar, estas cargas son considerando el peso propio de cada elemento de la grúa conforme lo indica la ficha técnica del fabricante.

Fig 3. Fundación en campo

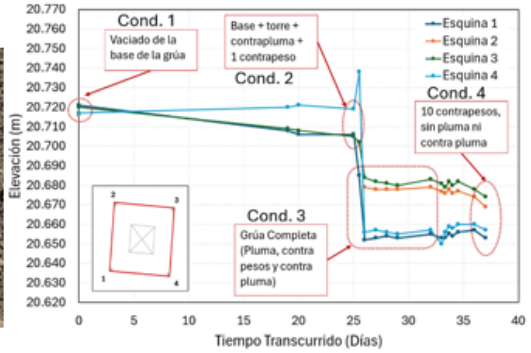


Fig 4. Gráfico de asentamientos observados

Tabla 2. Cargas por condición

	Q (kN)	M (kN-m)
Cond. 1		
Cond. 2	-387,6	-1976,31
Cond. 3	-596,2	548,57
Cond. 4	-785,4	1059,6

***No incluye peso propio del cimiento**

Para la modelación se utiliza RS3 y Plaxis 3D, ambos softwares de elementos finitos.
RS3. Para definir la geometría del modelo se genera un espacio de 3 veces la base del elemento de hormigón (35 m x 35 m). Se definen las propiedades del suelo con el modelo de Mohr-Coulomb y de la roca como Hoek-Brown. Dado que el software no permite aplicar

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

directamente momentos concentrados, se opta utilizar un sistema de par de fuerzas para inducir las cargas excéntricas. Posteriormente se restringen de movimiento las superficies laterales del modelo a excepción de las caras superiores para evitar que el mismo colapse. Por último, se configuran las propiedades de la malla como tetraedros de 4 nodos graduados y se computan las fases conforme las condiciones identificadas.

Plaxis 3D. La geometría del suelo se modeló con dimensiones de 50 x 50 m para evitar que los bordes interfirieran con la modelación de la zapata, la cual fue modelada como volumen con sus respectivas propiedades. Por otra parte, el suelo se definió bajo el modelo de Mohr-Coulomb y la roca con el modelo lineal elástico, ambos en condiciones drenadas. Posteriormente se realizó el refinamiento de la malla en término medio con 10458 elementos y 16858 nodos. Por último, se definieron las etapas de construcción de acuerdo con las condiciones identificadas, procurando conservar los desplazamientos asociados a cada una.

3. RESULTADOS

El monitoreo de asentamientos verticales de la fundación temporal en campo demostró asentamientos diferenciales que incrementaban a medida que pasa el tiempo en el montaje de la grúa torre. Se observó que los asentamientos incrementaron hasta 15 mm al agregar la torre, la contrapluma y los contrapesos necesarios, y que se acrecentaron hasta 69 mm con la colocación de la pluma. Por lo cual, se desmonta parte de la grúa y al agregar contrapesos a la zapata, los asentamientos continúan incrementando. La modelación en software, tanto en RS3 como en Plaxis 3D muestran una distribución no uniforme de esfuerzos sobre el suelo, lo que a su vez se refleja en asentamientos diferenciales en los extremos del elemento producidos en cada una de las etapas debido al momento ejercido por el peso propio de la grúa. En las figuras 5 y 6 se observan los asentamientos verticales para cada condición en RS3 y Plaxis 3D respectivamente.

En la tabla 3, se observa la comparación de asentamientos medidos y obtenidos en las modelaciones. Se aprecia que los asentamientos en cada esquina observados en campo no son congruentes con aquellos obtenidos en las modelaciones tanto en RS3 como en Plaxis 3D, los cuales no presentan asentamientos diferenciales mayores a 5 mm en ninguna de sus condiciones.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

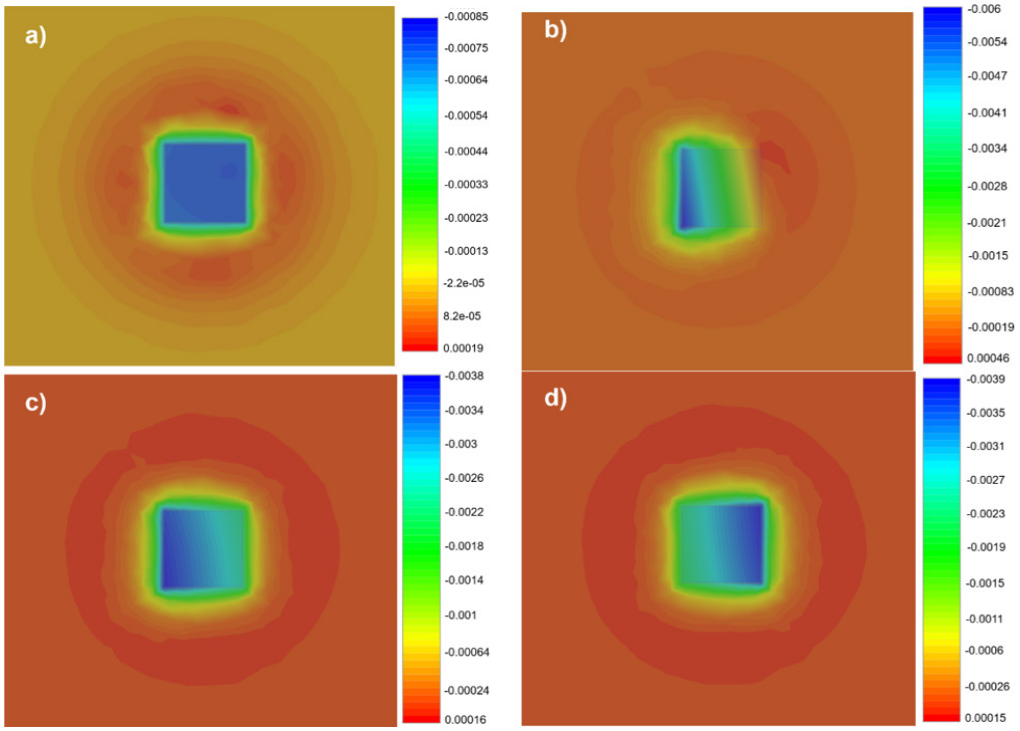


Fig 5. Asentamientos verticales (m) - RS3: a) condición 1, b) condición 2, c) condición 3 y d) condición 4

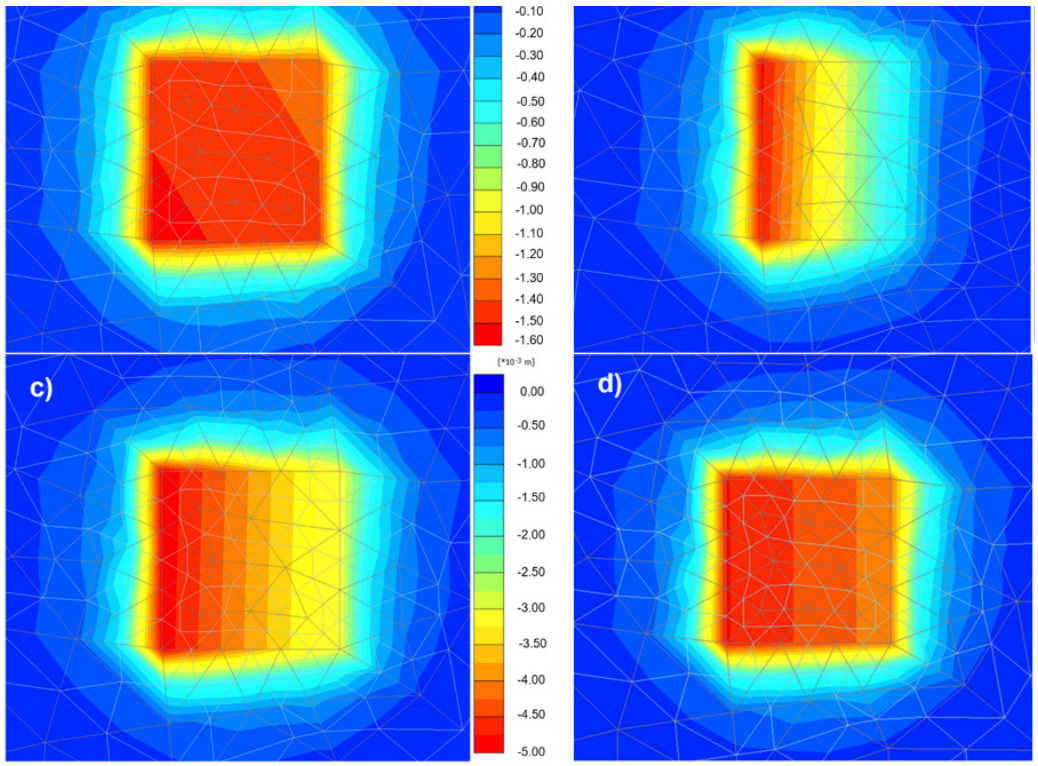


Fig 6. Asentamientos verticales - Plaxis 3D: a) condición 1, b) condición 2, c) condición 3 y d) condición 4

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 3. Asentamientos totales (m)

	Condición 1			Condición 2			Condición 3			Condición 4		
Esquina	Medido	Plaxis 3D	RS3	Medido	Plaxis 3D	RS3	Medido	Plaxis 3D	RS3	Medido	Plaxis 3D	RS3
1	0	-0.002	-0.001	-0.015	-0.005	-0.001	-0.069	-0.004	-0.004	-0.068	-0.004	-0.008
2	0	-0.001	-0.001	No se midió	-0.005	-0.001	-0.037	-0.004	-0.004	-0.047	-0.004	-0.008
3	0	0.000	-0.001	-0.015	-0.001	-0.001	-0.036	-0.002	-0.009	-0.046	-0.003	-0.011
4	0	0.000	-0.001	0.002	0.000	-0.001	-0.061	-0.001	-0.009	-0.060	-0.003	-0.011

4. CONCLUSIONES

Los asentamientos medidos superan el máximo permitido por el Reglamento Estructural de Panamá (50 mm verticales) y por el fabricante (5 mm diferenciales), en condiciones de instalación de grúa.

Los modelos en software no indican asentamientos significativos en las etapas analizadas.

Los resultados obtenidos durante el modelado muestran los asentamientos diferenciales entre las esquinas de la base, pero con valores mucho menores a los medidos en campo.

La variación entre estos resultados sugiere que, debido a la heterogeneidad del sitio, las propiedades del suelo consideradas de acuerdo con la perforación 9 (la más cercana) no corresponden a las causantes de los asentamientos diferenciales observados.

Se recomienda que en suelos con mucha variabilidad, las fundaciones sean posicionadas en áreas en donde se tengan perforaciones a mayor cercanía. De tal forma, se puede detectar si existe la presencia de un estrato intermedio más débil. De forma específica, se recomienda que para la instalación de obras temporales, se realice al menos una perforación mecánico rotativa en el lugar de emplazamiento de la estructura.

Referencias

[1] L. K. Shapiro y H. I. Shapiro, «Construction Cranes», Scientific American, vol. 258, pp. 72-79, 1 de marzo de 1988. doi: 10.1038/scientificamerican0388-72.

[2] R. T. Ratay, «Temporary Structures in Construction - USA Practices», doi: doi.org/10.2749/101686604777963649.

[3] Y. Zhang y K. Chen, «DIGITAL TECHNOLOGIES FOR ENHANCING CRANE SAFETY IN CONSTRUCTION: A COMBINED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ANALYSIS», Journal of Civil Engineering and Management, vol. 29, n.o 7, pp. 604-620, sep. 2023, doi: 10.3846/jcem.2023.19574.

[4] J. Ma, T. Del Pino, J. Manuel, y M. Melero, «Nota técnica de prevención - NTP 782». Accedido: 9 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/22-serie-ntp-numeros-751-a-785-ano-2007/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-782

[5] «Crane mats: support systems».

[6] T. Kodikara, T. L. Kodikara, y G. A. S. C. Samararatne, «Innovative Tower Crane Foundation Designs», en Annual Sessions 2013 - Society of Structural Engineers Sri Lanka (SSESL), jun. 2013. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307562928

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[7] D. P. . Coduto, W. A. . Kitch, y M. Ronald. Yeung, Foundation design : principles and practices, 3.a ed. Pearson, 2016.
[8] P. C. Knodel, «R-92902: Characteristics and Problems of Collapsible Soils», feb. 1992.
[9] «Reglamento Estructural de Panamá 2021», 2023.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Bacterias heterótrofas marinas: estrategias de vida, ecología y utilidad como bioindicadores en un ambiente cambiante

Hidalgo, Nayliz
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
nayliz.hidalgo@utp.ac.pa

Montenegro, Ricardo
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ricardo.montenegro2@utp.ac.pa

Vergara-Chen, Carlos
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
carlos.vergara3@utp.ac.pa

Abstract

Heterotrophic bacteria perform crucial ecological functions such as organic mineralization, nitrogen fixation, and organic matter degradation, being fundamental in energy transfer between trophic levels. Their abundance is susceptible to environmental variations such as temperature, salinity, and dissolved oxygen; factors that present natural oscillations but, with climate change, experience greater alterations. It is essential to understand how these factors impact heterotrophic microorganisms to predict and mitigate possible disturbances in estuarine and coastal ecosystems.

This review updates information on the ecology of marine heterotrophic bacteria and their potential utility as biological indicators in changing environments. Specialized scientific databases and repositories were consulted, selecting publications on heterotrophic bacteria in coastal ecosystems and their relationship with environmental factors. The search identified research on population dynamics in marine and estuarine environments, analyzing temporal and spatial variation patterns of these bacterial communities.

It was found that heterotroph abundance fluctuates seasonally, influenced by temperature, salinity, turbidity, and organic matter availability. In aquatic environments, temperature and salinity are the most determining parameters, while in sediments, factors such as texture and substrate type are added. Climate change modifies these critical parameters through

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

temperature increase, irregular rainfall, changing salinity, and acidification, directly affecting coastal microbial dynamics and altering essential ecological processes such as organic matter decomposition and nutrient recycling. Marine heterotrophic bacteria will likely be systematically monitored in the future to protect human and environmental health.
the future, marine heterotrophic bacteria will be monitored to protect human and environmental health.

Keywords: heterotrophic bacteria, microbial indicators, coastal areas, environmental factors, climate change.

Resumen

Las bacterias heterótrofas desempeñan funciones ecológicas cruciales como la mineralización orgánica, fijación de nitrógeno y degradación de materia orgánica, siendo fundamentales en la transferencia energética entre niveles tróficos. Su abundancia es susceptible a variaciones ambientales como temperatura, salinidad y oxígeno disuelto; factores que presentan oscilaciones naturales pero que, con el cambio climático, experimentan mayores alteraciones. Resulta fundamental entender cómo estos factores impactan a los microorganismos heterótrofos para predecir y mitigar posibles perturbaciones en ecosistemas estuarinos y costeros.
Esta revisión actualiza la información sobre la ecología de bacterias heterótrofas marinas y su utilidad potencial como indicadores biológicos en ambientes cambiantes. Se consultaron bases de datos y repositorios científicos especializados, seleccionando publicaciones sobre bacterias heterótrofas en ecosistemas costeros y su relación con factores ambientales. La búsqueda identificó investigaciones sobre dinámica poblacional en ambientes marinos y estuarinos, analizando patrones de variación temporal y espacial de estas comunidades bacterianas.
Se encontró que la abundancia de heterótrofos fluctúa estacionalmente, influenciada por temperatura, salinidad, turbidez y disponibilidad de materia orgánica. En ambientes acuáticos, temperatura y salinidad son los parámetros más determinantes, mientras que en sedimentos se adicionan factores como textura y tipo de sustrato. El cambio climático modifica estos parámetros críticos mediante aumento de temperatura, lluvias irregulares, salinidad cambiante y acidificación, afectando directamente la dinámica microbiana costera y alterando procesos ecológicos esenciales como descomposición de materia orgánica y reciclaje de nutrientes. Es probable que las bacterias heterótrofas marinas sean monitoreadas sistemáticamente en el futuro para proteger la salud humana y ambiental.

Palabras claves: bacterias heterótrofas, indicadores microbianos, zonas costeras, factores ambientales, cambio climático.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos y estuarinos albergan comunidades microbianas complejas que sustentan procesos biogeoquímicos esenciales para el funcionamiento de la biosfera [1]. Entre estos microorganismos, las bacterias heterótrofas desempeñan roles fundamentales en el ciclo de nutrientes, la mineralización de materia orgánica y la transferencia de energía a través de las redes tróficas[1], [2], [3]. Estos organismos actúan como mediadores clave en la descomposición de compuestos orgánicos, procesos vitales para la productividad primaria y la salud general de los ecosistemas acuáticos [2].

En las últimas décadas, el cambio climático ha intensificado las alteraciones en parámetros ambientales, tales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y disponibilidad de materia orgánica [4], [5], [6], factores que influyen directamente en la dinámica poblacional de las bacterias heterótrofas[4]. Estas modificaciones ambientales no solo afectan la abundancia y diversidad microbiana, sino que también tienen implicaciones profundas en los procesos ecológicos que regulan, generando potenciales desequilibrios en los ecosistemas costeros [6], [7].

Comprender la respuesta de las comunidades bacterianas heterótrofas ante las variaciones ambientales se ha vuelto de suma importancia para anticipar y mitigar impactos ecológicos futuros. En este contexto, el presente trabajo revisa el conocimiento actual sobre la ecología de estas bacterias en ambientes costeros tropicales, su relación con factores ambientales clave y su potencial aplicación como indicadores biológicos para evaluar el estado trófico y los efectos del cambio climático.

2. MÉTODO

A. Estrategia de búsqueda

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática en bases de datos científicas especializadas (Web of Science, PubMed, Google Scholar) y repositorios institucionales, enfocada en estudios sobre bacterias heterótrofas en ecosistemas costeros y estuarinos y su relación con factores ambientales en el contexto del cambio climático. La búsqueda empleó combinaciones de palabras clave en español e inglés utilizando operadores booleanos: “heterotrophic bacteria” OR “bacterias heterótrofas” AND “coastal zones” OR “zonas costeras” AND “estuarine ecosystems” OR “ecosistemas estuarinos” AND “environmental factors” OR “factores ambientales” AND “climate change” OR “cambio climático”.

B. Criterios para la elección de artículos científicos

Los criterios de inclusión fueron: (1) artículos publicados entre 2015 y 2024; (2) estudios

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

realizados en ecosistemas marinos y estuarinos de zonas tropicales; (3) investigaciones que abordaran la dinámica poblacional de bacterias heterótrofas y su relación con parámetros ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, materia orgánica, turbidez); (4) publicaciones en español o inglés; y (5) artículos con acceso completo al texto. Se excluyeron estudios enfocados exclusivamente en ambientes de agua dulce, regiones templadas o polares, y aquellos sin datos cuantitativos sobre abundancia bacteriana.

C. Análisis Comparativo de Datos

Se extrajeron y compararon los valores de abundancia bacteriana reportados en cada artículo seleccionado, diferenciando entre muestras de agua (expresadas en UFC/mL) y muestras de sedimento (expresadas en UFC/g). Se analizaron los patrones estacionales de variación, identificando los principales factores ambientales asociados a las fluctuaciones observadas en cada ecosistema. La comparación entre estudios permitió evaluar las diferencias en densidades bacterianas según el tipo de matriz ambiental, el ecosistema y las condiciones locales específicas.

3. RESULTADOS

Se analizó la relación entre la abundancia de bacterias heterótrofas y los factores ambientales en los distintos sitios de estudio, considerando estacionalidad, parámetros fisicoquímicos y posibles presiones antropogénicas. En la laguna mexicana, Silva-Ontiveros et al. [8] reportaron densidades máximas en primavera y verano, asociadas a mayor disponibilidad de materia orgánica, mientras que las concentraciones disminuyeron en otoño e invierno. En el estuario de India, Kademane et al. [9] registraron las densidades más bajas entre todos los estudios analizados, con incrementos durante el periodo post-monzón y valores mínimos en verano, en correspondencia con las fluctuaciones en la salinidad estuarina. Los ecosistemas arrecifales mostraron densidades intermedias: Lugioyo et al. [10] documentaron mayor abundancia en verano respecto al invierno en Cuba, sugiriendo una marcada influencia de la temperatura; por su parte, Montes-Cardona et al. [11] observaron en El Salvador una correlación positiva entre la abundancia bacteriana y las concentraciones de oxígeno disuelto, además de una relación inversa con la salinidad, reflejando la sensibilidad de las comunidades bacterianas a cambios fisicoquímicos locales.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Referencias analizadas sobre la abundacia de bacterias heterótrofas marinas en hábitats costeros.

Título	Año	País	Hábitat	Tipo de muestra
Comportamiento estacional de bacterias en sedimentos de mangle negro *(Avicennia germinais*) [8]	2024	México	Laguna	Sedimento
Evaluación de la calidad del agua de los arrecifes del golfo de Cazones, sur de Cuba a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos [10]	2020	Cuba	Zona arrecifal	Agua
Bacterias heterótrofas en la zona arrecifal del Área Natural Protegida Complejo Los Cóbanos, Sonsonate, El Salvador [11]	2020	El Salvador	Zona arrecifal	Agua
Studies on heterotrophic bacteria and total coliforms in relation with environmental parameters on water in Gurupur Estury of Mangaluru, Karataka, India [9]	2018	India	Estuario	Agua

Los valores indicados sobre las barras representan la densidad promedio registrada en cada estudio. La comparación de estos promedios evidencia diferencias marcadas entre ecosistemas, determinadas principalmente por el tipo de matriz ambiental (sedimento vs. agua), el hábitat y la disponibilidad de materia orgánica. La densidad más alta correspondió a los sedimentos de la laguna mexicana (53,425 UFC/g), reflejo de un ambiente altamente enriquecido con abundante materia orgánica acumulada. Le siguió la zona arrecifal de El Salvador (37,087.78 UFC/mL), en muestras de agua, posiblemente influida por aportes terrígenos y presión antrópica. La zona arrecifal de Cuba presentó densidades moderadas (9,082.50 UFC/mL), indicando un ecosistema menos enriquecido pero con señales de impacto antropogénico. Finalmente, el estuario de India mostró la menor densidad en sedimento (90.13 UFC/g), coherente con condiciones de mayor dilución y menor acumulación de carga orgánica.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

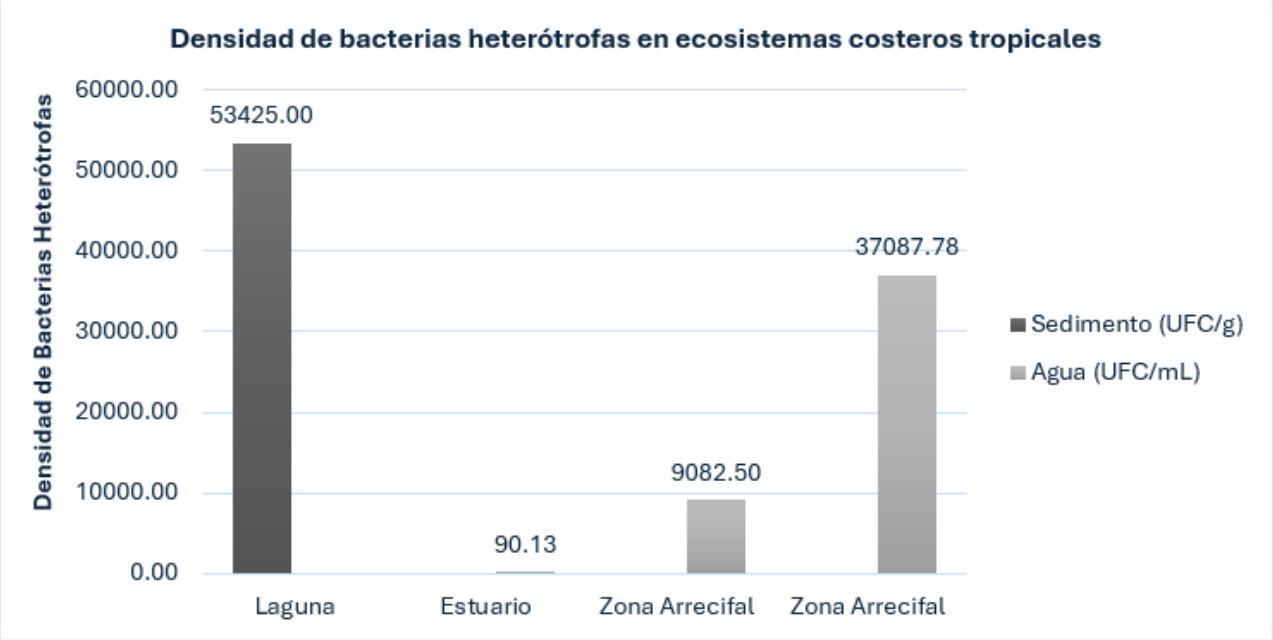


Fig. 1 - Densidad de bacterias heterótrofas marinas en diferentes hábitats costeros. Fuentes: Laguna costera [8] , estuario [9], arrecifes de coral [10], [11].

Los valores de abundancia bacteriana presentaron una tendencia marcada entre los sitios estudiados. México [8] y El Salvador [11] exhibieron las mayores densidades, correlacionadas con una alta disponibilidad de materia orgánica y posibles presiones antropogénicas. Por su parte, Cuba [10] e India [9] mostraron densidades significativamente menores, asociadas a condiciones de menor contenido orgánico, con patrones de variación regulados principalmente por la estacionalidad y las características fisicoquímicas específicas de cada ecosistema.

En conjunto, estos resultados demuestran que las bacterias heterótrofas responden a un gradiente trófico que va desde ambientes altamente enriquecidos hacia sistemas con menor disponibilidad de nutrientes, confirmando su utilidad como indicadores del estado trófico y del nivel de pertubación ambiental en ecosistemas costeros tropicales.

4.. CONCLUSIONES

Se revisó el conocimiento actual sobre la ecología de las bacterias heterótrofas marinas en ambientes costeros tropicales, su relación con factores ambientales clave y su potencial aplicación como indicadores biológicos para evaluar el estado trófico y los efectos del cambio climático. Los resultados comparativos muestran que la abundancia de bacterias

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

heterótrofas varía significativamente entre ecosistemas costeros tropicales y aumenta conforme lo hace la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica.
Estos hallazgos confirman que la densidad bacteriana es un indicador efectivo para evaluar el estado trófico, la calidad ambiental y las presiones antropogénicas sobre diferentes ecosistemas costeros tropicales, constituyéndose como una herramienta clave para apoyar estrategias de monitoreo y conservación en un contexto creciente de cambio climático.

Referencias

[1] F. Azam, T. Fenchel, J. Field, J. Gray, L. Meyer-Reil, y F. Thingstad, «The Ecological Role of Water-Column Microbes in the Sea», Mar Ecol Prog Ser, vol. 10, pp. 257-263, 1983, doi: 10.3354/meps010257.
[2] D. L. Kirchman, X. A. G. Morán, y H. Ducklow, «Microbial growth in the polar oceans - Role of temperature and potential impact of climate change», Nat Rev Microbiol, vol. 7, n.o 6, pp. 451-459, 2009, doi: 10.1038/nrmicro2115.
[3] J. J. Cole, S. Findlay, y M. L. Pace, «Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview», 1988.
[4] T. Röthig et al., «Human-induced salinity changes impact marine organisms and ecosystems», 1 de septiembre de 2023, John Wiley and Sons Inc. doi: 10.1111/gcb.16859.
[5] O. Hoegh-Guldberg y J. F. Bruno, «The impact of climate change on the world's marine ecosystems», 18 de junio de 2010. doi: 10.1126/science.1189930.
[6] L. Bopp et al., «Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: Projections with CMIP5 models», Biogeosciences, vol. 10, n.o 10, pp. 6225-6245, 2013, doi: 10.5194/bg-10-6225-2013.
[7] S. C. Doney et al., «Climate change impacts on marine ecosystems», Ann Rev Mar Sci, vol. 4, pp. 11-37, 2012, doi: 10.1146/annurev-marine-041911-111611.
[8] C. A. Silva-Ontiveros, S. de los S. Villalobos, J. R. Torres, M. Martínez-Porchas, A. Piñón-Gimate, y J. A. Arreola-Lizárraga, «Seasonal behavior of bacteria in black mangrove Avicennia germinans sediments», Madera y Bosques, vol. 30, n.o 4, jun. 2024, doi: 10.21829/myb.2024.3042609.
[9] C. Kademane, M. Rajesh, K. M. Rajesh, y A. K. Vandana, «STUDIES ON HETEROTROPHIC BACTERIA AND TOTAL COLIFORMS IN RELATION WITH ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF WATER IN GURUPUR ESTUARY, OFF MANGALURU, KARNATAKA, INDIA», Poll Res, vol. 37, n.o 4, pp. 989-995, 2018.
[10] G. M. Lugioyo, D. González, y I. García, «Evaluación de la calidad del agua de los arrecifes del golfo de Cazones, sur de Cuba, a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos», Revista Ciencias Marinas y Costeras, vol. 12, pp. 9-26, ene. 2020, doi: 10.15359/revmar.12-1.1.
[11] G. S. Montes Cardona, V. L. Mátal Gómez, y J. V. Segovia de González, «Bacterias heterótrofas de la zona arrecifal del Área Natural Protegida Complejo Los Cóbanos Heterotrophic bacteria of the reef area of the Protected Natural Area Complejo Los Cóbanos, Sonsonate, El Salvador», Realidad y reflexión, vol. 54, pp. 17-35, 2021.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Modelación de Alternativas para la Mejora de la Seguridad Vial en Intersecciones Críticas en David

Lan-Li, Stefanie
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
stefanie.lan@utp.ac.pa u https://orcid.org/0009-0001-6099-7979

Icaza, Analissa
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
analissa.icaza@utp.ac.pa

Rodríguez-Rodríguez, Roberto
Escuela de Relaciones Internacionales, Facultad de Administración Pública, Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
roberto.rodriguez@up.ac.pa u https://orcid.org/0009-0009-6180-9771

Harris, Angelino
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
angelino.harris@utp.ac.pa

Quijada-Alarcón, Jorge
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Sistema Nacional de Investigación (SNI), Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT)
Ciudad de Panamá, Panamá
jorge.quijada@utp.ac.pa u https://orcid.org/0000-0001-8938-0190

Abstract

The district of David, in the province of Chiriquí, has pedestrian traffic at several urban intersections that are not adequately equipped with infrastructure to ensure pedestrian safety and mobility. The absence of signage, crosswalks, and traffic control devices can directly expose the most vulnerable users of the road system. In front of this problem, by modeling and analyzing various intervention alternatives applied to critical intersections,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

the conditions of their road environment, both vehicular and pedestrian, are evaluated. VISSIM simulation software is used to anticipate the impact of different interventions before their physical application. The approach involves collecting data on pedestrian and vehicular mobility, accident records, existing signage, and physical conditions at key intersections, including areas such as the Burger King intersection of Ave. 4a Este and Calle A Sur, La Basita sports center, school facilities, Municipality and David Park. Among the alternatives considered are the installation of traffic lights, raised pedestrian crossings, relocation of intersections, speed reducers, adjustments to speed limits, and lane prioritization. Each approach is evaluated based on its impact on traffic volume, road safety, and compatibility with existing infrastructure. The results of the simulations are compared to identify the most efficient and viable solutions, which contribute to the planning of safer, more sustainable road systems that meet the needs of the David district.

Keywords: pedestrians, road intersections, road safety, traffic modeling, VISSIM.

Resumen

El distrito de David, en la provincia de Chiriquí, presenta flujos peatonales en varias intersecciones urbanas de las cuales carecen de infraestructuras adecuada que garantiza la seguridad y movilidad de los peatones. La ausencia de señalizaciones, pasos peatonales y dispositivos de control del tránsito puede exponer directamente a los usuarios más vulnerables del sistema vial. Ante dicha problemática mediante la modelación y análisis de diversas alternativas de intervención aplicados a las intersecciones críticas, se evalúan las condiciones de su entorno vial tanto vehicular como peatonal. Se emplea el software de simulación VISSIM, que permite anticipar el impacto de distintas medidas antes de su implementación física. La metodología contempla la recopilación de datos sobre la movilidad peatonal y vehicular, registros de siniestros, señalizaciones existentes y condiciones físicas en intersecciones claves, incluyendo zonas como la intersección de Ave. 4a Este y Calle A Sur de Burger King, el centro deportivo La Basita, centros educativos, el Municipio y el Parque de David. Entre las alternativas consideradas se simulan la instalación de semáforos, pasos peatonales elevados, reubicación de cruces, reductores de velocidad, cambios en los límites de velocidad y priorización de carriles. Cada propuesta se evalúa en función de su efecto sobre el volumen de tránsito, la seguridad vial y la compatibilidad con la infraestructura existente. Los resultados de las simulaciones se hacen comparativas que permiten identificar las soluciones más eficientes y viables, contribuyendo a la planificación de entornos viales más seguros, sostenibles y acordes con las necesidades del distrito de David.

Palabras claves: Intersecciones viales, modelación de tráfico, peatón, seguridad vial, VISSIM.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

La congestión vehicular constituye una de las principales problemáticas urbanas que enfrentan los países latinoamericanos y la seguridad vial se ha convertido en un aspecto de atención inmediata para la sociedad. El incremento constante de la demanda vehicular, junto con la limitada capacidad de las infraestructuras viales y la falta de planificación urbana efectiva, genera congestión de tráficos, demoras en las filas y disminuye la eficiencia del sistema de transporte. La seguridad vial depende de múltiples factores interrelacionados, entre los cuales destacan el estado de la vía de circulación y el comportamiento del conductor. Esta situación no solo afecta la movilidad y el tiempo de desplazamiento, sino que también incrementa los riesgos asociados a la seguridad vial, impactando directamente a conductores, peatones y demás usuarios de la vía. En este contexto, se vuelve imprescindible el desarrollo de estudios que permitan analizar, modelar y proponer soluciones orientadas a optimizar el flujo vehicular y garantizar condiciones de tránsito más seguras y sostenibles en entornos urbanos con aumento de tránsitos [1] [2].

El análisis de los niveles de servicio como indicador de evaluación del desempeño de una intersección o vía, permite medir la calidad de operación del tránsito en distintos escenarios de simulación permite identificar cuáles alternativas de diseño o control de tráfico como la implementación de reductores de velocidad, plataformas elevadas o semaforización para ofrecer un mejor equilibrio entre seguridad y movilidad. De esta manera, se busca determinar las configuraciones óptimas en base a la demora promedio por vehículo, capacidad vial disponible y longitud de las colas para cada punto de estudio, priorizando tanto la eficiencia del flujo vehicular como la seguridad de los usuarios del entorno vial [3] [4].

El uso del software de simulación VISSIM, permite modelar y analizar diferentes alternativas de optimización antes de su implementación física. Esta herramienta facilita la evaluación del impacto de las medidas propuestas sobre la infraestructura vial que enfrenta limitaciones y la seguridad vial en entornos con alto flujo vehicular, contribuyendo a la prevención de siniestros y al diseño de estrategias efectivas de mitigación de riesgos. [5] Asimismo, su aplicación permite sustentar las decisiones técnicas y evitar inversiones inapropiadas en intervenciones que no resulten eficientes en los puntos críticos de análisis. La simulación del tráfico permite evaluar la eficiencia del flujo vehicular y facilita la implementación de mejoras sobre la infraestructura existente, incorporando ajustes estratégicos que contribuyen a reducir la congestión y optimizar el desempeño del sistema vial [6].

La investigación ha sido realizada dentro del marco del programa de Estancias Académicas en el Laboratorio de Modelación de Sistemas de Transporte (MST-LAB) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá, Financiado por SENACYT.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MÉTODO

A. RECOLECCIÓN DE DATOS

La obtención de aforos vehiculares y peatonales, así como la caracterización física y operativa del sitio de estudio, con el propósito de establecer un modelo base representativo de las condiciones reales. Los aforos se registran mediante conteos manuales o asistidos durante un periodo de una hora, considerando los diferentes flujos y direcciones de circulación. Posteriormente, los datos obtenidos se integran en el software de simulación VISSIM para su procesamiento y análisis. Asimismo, se lleva a cabo la verificación de los elementos de señalización, control de tránsito y geometría vial presentes en el área, información esencial para la calibración del modelo y la validación de su comportamiento respecto al escenario actual.

B. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Se establecieron diferentes escenarios de simulación siguiendo una nomenclatura específica. El escenario E0 corresponde al modelo base, que representa las condiciones actuales del sitio. Los escenarios E1 a E6 consideran la incorporación de reductores de velocidad o speedtables como medida de control para mejorar la circulación. Los escenarios E7 a E10 incluyen configuraciones semafóricas con ciclos fijos y activación por pulsador. Finalmente, el escenario E11 combina semáforos y reductores de velocidad como alternativa integral para mitigar el exceso de velocidad en la zona de estudio.
Una vez determinadas los diferentes escenarios se procede a la simulación con diferentes semillas de probabilidad para producir los resultados.

C. EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ESCENARIOS Y DESEMPEÑO OPERACIONAL

A partir de los resultados obtenidos en VISSIM, se analizaron los componentes de desempeño correspondientes a los nodos de las intersecciones propuestas. Los datos generados incluyen los valores de demora promedio de vehículos (VehDelay), longitudes de colas (Qlen) y los niveles de servicio (LOS) establecidos por el programa, los cuales permiten evaluar la eficiencia operativa y determinar la factibilidad de cada alternativa en comparación con las condiciones actuales del sitio. Y a través de la demora promedia de los vehículos que está en relación de la longitud de la cola que se forma en por dirección de las calles que genera la intersección se analiza la alternativa optima de funcionamiento.

3. RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos en VISSIM a través de diez simulaciones de semillas de probabilidades diferentes para similar a la realidad que no genera la misma cantidad de demanda de carros dentro del sistema vial para los diferentes escenarios simulado, que

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

incluye reductores de velocidad, speedtables, semáforos y combinaciones de ambos:

Tabla 1. Resultados de los niveles de servicios en intersección Burger King, David.

Escenarios	LOS		*VehDelay* (s)	*Qlen* (m)		
				Ave. 4a Este (principal)	Calle A Sur (secundaria 2)	Calle A Sur (secundaria 1)
E0	4	D	29,45	5,69	4,29	20,74
E1	6	F	128,50	78,87	26,85	78,22
E2	6	F	128,04	73,55	11,81	81,21
E3	6	F	198,33	104,42	10,20	80,47
E4	6	F	93,68	55,94	15,94	74,76
E5	6	F	119,71	95,54	6,54	78,97
E7	6	F	132,20	73,73	6,36	78,80
E8	6	F	133,82	66,96	12,93	81,28
E9	6	F	197,97	88,28	55,45	81,13

La tabla 1 muestra que el escenario E4 resulta el más eficiente, ya que la incorporación de un reductor de velocidad previo al cruce en la vía principal de un solo sentido disminuye la longitud de las colas. En contraste, el escenario E3, que contempla la instalación de un speedtable en toda la intersección, genera mayores demoras y congestión en todas las direcciones. Los escenarios con semaforización presentan un comportamiento más equilibrado, con longitudes de cola promedio de 80 metros en la vía secundaria; sin embargo, el escenario E9, con un ciclo de 180 segundos, no resulta favorable.

Tabla 2. Resultados de los niveles de servicios en intersección Centro Deportiva La Basita.

Escenarios	LOS		*VehDelay (s)*	*Qlen (m)*			
				Ave. 6a Oeste (principal)	Ave. 6a Oeste (principal 2)	C. Central (secundario)	C. Central (secundario 2)
E0	1	A	8,51	0,03	0,02	3,58	6,10
E1	4	D	55,02	6,14	3,98	21,00	52,51
E2	5	E	113,45	15,81	7,89	47,24	98,6
E3	6	F	227,90	103,39	52,80	64,37	113,86
E4	3	C	24,77	7,98	6,11	7,77	18,25
E5	4	D	50,24	14,16	9,56	20,16	45,83
E6	6	F	93,63	16,96	11,77	30,16	92,05
E7	3	C	26,82	9,47	8,48	6,39	11,26
E8	5	E	105,01	13,73	11,44	35,22	95,47
E9	6	F	163,39	27,50	25,94	80,94	104,48

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En la tabla 2 muestra el análisis comparativo de las colas por dirección evidencia que las alternativas más eficientes corresponden a los escenarios E1 y E4, donde se propone la implementación de reductores de velocidad o speedtables en la vía secundaria. Estas configuraciones permiten una mejor fluidez vehicular sin afectar significativamente la circulación principal. En contraste, el escenario E3, que contempla una plataforma elevada en todo el cruce, resulta menos favorable al generar una mayor acumulación vehicular debido a la reducción excesiva de velocidad en ambas direcciones. Por otro lado, la instalación de semáforos de cuatro fases en esta intersección no representa una solución viable por su baja eficiencia operativa.

Tabla 3. Resultados de los niveles de servicios en intersección Hospital Materno Infantil.

Escenarios	LOS		*VehDelay (s)*	*Qlen (m)*		
				Carretera Panamericana 2	Carretera Panamericana 1	Salida del Hospital
E0	1	A	0,54	1,68	0,84	0,82
E1	6	F	69,54	274,48	166,64	11,30
E4	6	F	55,01	275,57	149,26	14,85
E7	1	A	10,45	28,54	9,73	0,85
E10	2	B	11,59	41,13	8,12	0,84
E11	6	F	102,32	274,19	196,82	11,69

La comparación de las colas por dirección en la tabla 3 muestra que los escenarios E1, E4 y especialmente E11, que incorporan speedtables o reductores de velocidad, provocan un aumento considerable en la longitud de las colas vehiculares, por lo que no representan una alternativa adecuada para la vía analizada. A diferencia de la implementación de semaforización por ciclo o mediante botón, como se plantea en los escenarios E7 y E10, resulta una opción más eficiente y segura, ya que facilita el cruce peatonal y mejora la interacción entre el flujo vehicular y peatonal.

Dado los análisis de niveles de servicio muestran que la intersección de Burger King presenta un desempeño aceptable en el escenario actual con nivel de servicio (LOS D), pero las alternativas propuestas reducen su eficiencia (LOS F), destacando E3 y E9 como las menos favorables por sus mayores demoras. En el Centro Deportivo La Basita, la condición actual es óptima (LOS A), y las mejores opciones son E4 (LOS C) al incorporar reductores de velocidad, mientras que E3 presenta el peor rendimiento (LOS F). En el Hospital Materno Infantil, las combinaciones de medidas generan mayores demoras, siendo más eficientes los escenarios con semaforización por ciclo o por botón (E7 y E10).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

En la comparación de los tres puntos de estudio (Burger King, Centro Deportivo La Basita y Hospital Materno Infantil), se observa que las intervenciones con reductores de velocidad o speedtables no siempre generan mejoras en la operación vial, ya que en algunos casos incrementan significativamente las colas y demoras.

En cambio, las alternativas con semaforización controlada o por botón resultan más adecuadas, especialmente en zonas con alto flujo peatonal como el Hospital.

Los niveles de servicio varían desde A hasta F, evidenciando que la elección del tipo de control influye directamente en la capacidad y eficiencia del flujo vehicular. En general, las opciones más equilibradas y favorables corresponden a aquellas que aplican medidas moderadas de control sin comprometer la movilidad.

Referencias

[1] A. Berbey Álvarez, F. Henríquez Espinosa y J. d. D. Sanz Bobi, «Un siglo de estudios de transporte en Panamá: una revisión,» Universidad Nacional de Educación a Distancia (España), Universidad Politécnica de Madrid., 2022.

[2] J. L. Santivañez Sanchez, «Seguridad vial, accidentes y responsabilidad empresarial en Lima: Revisión sistemática 2019-2024», YACHAQ, n.º 19, pp. 97–132, ago. 2025.

[3] A. Pratama, G. Kharisma, T. P. Setiawan, A. Rijaluddin y M. Taufik, «A Systematic Review of the Impact of Side Frictions on Road Service Levels in Urban Roadways,» Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, vol. 4, nº 2, pp. 5355-5363, Julio 2025.

[4] J. N. Hasan y N. A. Hussein, «Traffic Assessment and Optiization at Signalized Intersections: A Review Study,» Journal of University of Duhok, vol. 25, nº 1, pp. 124-141, 2022.

[5] E. Avalos, P. Palomino y D. Muñoz, «Incorporación de medidas de prevención de accidentes en el diseño de infraestructura vial: Una revisión sistemática,» Revista Espacio, vol. 46, nº 15, 2025.

[6] D. Zavaleta Hoyos, «Programa Synchro Traffic para mejorar la optimización del tránsito vehícular: una revisión de la literatura ciéntifica,» Universidad Privada del Norte, 2021.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

ANÁLISIS ESPACIAL DE ZONAS CRÍTICAS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN PANAMÁ POR CORREGIMIENTO

Rivera-Quirós, Pedro
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
Ciudad Panamá, Panamá
pedro.rivera@utp.ac.pa
0009-0007-7265-7721

Rodríguez - Rodríguez, Roberto
Escuela de Relaciones Internacionales, Facultad de administración Pública, Universidad de Panamá, Panamá
Ciudad Panamá, Panamá
roberto.rodriguez@up.ac.pa
0009-0009-6180-9771

Icaza, Analissa
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
Ciudad Panamá, Panamá
analissa.icaza@utp.ac.pa

Harris, Angelino
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
Ciudad Panamá, Panamá
angelino.harris@utp.ac.pa

Quijada-Alarcón, Jorge
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
Sistema Nacional de Investigación (SNI), secretaria nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), Panamá
Ciudad Panamá, Panamá
* jorge.quijada@utp.ac.pa
0000-0001-8938-0190

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Abstract

Traffic accidents represent a critical challenge in America Latina, affecting public health, urban mobility, and land-use planning. In Panamá, traffic accidents have shown a consistent increase in recent years.

Factors such as disorderly urban expansion, infrastructure saturation, and limited implementation of preventive measures contribute to accident occurrence, particularly in areas with high traffic density.

This study aimed to identify critical traffic accident zones by corregimiento in Panamá during 2023, using data from the Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). A combined approach of statistical and spatial analysis was applied through Geographic Information Systems (GIS). The methodology included data cleaning, classification of accidents by severity and frequency, and the generation of density maps and thematic layers to visualize areas with higher risk.

Results indicate a significant concentration of accidents in specific corregimientos, with notable disparities among them. Some areas exhibited high occurrence levels, while others maintained low figures. These findings enable the identification of critical zones, support targeted intervention strategies, and provide technical inputs for public policies aimed at preventing accidents and enhacing road safety.

The study underscores the importance of integrating statistical and spatial analyses into urban mobility management, providing tools to prioritize preventive measures, optimize resources, and promote a safer and more sustainable urban environment.

Keywords: traffic accidents, spatial analysis, road safety, Geographic Information System, urban mobility.

Resumen

La siniestralidad vial constituye un desafío critico en América Laina, afectando la salud pública, la movilidad urbana y la planificación territorial. En Panamá, los accidentes de tránsito han mostrado un aumento constante. La expansión urbana desordenadas, el aumento de la demanda sobre la red vial existente y la limitada aplicación de medidas preventivas favorecen la ocurrencia de siniestros, especialmente en áreas de alta concentración de tráfico.

Este estudio identifico zonas críticas de accidentes de tránsito por corregimiento en Panamá durante 2023, utilizando datos del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). Se aplico un enfoque combinado de análisis estadístico y espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología incluyó depuración de datos, clasificación de accidentes por severidad y frecuencia, y generación de mapas de densidad y capas temáticas para

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

identificar áreas de mayor riesgo.
Los resultados muestran concentración significativa de accidentes en ciertos corregimientos y disparidades entre ellos. Algunos presentan niveles elevados de ocurrencia, mientras que otros mantienen cifras bajas. Esta información permite identificar zonas críticas, fundamentar estrategias focalizadas y generar insumos técnicos para políticas públicas orientadas a prevenir accidentes y mejorar la seguridad vial.
El estudio subraya la importancia de integrar análisis estadístico y espacial en la gestión de la movilidad urbana, ofreciendo herramientas para priorizar acciones preventivas, optimizar recursos y promover una ciudad más segura y sostenible.

Palabras claves: accidente de tránsito, análisis espacial, Sistema de Información Geográfica, movilidad urbana, seguridad vial

1. INTRODUCCIÓN

La siniestralidad vial constituye uno de los principales desafíos urbanos en el mundo, impactando directamente la salud pública, la movilidad y la planificación territorial. En la ciudad de Panamá, la concentración de vehículos y peatones en corredores principales genera condiciones propicias para las ocurrencias de accidentes, especialmente en zonas densamente pobladas. Estos incidentes no solo tienen consecuencia económicas y sociales, sino que también representa un reto para las
autoridades encargadas de la seguridad vial que es la Autoridad del Tránsito y Transporte Terrestre y la infraestructura urbana que es el Ministerio de obras Públicas.
Estudios previos han demostrado que los accidentes de transito no ocurre de manera aleatoria, sino que presentan patrones espaciales y temporales asociados a la infraestructura vial, la densidad urbana y el comportamiento de los usuarios [1], [2]. La identificación de estos patrones mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis estadístico permite localizar zonas críticas, facilitando la implementación de estrategias de prevención focalizadas y la optimización de recursos.
En Panamá, investigaciones recientes han abortado la relación entre infraestructura vial y movilidad urbana. [1] destacan que la saturación y el diseño de la red vial en Panamá Este contribuyen a la concentración de accidente en determinados corredores. [2] utilizaron flujos de datos de redes sociales y aprendizaje automático para clasificar incidentes de tránsito en la ciudad, mostrando como fuentes de información alternativas pueden complementar los registros oficiales. [3] realizaron un estudio epidemiológico sobre lesiones por accidentes de transito en niños en Panamá y otros países de Centroamérica, evidenciando la vulnerabilidad de ciertas poblaciones y la necesidad de políticas preventivas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

focalizadas. [4] Analiza la evolución y distribución geográfica de los accidentes en Panamá entre 2001 y 2023, demostrando la concentración de siniestros en corredores principales y la importancia de intervenciones diferenciadas por área.

Al mismo tiempo, el contexto regional también ofrece lecciones importantes. [5] presentan los desafíos y oportunidades para mejorar la seguridad vial en América Latina y el Caribe, permitiendo situar el caso de Panamá entro de tendencias mas amplias. [6] evaluaron la conectividad de la red peatonal en Ciudad de Panamá, demostrando como la infraestructura peatonal influye en la accesibilidad y en la exposición al riesgo de los peatones.

El estudio utiliza datos del INEC (2022-2023) sobre accidentes por corregimiento en el distrito de Panamá, clasificado en colisión, colisión con objeto fijo, vuelco, atropello y mixto. Esta INformacion permite analizar la distribución espacial, frecuencia y severidad de los accidentes. El obejtivo es identificar zonas de concentración de sinisietro y evaluar su distribución territorial mediante análisis estadísticos descriptivos y SIG, para priorizar preventivas y una movilidad urbana.

La investigación ha sido realizad dentro del marco del programa de Estancias Académica en el Laboratorio de Modelación de Sistemas de Transporte (MTS-LAB) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá, financiado por SENACYT.

2. MÉTODO

La metodología se estructuro en cuatro fases complementarias orientadas a garantizar la consistencia, precisión y validez del análisis espacial de los siniestros viales registrados en el distrito de Panamá durante el año 2022 y 2023. Cada etapa se diseño considerando cada dato, su resolución espacial y los objetivos analíticos del estudio.

A. RECOPILACIÓN Y MAPEO DE DATOS:

Se obtuvieron los registros de siniestros viales del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), clasificados según el tipo de sinestro, la vía y el corregimiento correspondiente. Los datos fueron sometidos a un proceso de depuración y normalización, que incluyo la eliminación de registros
duplicados, la verificación y estandarización de los nombres de las vías. Posteriormente, se integraron dentro del SIG, donde se construyó una base de datos espacial por atributos de área, representando
los totales de accidentes por corregimiento. Este procedimiento permitió obtener una cartográfica base para la posterior interpretación espacial.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

B. ANALISIS ESTADISTICO Y COMPARATIVO:

Una vez depurados los registros, se realizó un análisis descriptivo orientado a calcular el numero total de accidentes por corregimiento y su variación porcentual respecto al año 2022 y 2023. Esta comparación temporal permitió identificar áreas con incrementos o reducción significativas de siniestros, aportando una visión clara de cómo el fenómeno ha evolucionado en función del crecimiento urbano y la dinámica vehicular. A partir de los totales anuales consolidados, se interpretó el comportamiento general de los accidentes en cada corregimiento, destacando las diferencias de riesgos que presentan los distintos sectores del distrito de Panamá

C. NORMALIZACION DEL RIESGO:

Para garantizar una evolución equitativa entre unidades espaciales de diferente tamaño poblacional, se calculo la tasa de siniestralidad por cada 1000 habitantes. Esta transformación permitió homogeneizar los valores absolutos y obtener una medida proporcional de la exposición al riesgo. Así, se logro identificar corregimiento con alta concentración de accidentes en relación con población, evidenciados que la magnitud del riesgo no depende exclusivamente del numero totales de eventos, sino también de la densidad demográfica y del nivel de tránsito vehicular.

D. REPRESENTACION E INTERPRETACION ESPACIAL:

Finalmente, se desarrollaron representaciones gráficas y mapas temáticos que permitieron visualizar la distribución de los accidentes por corregimientos y comparar sus niveles relativos de riesgo. A partir de los totales consolidados, se calcularon índices que facilitaron la interpretación de la siniestralidad vial en términos proporcionales, evidenciando las zonas con mayor concentración de eventos. Estas visualizaciones se elaboraron en un entorno SIG y se complementaron con graficas estadísticos que reforzaron la compresión de las diferencias territoriales con el propósito de generar insumos útiles para prevención en materia de seguridad vial.

3. Resultados

Para facilitar el análisis de los accidentes registrados en los 26 corregimientos del distrito de Panamá, se organizó la información en la Tabla 1, la cual resume los atributos fundamentales que serían colisión, colisión con objeto Fijo, vuelco, atropello y otras (incluye caída de personas o cosas del vehículo en marcha o todas las anteriores combinadas) considerados para la construcción de las gráficas. Esta Tabla no muestra todos los valores individuales, sino una representación sintética de los datos utilizados en el proceso analítico.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Totales de accidentes por tipo y corregimiento, año.

Corregimiento	Colisión		Colisión con objeto fijo		Vuelco		Atropello		Mixta	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Ancón	1,542	1,817	185	201	42	33	15	17	38	72
Betania	1,140	1,249	61	37	7	8	19	21	14	21
San Francisco	1,115	1,231	63	59	8	2	13	15	11	19
Bella Vista	1,112	1,342	52	47	3	3	26	17	7	9
Juan Díaz	875	994	49	57	0	2	13	22	16	13

A partir de los valores consolidados en la Tabla 1, se realizo la suma total de accidentes por corregimiento, lo que permitió generar la Fig. 1, enfocada en mostrar de forma comparativa la distribución anual de siniestros. Esta representación facilita aprecias como varia la magnitud de los accidentes entre corregimiento y sirve como una primera aproximación visual para identificar áreas con mayor concentración de eventos.

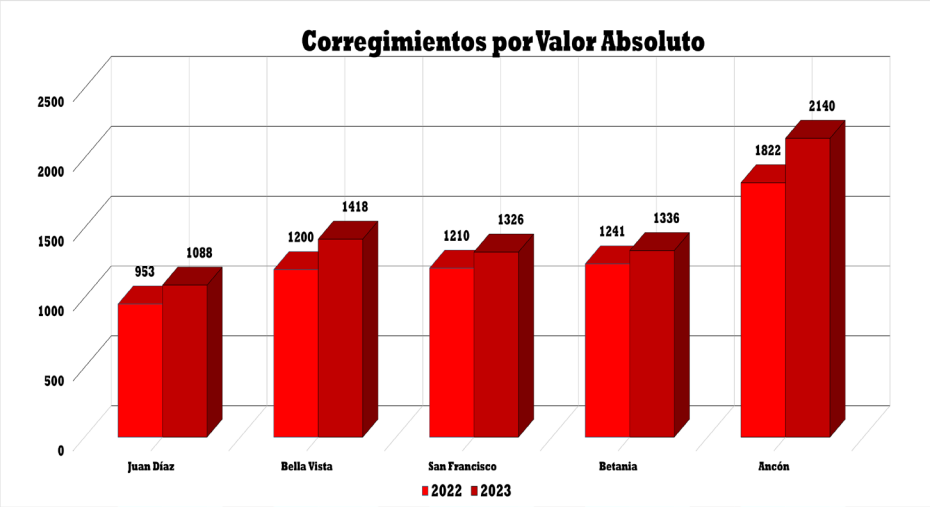


Fig. 1. Corregimiento por Valor Absoluto, años.

Con base en los totales anuales, se calculó un índice que permitió evidenciar el nivel de riesgo relativo entre corregimiento. Los resultados muestran contrastes que no son visibles únicamente a partir de valores absolutos, destacando corregimiento donde la probabilidad de ocurrencia es proporcionalmente mayor o menor respecto a su población. Estos patrones se visualizan en la Fig. 2 donde se observan diferencias marcadas en el índice del riesgo entre las distintas áreas del distrito.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

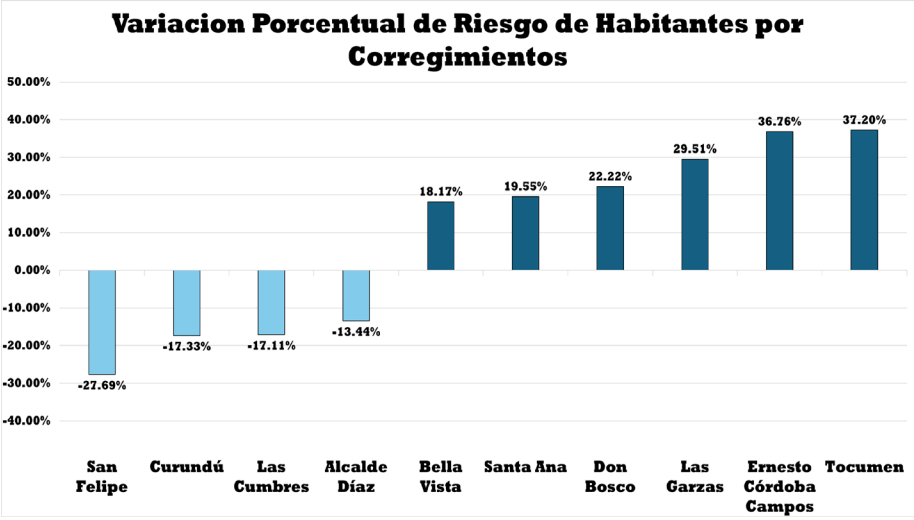


Fig. 2. Variación Porcentual de Riesgo de Habitantes por Corregimiento.

4. CONCLUSIONES

El análisis espacial y descriptivo de los accidentes de tránsito en el distrito de Panamá permitió identificar diferencias significativas entre corregimientos tanto en valores absolutos como en tasas ajustadas por población. La comparación entre 2022 y 2023 evidencio que, aunque algunos corregimientos mantienen niveles relativamente estables, otros experimentan incrementos que reflejan dinámicas locales de movilidad diferentes. La representación grafica de los totales anuales y de las tasas por cada 1000 habitantes facilito una lectura mas precisa del comportamiento del riesgo vial en el territorio.

Los resultados mostraron que el corregimiento de San Felipe registro una reducción en su tasa de accidentes. En contraste al corregimiento de Tocumen presento las tasas mas elevadas del distrito, posicionándose como el corregimiento con mayor nivel de riesgo relativo.

Este hallazgo señala la importancia de fortalecer estrategias preventivas y de planificación urbana en la Ciudad de Panamá, así como la necesidad de continuar monitoreando la evolución del fenómeno para diseñar intervenciones mas focalizadas y efectivas a nivel local.

Referencias

[1] C. De león- Camarena, G. Bethacourt-Lasso, R.Rodriguez y J.Quijada-Alarcón, “Estudio de la relación de la infraestructura vial y la movilidad urbana en Panamá este”, SusBCity, vol.6,no.1,2024

[2] L. Liu, A. Guevara y J. E. Sanchez-Galan, “Identification and classification of road traffic incidents in Panama City through the analysis of a social media stream and machine learning,” Intelligent

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Systems with Applications, Elsevier, 2022..
[3] V. Núñez-Samudio, I. Landires et al., “Epidemiological Characteristics of Road Traffic Injuries in Children (0–14 years) in Costa Rica, Guatemala and Panama,” Int. J. Environ. Res. Public Health, vol. 18, no. 1, 2021.
[4] P. A. C. Portugal, “Análisis de la evolución y distribución geográfica de la accidentalidad vial en Panamá (2001–2023),” Revista Social Fronteriza, 2025.R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” J. Name Stand. Abbrev., in press.
[5] S. Martínez, R. Sánchez, P. Yáñez-Pagans, “Road safety: challenges and opportunities in Latin America and the Caribbean,” Latin American Economic Review, vol. 28, Art. 17, 2019.
[6] E. L. Arrieta, M. Molina, “Assessing Pedestrian Network Continuity: Insights from Panama City’s Context,” Urban Sci., vol. 9, no. 3, p. 58, 2025.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Caracterización del comportamiento de los conductores y peatones ante un cruce peatonal en David

Valdés-González, Meybi
Grupo de investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
meybi.valdes@utp.ac.pa u https://orcid.org/0009-0008-0523-0960

Quijada-Alarcón, Jorge
Grupo de investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jorge.quijada@utp.ac.pa u https://orcid.org/0000-0001-8938-0190

Icaza, Analissa
Grupo de investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
analissa.icaza@utp.ac.pa

Rodríguez-Rodríguez, Roberto
Escuela de Relaciones Internacionales, Facultad de Administración Pública, Universidad de Panamá
Panamá, Panamá
roberto.rodrigezr@up.ac.pa u https://orcid.org/0009-0009-6180-9771

Harris, Angelino
Grupo de investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
angelino.harris@utp.ac.pa

Abstract

According to the World Health Organization, traffic accidents remain high, and in Panama, pedestrian safety has been compromised in recent years due to an increase in traffic accidents involving pedestrians. Pedestrian crossings are essential, as they allow pedestrians to move around safely and in an organized manner. This study focuses on characterizing, analyzing, and describing how drivers and pedestrians behave in the presence or absence

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

of pedestrian crossings at strategic points of interest in the district of David, in the province of Chiriquí.
The research adopted a quantitative approach, mainly using observation via cameras placed at selected sites. One-hour recordings were made, which served as the basis for traffic counts, allowing key information on various variables of interest to be collected. Among these variables, the correct use of pedestrian crossings by both pedestrians and drivers stands out, as well as whether drivers tend to invade pedestrian crossings.
The results obtained made it possible to identify patterns of behavior by age, gender, and type of vehicle, as well as to observe the current state of pedestrian crossings at the study sites. Based on the results obtained, the information could prove useful, as it opens up the opportunity to begin promoting road safety education and raising public awareness, as well as improving the current infrastructure of pedestrian crossings.

Keywords: behavior, drivers, crosswalk, Panama, pedestrians.

Resumen

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, los accidentes por tránsito siguen siendo altos y en Panamá, la seguridad de los peatones se ha encontrado comprometida durante estos años debido al incremento de accidentes de tránsito que involucran a los peatones. Los cruces peatonales son parte fundamental, ya que permiten que los peatones puedan desplazarse de forma segura y organizada. El presente estudio se centra en caracterizar, analizar y describir de qué forma se comportan los conductores y peatones ante la presencia o ausencia de cruces peatonales en puntos de interés estratégicos del corregimiento de David, en la provincia de Chiriquí.
El enfoque de la investigación adoptó un enfoque cuantitativo, utilizando principalmente la observación mediante cámaras colocadas en los sitios seleccionados. Se realizaron grabaciones con duración de una hora que sirvieron como base para aforos, permitiendo recolectar información clave sobre diversas variables de interés. Dentro de esas variables se destacan el uso correcto de los cruces peatonales tanto peatones como de los conductores o si los conductores tienden a invadir los cruces peatonales.
Los resultados obtenidos permitieron identificar patrones de comportamiento, por edad, género y tipo de vehículo, además de observar en qué estado se encuentran, de forma actual, los cruces peatonales en los puntos de estudio. En base a los resultados obtenidos, la información puede llegar a ser útil, ya que abre la oportunidad de empezar a fomentar la educación vial y crear conciencia ciudadana, además de poder mejorar las infraestructuras actuales de los cruces peatonales.

Palabras claves: comportamiento, conductores, cruce peatonal, Panamá, peatones.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Según el informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2023 elaborado por la organización mundial de la salud (OMS), a nivel mundial, los ocupantes de vehículos representan el 25% de las muertes, mientras que los peatones representan el 21% [1]. En Panamá, los accidentes de tránsito han aumentado considerablemente durante los últimos años. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá, para el año 2024 se registró un total de 48,887 accidentes, lo que represento un 7.2% de crecimiento en comparación con el año anterior, donde el 2.5% eran atropellos [2].

Esta situación puede atribuirse en parte, al comportamiento de los conductores y peatones, ante la presencia de un cruce peatonal debidamente o no señalizado. En Panamá, el cruce peatonal mejora la seguridad de los peatones, si estos están adecuadamente señalizados, advierten al conductor de la presencia de peatones en la vía. La infraestructura del cruce peatonal influye en la toma de decisiones. Cuando la calle no cuenta con señalización marcada de cruce, las personas tienden a esperar que la calle se encuentre despejada o esperan a que los vehículos bajen la velocidad [3]. El comportamiento peatonal y vehicular hace referencia a las acciones y tomas de decisiones que se toman al momento de desplazarse en la vía pública.

En el reglamento de tránsito, de forma específica, en el capítulo I, título III se indican las normas de comportamiento en el tránsito de los peatones, donde el artículo 103 señala que el peatón debe esperar el momento que no exista tránsito vehicular, o que la distancia más próxima del vehículo sea tal que puede realizar el cruce sin ningún inconveniente [4].

La investigación ha sido realizada dentro del marco del programa de Estancias Académicas en el Laboratorio de Modelación de Sistemas de Transporte (MST-LAB) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá, Financiado por SENACYT.

2. MÉTODO

El área de estudio comprende el corregimiento de David, provincia de Chiriquí. Dentro del corregimiento de David se seleccionaron cuatro puntos de estudio y cinco intersecciones: la intersección de la policlínica Gustavo A. Ross, la intersección entre la avenida 4a este y C.A. Sur (Burger King), la intersección del colegio Félix Olivares Contreras y dos intersecciones del parque Miguel de Cervantes Saavedra. Estos puntos fueron seleccionados por ser de naturaleza vulnerable y que contaban con alto flujo peatonal y vehicular.

La investigación es de tipo cuantitativa, observacional. Este diseño resulto ser el adecuado, ya que permitió recopilar y analizar la información a partir de la observación de videos grabados en los distintos puntos de estudio dentro del corregimiento de David, provincia de Chiriquí.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

La interacción conductor-peatón se da por diversas variables, y se originan, en su mayoría en los cruces peatonales que cuentan con semáforos, si los peatones cometen la imprudencia de caminar sobre el paso cebra fuera de sus señalizaciones [5], aunque estos también dependen de si estos están demarcados. La interacción en la mayoría de los casos se sobreentiende y se refleja en señales no verbales entre los conductores y peatones, lo que muchas veces puede generar confusión [5]. Tomando en cuenta esas consideraciones se establecieron los diversos criterios de evaluación, tanto para los peatones como para los conductores. Los datos se registraron de forma manual en hojas diseñadas para determinar la cantidad de peatones y conductores que realizaban la acción, posteriormente, estos datos fueron procesados y analizados en el Microsoft Excel.

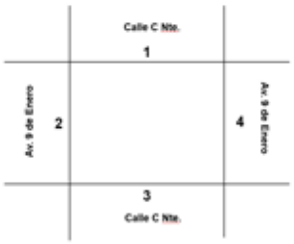
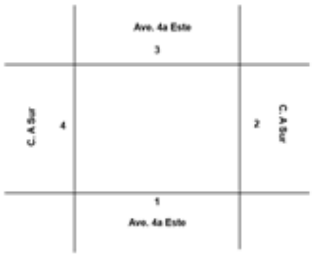
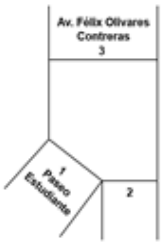
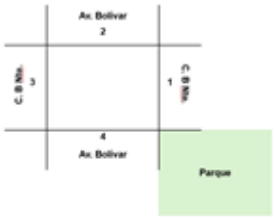
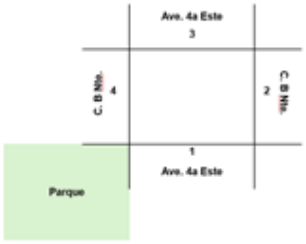
3. RESULTADOS

Con el propósito de caracterizar el comportamiento de peatones y conductores en los cruces peatonales de los sitios de estudio, a continuación, se presentan los resultados de acuerdo con los indicadores analizados.

A continuación, en la tabla 1 se muestra el estado actual con respecto a la presencia de un cruce peatonal señalizado.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Presencia de cruce peatonal señalizado.

Intersección	Esquema	Movimiento	Tiene el cruce demarcado
Policlínica Gustavo A. Ross		#1	✓
		#2	✓
		#3	✓
		#4	✓
Intersección entre la avenida 4a este y C.A. Sur (Burger King)		#1	✗
		#2	✗
		#3	✗
		#4	✗
Colegio Félix Olivares Contreras		#1	✓
		#2	✓
		#3	✓
Parque Miguel de Cervantes Saavedra. I#1		#1	✓
		#2	✗
		#3	✓
		#4	✓
Parque Miguel de Cervantes Saavedra. I#2		#1	✗
		#2	✗
		#3	✗
		#4	✓

De la muestra analizada, se obtuvo que el 57.73% de los peatones fueron adultos, donde el 29.65% eran mujeres, seguido de los jóvenes con un 20.97%, los niños con un 11.30% y los adultos mayores representados con un 10%. Por su parte, los vehículos con un 64.92%

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

representados por vehículos particulares – que lo conforman los sedan, SUV y Pick up –, seguido de los taxis con un 27.29%, los buses con un 4.01%, los camiones con un 1.62%, las motos con un 1.16%, las bicicletas con un 0.62% y, por último, los vehículos de servicio con un 0.39%.

En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos con respecto al indicador de si los peatones utilizaron el paso cebra.

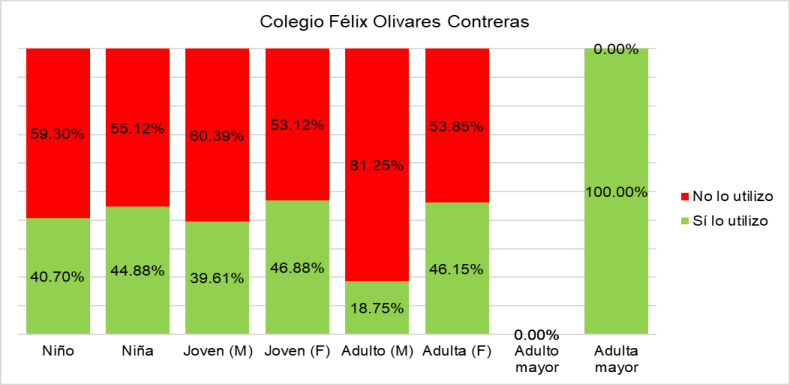


Figura 1, gráfica del indicador utilizaron el paso cebra en el colegio Félix Olivares Contreras.

En la figura 2 y en la figura 3, se presentan los resultados de dos intersecciones: la de la Policlínica Gustavo A. Ross y la de Colegio Félix Olivares Contreras, con respecto al indicador de si los peatones miraban antes de cruzar el paso peatonal.

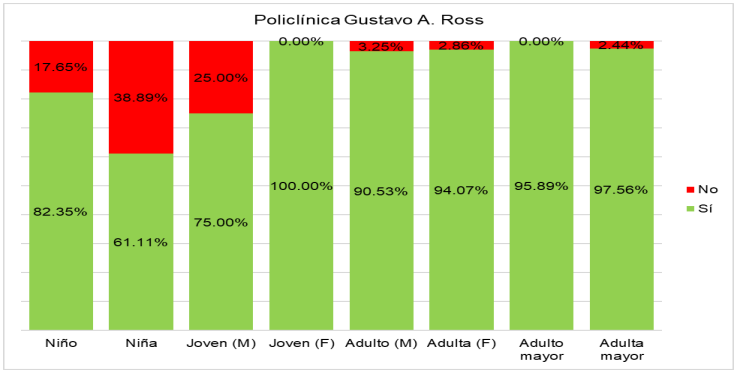


Figura 2, Barras comparativas con respecto al indicador de si los peatones miraban antes de cruzar en la Policlínica Gustavo A. Ross.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

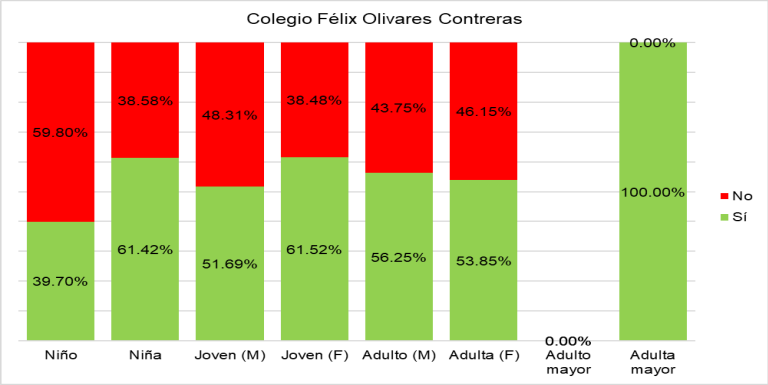


Figura 3, Barras comparativas con respecto al indicador de si los peatones miraban antes de cruzar en el Colegio Félix Olivares Contreras.

Otro de los indicadores evaluados era el de si los peatones aceleraban el paso al momento de cruzar, en este aspecto los resultados fueron positivos, porque, tanto para la intersección entre la avenida 4a este y C.A. Sur (Burger King) como la del colegio Félix Olivares Contreras, en su mayoría, los peatones no aceleraban el paso al momento de cruzar.

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos por parte de los conductores con respecto al indicador de si estos invadían el paso peatonal.

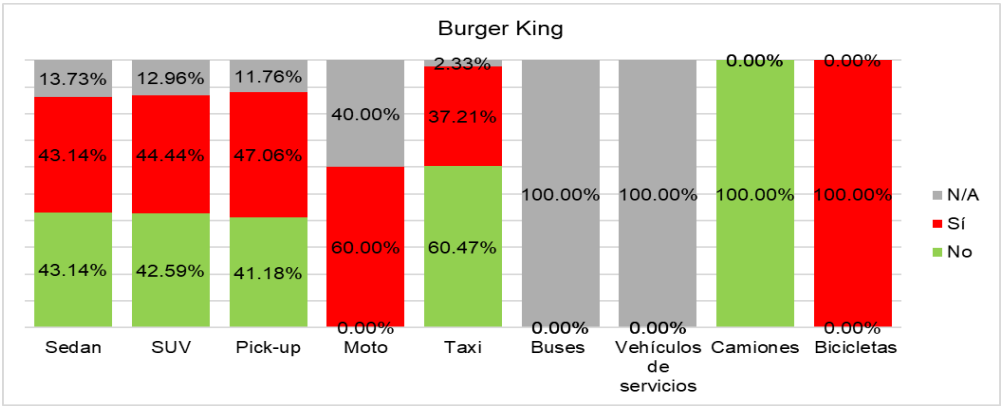


Figura 4, Barras comparativas con respecto al indicador de si los vehículos invadieron el paso peatonal.

4. CONCLUSIONES

El comportamiento observado en los puntos de estudio evidencia la falta de cultura y educación vial en el corregimiento de David. En la zona escolar, a pesar de que el cruce peatonal estaba demarcado, los peatones cruzaban de forma imprudente el cruce peatonal, lo que indica que, aunque este se encuentre señalizado no garantiza el uso adecuado de los mismos.

El estado de la infraestructura se vincula de manera significativa con la cultura de la población,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ya que, hay más posibilidades de que se generen confusión sobre el uso de estas, si estas no están señalizadas y que sean visibles tanto para los peatones y conductores. La investigación refleja la necesidad de fortalecer la infraestructura vial, dar mantenimiento adecuado a las señalizaciones existentes y promover la educación vial a la población en general.

Referencias

[1] World Health Organization- WHO, Global status report on road safety 2023, Switzerland, 2023.
[2] Instituto Nacional de Estadística y Censo- INEC, Accidentes de Tránsito: Años 2024,Panamá, 2025.
[3] M. Lanzer, M. Gieselmann, K. Mühl y M. Baumann, “Assessing crossing and communication behavior of pedestrians at urban streets” ScienceDirect, vol. 80, pp. 341-358, 2021.
[4] Autoridad del tránsito y transporte terreste- ATTT, “Reglamento de tránsito” 27 Diciembre 2006. [En línea]. Available: https://transito.gob.pa/reglamento-de-transito/. [Último acceso: 12 Noviembre 2025].
[5] H. Amado, S. Ferreira, J. P. Tavares, P. Ribeiro y E. Freitas, «Pedestrian–Vehicle Interaction at Unsignalized Crosswalks: A Systematic Review,» MDPI, vol. 12, 2020.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Desarrollo metodológico de un sistema de monitoreo IoT-ML para la red de acueducto de Los Santos, Panamá

Melgar, Yarelis
Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, República de Panamá
yarelis.melgar@utp.ac.pa

Hooper, Mauricio
Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, República de Panamá
mauricio.hooper@utp.ac.pa

Abstract

Water supply systems in Panama experience water losses of close to 45%, a situation exacerbated by the lack of real-time network monitoring. This work proposes the methodological development of a LoRaWAN monitoring system for the Los Santos water distribution network, which supplies more than 57,000 inhabitants in the Arco Seco region through the treatment of La Villa River water at the IDAAN Rufina Alfaro water treatment plant. The methodology defines the IoT architecture and proposed machine learning algorithms to assess current pressure patterns and predict their behavior. The IoT architecture is structured into four main layers: acquisition, communication, storage, and application. The study defines the IoT sensing scheme based on LoRaWAN, the communication protocols, a hybrid cloud–local storage architecture, methods for data cleaning and validation, visualization dashboards, and the procedure for building the predictive pressure model, from training through to validation of the data obtained.

Keywords: Internet of Things, LoRaWAN, MQTT, Machine Learning, water monitoring.

Resumen

Los acueductos en Panamá registran pérdidas de agua cercanas al 45%, agravadas por la falta de monitoreo de la red en tiempo real. Este trabajo propone el desarrollo metodológico de un sistema de monitoreo LoRaWAN para la red de acueducto de Los Santos, que beneficia a más de 57,000 habitantes en la Región del Arco Seco a través del tratamiento de las aguas del río La Villa en la planta potabilizadora IDAAN Rufina Alfaro. La metodología

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

define la arquitectura IoT y los algoritmos de aprendizaje automático propuestos para evaluar los patrones de presión actuales y predecir su comportamiento. La arquitectura IoT se desarrolla en cuatro capas principales: adquisición, comunicación, almacenamiento y aplicación. Se logró definir la sensorización IoT basada en LoRaWAN, los protocolos de comunicación, una arquitectura híbrida de almacenamiento en nube y local; métodos para limpieza y validación de datos, tableros de visualización, y el procedimiento para la construcción del modelo predictivo de presiones, desde el entrenamiento hasta validación de los datos obtenidos.

Palabras claves: Internet of Things, LoRaWAN, MQTT, Machine Learning, water monitoring.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de agua potable enfrentan estrés hídrico, envejecimiento de infraestructura y altas pérdidas, por lo que los enfoques basados solo en inspecciones y registros puntuales resultan insuficientes [1]. La medición en tiempo real, soportada en IoT y machine learning, permite controlar presiones, detectar y localizar fugas con mayor rapidez, mejorando los indicadores operativos y la toma de decisiones [2]–[4]. En este contexto, las LPWAN ofrecen gran cobertura con bajo consumo; entre ellas, LoRaWAN sobresale en entornos semiurbanos por su escalabilidad, robustez y adecuada gestión de red [5]. Este trabajo propone un sistema de monitoreo LoRaWAN para la red de acueducto de Los Santos, que abastece a más de 57 000 habitantes de la región del Arco Seco de Panamá mediante la planta potabilizadora IDAAN Rufina Alfaro [6].

2. MÉTODO

A. Área de estudio

El acueducto de Los Santos, ubicado en la provincia del mismo nombre en la región del Arco Seco de Panamá, abastece los distritos de Los Santos, Guararé y Las Tablas, incluyendo localidades como El Carate, Santo Domingo, Las Tablas cabecera, Guararé cabecera, La Espigadilla, La Villa de Los Santos y otras comunidades aledañas [7], [8] (Fig. 1). En los últimos años, ha enfrentado pérdidas significativas en la red, dependencia de inspecciones manuales y variaciones de presión registradas de forma puntual, situación que subraya la necesidad de un monitoreo en tiempo real para comprender mejor el comportamiento del sistema y respaldar decisiones operativas basadas en datos.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

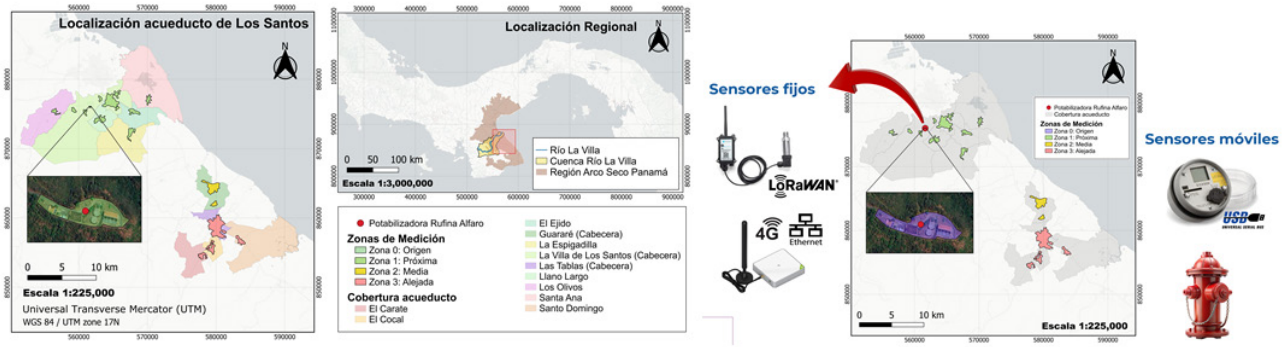


Fig. 1. Área de estudio y zonas propuestas para la medición de presiones

B. Criterios de diseño

Los principales parámetros de LoRaWAN son el factor de dispersión (SF), el ancho de banda (BW), la frecuencia central (CF), la potencia de transmisión (TP) y la velocidad de codificación (CR) [5]. En aplicaciones de monitoreo, se recomiendan valores de SF entre 7–12, TP entre 2–14 dBm, frecuencia central de 915 MHz e intervalos de envío de 5–30 minutos para áreas de hasta 25 km² [5], [9]. En Panamá, el PNAF autoriza el uso de equipos RLAN/WAN en la banda de 902–928 MHz [10], por lo que la configuración seleccionada se ajusta al marco regulatorio nacional [10]. Los dispositivos considerados emplean LoRaWAN 1.0.3 de clase A, en la que los nodos inician sus transmisiones ascendentes según sus necesidades de comunicación, lo que minimiza el consumo energético a costa de una mayor latencia en el enlace descendente [5], [11]. Además, la red adopta la topología en estrella característica de LoRaWAN, donde los dispositivos finales no se comunican entre sí, sino únicamente con las puertas de enlace [5], [9].

3. RESULTADOS

El sistema de monitoreo propuesto (Fig. 2) se organiza en cuatro capas: adquisición, comunicación, almacenamiento y aplicación. En la capa de adquisición se combina un nodo fijo LoRaWAN de presión, ubicado en un punto hidráulicamente representativo, con tres registradores móviles que se desplazan por distintos sectores y descargan los datos por USB. Este esquema mixto permite capturar tanto la dinámica de largo plazo como campañas focalizadas en puntos críticos, en línea con arquitecturas IoT escalables para redes de agua potable basadas en nodos de baja potencia y sensorización de presión/caudal [12]–[15].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

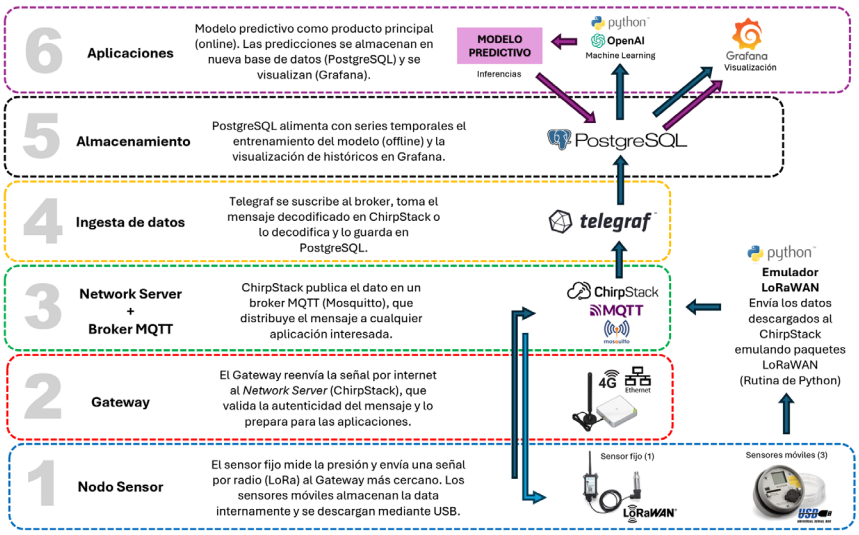


Fig. 2. Arquitectura IoT propuesta

En la capa de comunicación, un gateway LoRaWAN envía los paquetes al network server (ChirpStack), mientras que un broker MQTT (Mosquitto) actúa como bus de mensajería; los datos históricos de los sensores móviles se inyectan mediante un emulador LoRaWAN en Python, lo que facilita validar la arquitectura más allá del tráfico en tiempo real [16]–[19]. Sobre esta base, la capa de ingesta y almacenamiento utiliza Telegraf, suscrito a tópicos MQTT, para normalizar los mensajes y almacenarlos en PostgreSQL orientado a series temporales, siguiendo patrones de pipelines desacoplados en plataformas IoT modernas [20]–[22]. Finalmente, en la capa de aplicación se integran paneles en Grafana para la supervisión casi en tiempo real y un entorno de analítica en Python donde se entrenan modelos de machine learning cuyos resultados se visualizan también en Grafana; la literatura muestra que la combinación de monitorización continua de presión y modelos de aprendizaje automático mejora significativamente la detección y localización temprana de fugas [21]–[25].

4. CONCLUSIONES

La arquitectura IoT propuesta articula de forma coherente la sensorización de presión, la red LoRaWAN conforme al PNAF, el pipeline de datos sobre MQTT–Telegraf–PostgreSQL y la capa de analítica y visualización en Grafana, respondiendo a la necesidad de monitoreo en tiempo real identificada para el acueducto de Los Santos. Esta organización modular en cuatro capas facilita la escalabilidad, la integración con sistemas existentes y la explotación de series temporales de presión mediante enfoques de machine learning. Con ello, se fortalece la capacidad operativa para detectar y localizar fugas con mayor rapidez, mejorar el control de presiones y apoyar decisiones informadas en la gestión del recurso hídrico urbano.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] E. Farah y I. Shahrour, “Water Leak Detection: A Comprehensive Review of Methods, Challenges, and Future Directions”, Water 2024, vol. 16, núm. 20, p. 2975, oct. 2024, doi: 10.3390/W16202975.

[2] Y. Liu, X. Ma, Y. Li, Y. Tie, Y. Zhang, y J. Gao, “Water Pipeline Leakage Detection Based on Machine Learning and Wireless Sensor Networks”, Sensors 2019, vol. 19, núm. 23, p. 5086, nov. 2019, doi: 10.3390/S19235086.

[3] N. J. Okoli y B. Kabaso, “Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions”, Water (Basel), vol. 16, núm. 4, p. 557, feb. 2024, doi: 10.3390/w16040557.

[4] X. Fan, X. Zhang, y X. Yu, “Machine learning model and strategy for fast and accurate detection of leaks in water supply network”, Journal of Infrastructure Preservation and Resilience, vol. 2, núm. 1, pp. 1–21, dic. 2021, doi: 10.1186/S43065-021-00021-6/FIGURES/20.

[5] A. M.; Alghamdi, E. F.; Khairullah, M. M. Al Mojamed, A. M. Alghamdi, E. F. Khairullah, y M. M. Al Mojamed, “LoRaWAN Performance Analysis for a Water Monitoring and Leakage Detection System in a Housing Complex”, Sensors 2022, vol. 22, núm. 19, p. 7188, sep. 2022, doi: 10.3390/S22197188.

[6] DAAN, “Plataforma SIG IDAAN”. Consultado: el 4 de mayo de 2021. [En línea]. Disponible en: https://sig-idaan.hub.arcgis.com/

[7] R. Rodríguez, “Falta de agua en Los Santos se debe a trabajos en la potabilizadora Rufina Alfaro – En Segundos Panama”, En Segundos, el 6 de septiembre de 2021. Consultado: el 17 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ensegundos.com.pa/2021/09/06/falta-de-agua-en-los-santos-se-debe-a-trabajos-en-la-potabilizadora-rufina-alfaro/

[8] N. Ruíz, “Declaran Estado de Emergencia en Herrera y Los Santos por contaminación del río La Villa”, Telemetro Reporta, Panamá, el 11 de junio de 2025. Consultado: el 17 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.telemetro.com/nacionales/declaran-estado-emergencia-herrera-y-los-santos-contaminacion-del-rio-la-villa-n6042787

[9] A. Farhad, D. H. Kim, S. Subedi, y J. Y. Pyun, “Enhanced LoRaWAN Adaptive Data Rate for Mobile Internet of Things Devices”, Sensors 2020, vol. 20, núm. 22, p. 6466, nov. 2020, doi: 10.3390/S20226466.

[10] ASEP, “Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)”, Panamá, Panamá, dic. 2016. Consultado: el 12 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/telecomunicaciones/pnaf/pnaf-dic2015.pdf

[11] N. E. H. Djidi, M. Gautier, A. Courtay, O. Berder, y M. Magno, “How Can Wake-up Radio Reduce LoRa Downlink Latency for Energy Harvesting Sensor Nodes?”, Sensors 2021, vol. 21, núm. 3, p. 733, ene. 2021, doi: 10.3390/S21030733.

[12] V. Slaný, A. Lučanský, P. Koudelka, J. Mareček, E. Krčálová y R. Martínek, “An Integrated IoT Architecture for Smart Metering Using Next Generation Sensor for Water Management Based on LoRaWAN Technology: A Pilot Study,” Sensors, vol. 20, n.º 17, art. 4712, 2020, doi: 10.3390/s20174712.

[13] J. P. García-Martín et al., “IoT solution for smart water distribution networks based on a low-power wireless network, combined at the device-level: A case study,” Internet of Things, vol. 23, art. 100873, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100873.

[14] A. M. Alghamdi, E. F. Khairullah y M. M. Al mojamed, “LoRaWAN Performance Analysis for a Water Monitoring and Leakage Detection System in a Housing Complex,” Sensors, vol. 22, n.º 19, art. 7188, 2022, doi: 10.3390/s22197188.

[15] N. J. Okoli y B. Kabaso, “Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

and Future Directions," Water, vol. 16, n.º 4, art. 557, 2024, doi: 10.3390/w16040557.
[16] S. A. Ansari y V. K. Vidyarthi, "Use of Internet of Things in water resources applications: challenges and future directions: a critical review," Discover Internet of Things, vol. 5, art. 96, 2025, doi: 10.1007/s43926-025-00193-7.
[17] S. T. Ahmed y A. Annamalai, "On Private Server Implementations and Data Visualization for LoRaWAN," en Proc. 2023 IEEE 13th Symp. on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), Penang, Malaysia, 2023, pp. 342–347, doi: 10.1109/ISCAIE57739.2023.10165109.
[18] M. Kashyap, A. K. Dev y V. Sharma, "Implementation and Analysis of EMQX Broker for MQTT Protocol in the Internet of Things," e-Prime: Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 10, art. 100846, 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100846.
[19] B. Mishra, B. Mishra y A. Kertesz, "Stress-Testing MQTT Brokers: A Comparative Analysis of Performance Measurements," Energies, vol. 14, n.º 18, art. 5817, 2021, doi: 10.3390/en14185817.
[20] C. Wang et al., "Apache IoTDB: Time-Series Database for Internet of Things," Proc. VLDB Endowment, vol. 13, n.º 12, pp. 2901–2904, 2020, doi: 10.14778/3415478.3415504.
[21] G. Calderon, G. del Campo, E. Saavedra y A. Santamaría, "Monitoring Framework for the Performance Evaluation of an IoT Platform with Elasticsearch and Apache Kafka," Information Systems Frontiers, vol. 26, pp. 2373–2389, 2024, doi: 10.1007/s10796-023-10409-2.
[22] M. Bajpai, "Building Time-Series Data Monitoring Pipeline from the Cloud to Grafana," International Journal for Multidisciplinary Research, vol. 5, n.º 1, pp. 232–241, 2023, doi: 10.36948/ijfmr.2023.v05i01.14155.
[23] P. Pandey, S. Mücke y R. Shrestha, "Machine Learning-Based Digital Twin for Water Distribution Network Anomaly Detection and Localization," Proceedings of the 3rd WDSA/CCWI Joint Conference, Ferrara, Italy, 2024, Proc. 2673-4591, vol. 69, n.º 1, art. 201, doi: 10.3390/proceedings2024069201.
[24] H. Yu et al., "Leak Detection in Water Distribution Networks Based on Deep Learning and Data Imaging," AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society, vol. 73, n.º 8, pp. 1741–1754, 2024, doi: 10.2166/aqua.2024.054.
[25] D. Elshazly, S. L. Abaza, R. Z. Homsi y L. Khalil, "An Automated Geographical Information System-Based Spatial Machine Learning Method for Leak Detection in Water Distribution Networks Using Monitoring Sensors," Applied Sciences, vol. 14, n.º 13, art. 5853, 2024, doi: 10.3390/app14135853.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.
Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Reservas de carbono azul en sedimentos costeros: implicaciones para la mitigación del cambio climático

Peralta-Barría, Carlos
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
carlos.peralta2@utp.ac.pa

Vergara-Chen, Carlos
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
carlos.vergara3@utp.ac.pa

ABSTRACT

Blue carbon, stored in coastal ecosystems such as mangroves, marshes, and estuaries, represents a key strategy to mitigate climate change. These habitats retain organic carbon in their sediments due to anoxic conditions that slow down the decomposition of biomass; however, their degradation can release CO_2 into the atmosphere. This study aims to compile and analyze recent research (2020–2025) on blue carbon stocks in coastal soils at a global scale, highlighting the importance of sediments in non-vegetated habitats, such as estuaries, which have less representation in the scientific literature. A review of scientific literature was conducted in recognized databases, selecting studies with quantitative information on different coastal ecosystems. Variables such as location, type of habitat, sampling depth, and analytical techniques were considered. The results reveal high spatial variability in blue carbon stocks, influenced by environmental and biological factors. The findings confirm the role of these ecosystems as natural carbon sinks and their relevance in climate policies. The urgency of conserving and restoring coastal habitats is emphasized due to their multiple ecosystem services, such as protection against extreme events, biodiversity, and food security. Likewise, the need to expand research on non-vegetated coastal sediments is underlined, integrating them into future assessments and environmental policies to achieve sustainable management in the face of global pressure.

Keywords: Blue carbon, sinks, climate change, mangroves, marshes.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

RESUMEN

El carbono azul, almacenado en ecosistemas costeros como manglares, marismas y estuarios, representa una estrategia clave para mitigar el cambio climático. Estos hábitats retienen carbono orgánico en sus sedimentos gracias a condiciones anóxicas que ralentizan la descomposición de la biomasa; sin embargo, su degradación puede liberar CO_2 a la atmósfera. Este estudio tiene como objetivo compilar y analizar investigaciones recientes (2020–2025) sobre reservas de carbono azul en suelos costeros a escala global, resaltando la importancia de los sedimentos en hábitats sin vegetación, como estuarios, que cuentan con menor representación en la literatura científica. Se aplicó una revisión de literatura científica en bases de datos reconocidas, seleccionando estudios con información cuantitativa sobre distintos ecosistemas costeros. Se consideraron variables como ubicación, tipo de hábitat, profundidad de muestreo y técnicas analíticas. Los resultados revelan una alta variabilidad espacial en las reservas de carbono azul, influenciada por factores ambientales y biológicos. Los hallazgos confirman el papel de estos ecosistemas como sumideros naturales de carbono y su relevancia en políticas climáticas. Se enfatiza la urgencia de conservar y restaurar hábitats costeros por sus múltiples servicios ecosistémicos, como protección frente a eventos extremos, biodiversidad y seguridad alimentaria. Asimismo, se subraya la necesidad de ampliar la investigación hacia los sedimentos costeros no vegetados, integrándolos en futuras evaluaciones y políticas ambientales para lograr una gestión sostenible frente a la presión global.

Palabras claves: Carbono azul, sumideros, cambio climático, manglares, marismas.

1. INTRODUCCIÓN

El carbono azul se refiere al carbono orgánico que es capturado y retenido en ecosistemas costeros como los manglares, las marismas y las praderas marinas. Estos son de gran importancia para la mitigación del cambio climático, como sumideros de carbono, suelen presentar una mayor capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono por hectárea que los sistemas terrestres [1]. No obstante, estos hábitats están sufriendo transformaciones rápidas y cada vez más aceleradas en su extensión como resultado del cambio climático y las actividades antropogénicas [2]. La significativa pérdida de cobertura conlleva una disminución considerable de los servicios ecosistémicos fundamentales, especialmente en lo que respecta a la mitigación del cambio climático [3]. La conservación y recuperación de los humedales costeros con vegetación continúa siendo una prioridad crucial, y es fundamental que los países intensifiquen de inmediato los esfuerzos en la preservación de estos ecosistemas, incluyendo los sedimentos marinos por sus aportes en la captura de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

carbono orgánico [4].

Los ecosistemas costeros retienen cerca del 80% del carbono orgánico en sus sedimentos, el cual podría liberarse como resultado de la degradación y la pérdida de cobertura vegetal [5]. Los sedimentos de los humedales costeros almacenan carbono orgánico debido a que parte de su elevada productividad vegetal se acumula en ambientes carentes de oxígeno, generados por la saturación de agua salina. La escasez de oxígeno en estos sedimentos inhibe la actividad microbiana, lo que ralentiza la descomposición de la materia orgánica [6].

En los últimos diez años, estudios han destacado la relevancia cuantitativa de este almacenamiento de carbono orgánico en los manglares para ayudar a mitigar el cambio climático. Esto se ha logrado principalmente mediante la medición de las reservas de carbono y la estimación de las posibles emisiones de CO2 que podrían generarse debido a la degradación de estos ecosistemas [7]. Se calcula que las reservas globales de carbono en los manglares (5,23–8,63 petagramos de carbono orgánico) representan entre el 15% y el 24% de las existencias del océano costero tropical. El almacenamiento de carbono en los suelos de manglares tiene un promedio de 184 gramos de carbono orgánico por metro cuadrado por año, con estimaciones globales que oscilan entre 9,6 y 15,8 teragramos de carbono orgánico por año, lo que subraya su relevancia en el secuestro de carbono [8].

A nivel global, los bosques de manglares, que almacenan grandes cantidades de carbono, están siendo deforestados y degradados debido a cambios en el uso y la cobertura del suelo. Aunque el impacto de la deforestación de manglares en las emisiones de carbono ha sido documentado a escala global, aún existe incertidumbre a niveles subnacionales debido a la variabilidad geográfica y las limitaciones en los datos obtenidos en campo [9].

En este contexto, resulta indispensable profundizar en el conocimiento de las reservas de carbono azul en sedimentos costeros, no solo para dimensionar su potencial como sumideros naturales, sino también para orientar estrategias de conservación y mitigación climática basadas en evidencia científica. Este estudio busca aportar a este propósito mediante una revisión de investigaciones recientes, con énfasis en la cuantificación del carbono orgánico y sus implicaciones ecológicas y políticas a escala global, resaltando además la importancia de considerar las reservas de carbono azul en sedimentos no vegetados, ya que contienen carbono orgánico y su distribución espacial a gran escala constituye un componente clave para comprender integralmente el papel de los ecosistemas costeros en la dinámica del carbono y en la mitigación del cambio climático.

2. MÉTODO

A. Fuentes de información y criterios de búsqueda

La selección de literatura se llevó a cabo mediante búsquedas en bases de datos académicas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

reconocidas, tales como Google Scholar, Frontiers, ResearchGate, Elsevier, SciELO, entre otras fuentes especializadas en ciencias ambientales y marinas. Para garantizar la pertinencia y calidad de los estudios incluidos, se definieron criterios de búsqueda que incorporaron palabras clave en español e inglés, tales como: “carbono azul”, “reservas de carbono en humedales costeros”, “secuestro de carbono en estuarios, manglares y marismas”, “carbono en ecosistemas marino-costeros”, “blue carbon”, “blue carbon stocks” y “coastal wetlands carbon storage”.

B. Periodo de análisis y tipo de estudios seleccionados

La búsqueda se restringió a publicaciones científicas aparecidas entre los años 2020 y 2025, priorizando investigaciones empíricas, revisiones sistemáticas y estudios de caso que presentaran datos cuantitativos sobre el almacenamiento de carbono orgánico en distintos tipos de ecosistemas.

C. Extracción y sistematización de datos

Una vez identificadas las publicaciones relevantes, se procedió a una lectura crítica y analítica de los textos seleccionados. De cada estudio se extrajeron datos clave, incluyendo: ubicación geográfica, tipo de ecosistema evaluado (manglar, marisma, pasto marino, estuario), metodología empleada para la cuantificación del carbono, y estimaciones reportadas de carbono orgánico por unidad de superficie. Estos datos fueron sistematizados para facilitar la comparación entre regiones y tipos de ecosistemas, y para identificar patrones relevantes en la distribución y magnitud de las reservas de carbono azul.

3. RESULTADOS

A. Flujos e inventarios de carbono azul en manglares asociados a una laguna costera antropizada.

Un estudio científico de la Institución de Ciencias del Mar y Limnología de México presentó el inventario de carbono almacenado en los sedimentos de áreas de manglar ubicadas alrededor de la laguna Estero de Urías. Los resultados indican un almacenamiento promedio de 408 ± 3 megagramos de carbono por hectárea. En caso de que ocurra la degradación o pérdida del manglar en la región, esto podría generar una posible emisión de 1,495 ± 12 megagramos de CO2 equivalente por hectárea al año [10].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Inventarios de carbono en sedimentos de manglar (1 m de profundidad) y CO2 equivalente en la laguna Estero de Urías, México.

Núcleo	Inventarios Corg (Mg ha-1)	CO2 equivalente (Mg CO2 ha-1)
EU-V	416 ± 4	1,524 ± 15
EU-VI	389 ± 5	1,428 ± 17
EU-VII	440 ± 2	1,614 ± 9
EU-VIII	386 ± 2	1,414 ± 7
Promedio	408 ± 3	1,495 ± 12

B. Derivación de factores de emisión para el ecosistema de carbono azul de manglares en Indonesia.

En un estudio realizado en Indonesia [11], se evaluaron los reservorios de carbono azul en manglares bajo distintos tipos de manejo, destacando la capacidad de los ecosistemas no perturbados para almacenar carbono en los sedimentos. Los resultados mostraron que, en manglares conservados, la cantidad de carbono orgánico almacenado en los primeros 100 cm de suelo osciló entre 216 y 296 Mg C/ha^{-1}, mientras que al considerar una profundidad de hasta 300 cm, las reservas aumentaron significativamente, alcanzando entre 562 y 916 Mg C/ha. Este hallazgo subraya el importante papel que juegan los manglares intactos en la mitigación del cambio climático, ya que las reservas profundas de carbono reflejan una acumulación a largo plazo, vinculada tanto a la productividad del ecosistema como a las condiciones anóxicas del suelo que favorecen la preservación de materia orgánica. Además, el estudio evidencia cómo las prácticas de conservación y restauración pueden influir directamente en la capacidad de secuestro de carbono de los ecosistemas costeros tropicales.

C. Reservas de carbono azul, tasas de acumulación y patrones espaciales asociados en suelos de manglares.

En el estudio se estima que la reserva total de carbono orgánico del suelo en los manglares de Brasil alcanza aproximadamente 207 ± 34 t C ha^{-1}, considerando hasta un metro de profundidad. Esta cifra refleja la gran capacidad de almacenamiento de carbono de los manglares brasileños, debido a su amplia cobertura y alta productividad [12].

El artículo destaca que esta reserva no es homogénea, sino que varía según factores locales como la posición intermareal, la salinidad y la estructura del bosque. Por ejemplo, los manglares ubicados en zonas bajas, con mayor inundación y menor salinidad, tienden a acumular más carbono en el suelo. Asimismo, los bosques con mayor densidad de raíces y cobertura vegetal favorecen la retención de sedimentos y la preservación de la materia orgánica, incrementando las reservas de carbono.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Los autores enfatizan que, para una valoración adecuada del carbono azul, especialmente en contextos de conservación o proyectos de carbono, es fundamental considerar estas variaciones ambientales locales.

D. Reservas de carbono azul entre hábitats.

En un estuario de Nueva Zelanda [2], se analizó cómo los flujos de materia orgánica entre hábitats costeros (como manglares, marismas y pastos marinos) e incluso hábitats no vegetados (sedimentos blandos) pueden influir en las estimaciones de carbono azul almacenado. Se cuantificaron las reservas de carbono orgánico en biomasa aérea y sedimentos hasta 100 cm de profundidad, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 2. Resultados de reservas de carbono orgánico entre hábitats costeros.

Tipos de Hábitats	Reserva promedio de carbono orgánico
Marismas	90 t C ha^{-1}
Manglares	46 t C ha^{-1}
Praderas Marinas	27 t C ha^{-1}
Hábitats sin vegetación	26 t C ha^{-1}

A pesar de presentar la menor densidad de carbono por unidad de superficie, los hábitats no vegetados representaron la mayor proporción de carbono estuarino total, debido a su amplia cobertura espacial: ocupan el 68,4% del área del estuario y contienen el 57% de las reservas de carbono.

4. CONCLUSIONES

El carbono azul constituye un componente esencial en la mitigación del cambio climático, al encontrarse almacenado en los sedimentos de ecosistemas costeros y contribuir de manera significativa a la captura de carbono orgánico. La evidencia científica ha demostrado la relevancia de manglares, marismas y praderas marinas como sumideros naturales, pero también su vulnerabilidad frente a la degradación y pérdida de cobertura vegetal. En este escenario, resulta prioritario ampliar la mirada hacia los sedimentos de hábitats costeros no vegetados, que, aunque presentan una densidad inferior de carbono por unidad de área, abarcan extensiones considerables y contienen menor representación en la literatura científica.

En particular, los sedimentos sin vegetación en estuarios y zonas intermareales fangosas constituyen depósitos relevantes de carbono orgánico, cuya cuantificación y caracterización aún requieren mayor atención científica. Estos ambientes, al recibir aportes de materia orgánica desde hábitats vegetados cercanos y mantener condiciones anóxicas favorables

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

para la acumulación de carbono, pueden desempeñar un papel estratégico en el balance regional de carbono azul. Incorporarlos en las evaluaciones y estrategias de conservación permitirá avanzar hacia una gestión más integral de los ecosistemas costeros y fortalecer su contribución a las políticas climáticas nacionales e internacionales.

REFERENCIAS

[1] S. Kaur, V. Kaushik y S. Sharma, «Blue carbon ecosystem: a review,» International journal of advanced scientific and technical research, 2025.
[2] R. Bulmer, F. Stephenson, H. Jones, M. Townsend, J. Hillman, L. Schewendenmann y C. Lundquist, «Blue Carbon Stocks and Cross-Habitat Subsidies,» Frontiers in Marine Science, 2020.
[3] D. Geveña, L. Camacho y J. Pulhin, «Conserving Mangroves for Their Blue Carbon: Insights and Prospects for Community-Based Mangrove Management in Southeast Asia,» de Threats to Mangrove Forests, 2018.
[4] J. Howard, A. Stutton-Grier, L. Smart, C. Lopes, J. Hamilton, J. Kleypas, S. Simpson, J. McGowan, A. Pessarrodona, H. Alleway y E. Landis, «Blue carbon pathways for climate mitigation: Known, emerging and unlikely,» Marine Policy, 2023.
[5] K. Analuddin, S. Sharma, L. O. Kadidae, L. O. Muhammad, A. Septiana, S. Rahim, L. O. Fajar, R. Mackenzie y K. Nadaoka, «Blue carbon stock in sediments of mangroves and seagrass ecosystems at Southeast Sulawesi, Indonesia,» Ecological Research, 2022.
[6] C. Lovelock y R. Reef, «Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon,» One Earth, 2020.
[7] T. Jennerjahn, «Relevance and magnitude of 'Blue Carbon' storage in mangrove sediments: Carbon accumulation rates vs. stocks, sources vs. sinks,» Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2020.
[8] D. Alongi, «Impacts of Climate Change on Blue Carbon Stocks and Fluxes in Mangrove Forests,» Forests, 2022.
[9] S. Sasmito, M. Sillanpää , M. Hayes y D. Murdiyarso, «Mangrove blue carbon stocks and dynamics are controlled by hydrogeomorphic settings and land-use change,» Global Change Biology, 2020.
[10] G. Aldana, A. Ruiz, L. Pérez, T. Martinez y J. Sanchez, «Flujos e inventarios de carbono azul en manglares asociados a una laguna costera antropizada. Blue carbon fluxes and inventories in mangroves associated with an anthropized coastal lagoon.,» Geofísica Internacional, 2021.
[11] D. Murdiyarso, H. Krisnawati, W. Adinugroho y S. Sasmito , «Deriving emission factors for mangrove blue carbon ecosystem in Indonesia,» Carbon Balance and Management, 2023.
[12] V. Hatje, P. Masqué, V. Patire, A. Dórea y F. Barros, «Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves,» Limnology and Oceanography, 2020.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.
Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL EN ESCUELAS RURALES DE COCLÉ, PANAMÁ, MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES AÉREAS

Iribarren, Guillermo
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0009-5439-7916
guillermo.@utp.ac.pa

Quijada-Alarcón, Jorge
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-8938-0190
jorge.quijada@utp.ac.pa

Rodríguez-Rodríguez, Roberto
Escuela de Relaciones Internacionales, Facultad de Administración Pública, Universidad de Panamá,
Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0009-6180-9771

Icaza, Analissa
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
analissa.icaza@utp.ac.pa

Harris, Angelino
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
angelino.harris@utp.ac.pa

Abstract

Road safety is a key component of planning and development in rural communities, particularly in school zones where students face higher risks due to the lack of adequate pedestrian infrastructure. This study assesses road safety conditions around rural schools in the province of Coclé, Panama, aiming to identify risks and infrastructure deficiencies, as

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

well as to propose improvement measures.
Ten schools were selected as case studies, analyzing factors such as road proximity, existence of sidewalks, signage, and other elements related to safe mobility. High-resolution aerial imagery captured by drones was used to generate detailed orthomosaics, which were analyzed to diagnose geometric and safety conditions at each site.
The results identify critical risk points and provide recommendations for improving road infrastructure, including the construction of sidewalks, installation of signage, and implementation of pedestrian crossings. This work aims to provide a technical foundation for future interventions and to raise awareness among local authorities about the importance of strengthening road safety in rural school environments.

Keywords: Coclé, Drones, Pedestrian Mobility, Road Safety, School Infrastructure.

Resumen

La seguridad vial constituye un componente esencial en la planificación y el desarrollo de comunidades rurales, particularmente en las zonas escolares donde los estudiantes se exponen a mayores riesgos por la ausencia de infraestructura adecuada para el tránsito peatonal. Este estudio evalúa las condiciones de seguridad vial en el entorno de escuelas rurales de la provincia de Coclé, Panamá, con el propósito de identificar riesgos e infraestructura deficiente, así como de proponer medidas de mejora.
Se seleccionaron diez escuelas como casos de estudio, analizando la proximidad de las vías, la existencia de aceras, la señalización y otros elementos relacionados con la movilidad segura. Mediante el uso de drones, se capturaron imágenes de alta resolución para generar ortomosaicos detallados, los cuales fueron analizados con el fin de diagnosticar las condiciones geométricas y de seguridad en cada sitio.
Los resultados permiten identificar puntos críticos de riesgo y formular recomendaciones orientadas a la mejora de la infraestructura vial, como la construcción de aceras, la instalación de señalización y la adecuación de pasos peatonales. Este trabajo busca proporcionar una base técnica para futuras intervenciones y sensibilizar a las autoridades locales sobre la importancia de fortalecer la seguridad vial en entornos escolares rurales.

Palabras claves: Coclé, Drones, Infraestructura escolar, Movilidad peatonal, Seguridad vial.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad vial constituye un elemento esencial para el desarrollo sostenible y la calidad de vida de las comunidades, particularmente en contextos rurales donde la infraestructura vial presenta limitaciones significativas. En las zonas escolares, estas deficiencias se traducen en una mayor exposición al riesgo para los estudiantes durante sus desplazamientos diarios, lo que convierte la movilidad peatonal segura en una prioridad para la planificación del transporte y la ingeniería vial [1]. En Panamá se refleja un incremento sostenido de incidentes viales en áreas rurales, evidenciando la necesidad de estrategias específicas orientadas a la protección de grupos vulnerables como los niños en edad escolar [2].

No obstante, la evaluación de la seguridad vial en entornos escolares rurales continúa siendo limitada, debido a la falta de diagnósticos sistemáticos que integren variables espaciales, geométricas y de comportamiento vial. En la provincia de Coclé, la mayoría de las escuelas rurales carecen de aceras continuas, señalización vertical visible y medidas efectivas de calmado de tráfico, lo que incrementa la probabilidad de siniestros [3]. Estas carencias estructurales ponen de manifiesto una brecha entre la infraestructura existente y las condiciones mínimas necesarias para garantizar un desplazamiento seguro.

Ante este panorama, el uso de tecnologías emergentes como los drones ofrece una oportunidad para fortalecer el diagnóstico de las condiciones de seguridad vial. Las imágenes aéreas permiten generar ortomosaicos de alta resolución que posibilitan el análisis detallado de la infraestructura, la geometría vial y los factores de riesgo peatonal. En este estudio se integró esta herramienta en conjunto con la metodología internacional Star Rating for Schools (SR4S), desarrollada por iRAP, que evalúa el nivel de seguridad de los entornos escolares mediante un sistema estandarizado de clasificación por estrellas [4]-[5].

El objetivo principal de esta investigación es evaluar las condiciones de seguridad vial en escuelas rurales de la provincia de Coclé, Panamá, mediante el análisis de imágenes aéreas capturadas con drones y la aplicación de la metodología SR4S. Con ello se busca identificar puntos críticos de riesgo y proponer estrategias de intervención que contribuyan al fortalecimiento de la infraestructura escolar y a la reducción de accidentes viales. Este estudio constituye un aporte técnico a la gestión territorial y a la formulación de políticas públicas orientadas a la movilidad segura en entornos escolares rurales [3].

La investigación ha sido realizada dentro del marco del programa de Estancias Académicas en el Laboratorio de Modelación de Sistemas de Transporte (MST-LAB) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá, Financiado por SENACYT.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MÉTODO

A. ADQUISICIÓN DE DATOS AÉREOS Y SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló mediante la integración de técnicas de adquisición de imágenes aéreas con drones y el análisis espacial en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello, se seleccionaron escuelas rurales de la provincia de Coclé a partir de criterios relacionados con su localización respecto a la red vial y la presencia de condiciones preliminares de riesgo para los estudiantes. Posteriormente, se realizaron vuelos planificados con drones con el fin de obtener imágenes de alta resolución que permitieran una representación detallada del entorno vial inmediato de cada escuela.

B. PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y CONSTRUCCIÓN DEL SIG

Las imágenes capturadas fueron procesadas mediante técnicas fotogramétricas para generar ortomosaicos georreferenciados, los cuales constituyeron la base cartográfica del análisis. Estos productos fueron incorporados a un SIG en el que se identificaron y digitalizaron elementos relevantes de la infraestructura escolar y vial, tales como accesos peatonales, aceras, cruces, señalización y características geométricas de la vía. Con esta información se aplicó la metodología Star Rating for Schools (SR4S), desarrollada por iRAP, que permite evaluar el nivel de seguridad vial en entornos escolares mediante la asignación de una calificación basada en factores de riesgo peatonal.

C. EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL Y CRITERIOS DE ANÁLISIS

Finalmente, los parámetros obtenidos a partir del SIG y la evaluación SR4S fueron utilizados para describir las condiciones existentes en cada escuela y para fundamentar la formulación de recomendaciones orientadas a mejorar la movilidad peatonal y reducir la exposición al riesgo en los entornos escolares analizados. Esta aproximación metodológica permitió establecer un proceso sistemático y reproducible basado en evidencia geoespacial y criterios estandarizados de seguridad vial.

3. RESULTADOS

La tabla 1 muestra la clasificación de seguridad vial obtenida a partir de la metodología Star Rating for Schools (SR4S) aplicada a las escuelas rurales seleccionadas de Coclé. Los hallazgos muestran que la mayoría de las escuelas evaluadas se ubicaron en un rango de 1 a 2 estrellas SR4S, lo que refleja un nivel de riesgo alto o crítico. Entre los patrones recurrentes se encontraron la ausencia de infraestructura peatonal, cruces inseguros, señalización deficiente y velocidades elevadas en zonas escolares. Sin embargo, las variaciones simuladas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

y observadas reflejan el potencial de mejora asociado a intervenciones estandarizadas de infraestructura, tales como reducción del límite de velocidad, mejoramiento de la señalización vial escolar, construcción de aceras continuas y seguras en los accesos principales y la implementación de reductores de velocidad.

Tabla 1. Evaluación de seguridad vial en escuelas rurales de Coclé mediante SR4S, antes y después de intervenciones propuestas

Escuela	Corregimiento	SR4S Inicial	SR4S Final	Estrellas	Riesgo Inicial	Riesgo Final
El Entradero	San Juan de Dios	1	3	2	Muy alto	Medio
Caballero	Caballero	1	3	2	Muy alto	Medio
La Coca	Caballero	1.2	3	1.8	Muy alto	Medio
La Hincada	Antón	1.3	3	1.7	Muy alto	Medio
Chumical	San Juan de Dios	2.7	4	1.3	Alto	Bajo
Tranquilla	Caballero	2.8	4	1.2	Alto	Bajo
Alto de La Estancia	San Juan de Dios	2.8	4	1.2	Alto	Bajo
Juan Díaz	Juan Díaz	3.2	4.5	1.3	Medio	Bajo
Las Guías Oriente	Río Hato	3.9	4.5	0.6	Medio	Bajo
La Mata	Río Hato	4.2	4.5	0.3	Bajo	Bajo

La figura 1 expone la comparación entre la Escuela La Hincada y la Escuela La Mata muestra dos configuraciones viales contrastantes dentro de un mismo distrito rural. La figura presenta un entorno con limitaciones marcadas en infraestructura peatonal y regulación del tránsito, junto a otro que dispone de elementos viales más completos y organizados. Este contraste ilustra cómo diferentes disposiciones de infraestructura pueden coexistir en contextos territoriales similares evidenciando patrones diferenciados de vulnerabilidad asociados principalmente a las condiciones de infraestructura vial presentes en cada escuela, más que a diferencias territoriales o socioeconómicas.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Escuela La Hincada

- Ausencia de aceras peatonales
- Señalización escolar inexistente
- Velocidad de operación elevada (>40 km/h)
- Presencia de vehículos pesados y tránsito mixto
- Sin supervisor de cruce
- Ausencia de reductores de velocidad
- Entorno escolar con riesgo muy alto

Escuela La Mata

- Acera en ambos lados de la vía
- Cruces señalizados y visibles
- Señalización vertical y horizontal en buen estado
- Reductores de velocidad operativos (30 km/h)
- Control de cruce más organizado
- Entorno escolar con riesgo bajo

Figura 1. Contraste infraestructural entre modelos de riesgo vial escolar

4. CONCLUSIONES

El análisis realizado mediante imágenes aéreas y la aplicación de la metodología Star Rating for Schools (SR4S) evidenció que la mayoría de las escuelas rurales evaluadas en la provincia de Coclé presentan condiciones críticas de seguridad vial. Estas valoraciones se relacionan principalmente con la ausencia de aceras continuas, la falta de señalización escolar visible, la presencia de cruces peatonales mal ubicados o sin visibilidad suficiente y la inexistencia de medidas efectivas de calmado de tráfico. Los resultados confirman que estos factores constituyen patrones recurrentes en los entornos escolares rurales de las zonas de estudio, lo que incrementa de manera significativa la exposición al riesgo de los estudiantes durante sus desplazamientos diarios.

Se determinó que intervenciones de bajo costo pueden incrementar la calificación de seguridad de las escuelas evaluadas, en algunos casos elevándola hasta dos estrellas adicionales. Esas medidas fácilmente replicables y de rápida ejecución constituyen una estrategia viable para reducir la exposición al riesgo peatonal en escuelas rurales con condiciones similares.

Los hallazgos demuestran que la integración de tecnologías geoespaciales en conjunto con

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

metodologías estandarizadas como SR4S constituye una herramienta eficaz para orientar decisiones de planificación vial en zonas rurales. Asimismo, los resultados subrayan la urgencia de fortalecer la infraestructura escolar y promover intervenciones sostenibles que reduzcan la probabilidad de siniestros viales y garanticen desplazamientos más seguros para los estudiantes.

Referencias

[1] Global Status Report on Road Safety 2023, World Health Organization, 2023.
[2] S. Martinez, R. Sanchez and P. Yañez-Pagans, “Road safety: challenges and opportunities in Latin America and the Caribbean,” Latin American Economic Review, vol. 28, no. 1, Dec. 2019.
[3] L. Rothman et al., “Pilot study to evaluate school safety zone built environment,” Injury Prevention, vol. 28, no. 3, pp. 243-249, Jun. 2022.
[4] “iRAP star rating for schools,” 2017. [Online]. Available: https://starratingforschools.org/
[5] A. Renard, L. Novačko, K. Babojelić and N. Kožul, “Analysis of Child Traffic Safety near Primary School Areas Using UAV Technology,” Sustainability, vol. 14, no. 3, art. 1144, Jan. 2022

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Evaluación de la DBO y la DQO como Indicadores de Eficiencia en el Tratamiento de Aguas Residuales de la PTAR Juan Díaz y su Relación con la Generación Potencial de Gases de Efecto Invernadero (2020–2024)

Cano, Liz
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
https://orcid.org/0009-0009-2070-5554

Domínguez, Viccelda
Universidad de Panamá
Ciudad, País
https://orcid.org/0000-0002-6201-004X

Abstract

The Juan Díaz Wastewater Treatment Plant (WWTP), located in Panama City, is the largest facility of its kind in the country and a key component of the national urban sanitation system. This study analyzed operational data from 2020–2024 to evaluate the efficiency of organic matter removal and its potential relationship with greenhouse gas (GHG) generation. The assessment focused on biochemical oxygen demand (BOD_5) and chemical oxygen demand (COD) across three critical stages of the treatment process: raw influent, biological treatment, and final effluent.

Results showed that the raw influent exhibited an average BOD_5 concentration of 141.4 mg O_2/L, with peak values up to 864,5 mg O_2/L, indicating a high and variable organic load. The treated effluent presented an average BOD_5 concentration of 9,4 mg O_2/L and a maximum of 118,4 mg O_2/L, corresponding to an average removal efficiency of 93,4%.

However, elevated BOD_5 values were observed in the final effluent on certain days, likely associated with hydraulic overloads, aeration limitations, or insufficient retention times. The persistence of organic matter in the treated effluent suggests a potential risk of GHG emissions, primarily methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O). These findings highlight the need to strengthen operational control and incorporate CH_4 and N_2O monitoring to improve national GHG inventories and support climate mitigation strategies in Panama.

Keywords: BOD5, COD, wastewater, efficiency, greenhouse gases.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Juan Díaz, ubicada en la ciudad de Panamá, es la instalación más grande de su tipo en el país y un componente clave del sistema nacional de saneamiento urbano. Este estudio analizó los datos operativos del período 2020–2024 para evaluar la eficiencia en la remoción de materia orgánica y su posible relación con la generación de gases de efecto invernadero (GEI). La evaluación se centró en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO) en tres etapas críticas: afluente crudo, tratamiento biológico y efluente final.

Los resultados mostraron que el afluente crudo presentó una concentración promedio de DBO_5 de 141,4 mg O_2/L, con valores máximos de hasta 864,5 mg O_2/L, lo que evidencia una alta y variable carga orgánica. El efluente tratado mostró un promedio de 9,4 mg O_2/L y un máximo de 118,4 mg O_2/L, lo que representa una eficiencia de reducción promedio del 93,4%.

Sin embargo, en algunos días se observaron valores elevados de DBO_5 en el efluente final, posiblemente asociados a sobrecargas hidráulicas, fallas de aireación o tiempos de retención insuficientes. La persistencia de materia orgánica en el efluente tratado sugiere un riesgo potencial de emisión de GEI, principalmente metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Estos hallazgos destacan la necesidad de mejorar el control operativo e incorporar el monitoreo de CH_4 y N_2O para fortalecer los inventarios nacionales de GEI y apoyar estrategias de mitigación acordes con los compromisos climáticos de Panamá.

Palabras claves: DBO5, DQO, aguas residuales, eficiencia, gases de efecto invernadero.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de las aguas residuales urbanas es esencial para reducir los impactos ambientales y climáticos asociados a la descarga de materia orgánica y al potencial de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivados del tratamiento de aguas [1], [2]. A nivel global, las plantas de tratamiento han sido identificadas como fuentes relevantes de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), debido a los procesos biológicos asociados a la degradación de materia orgánica [3]–[5]. Estas emisiones pueden incrementarse en sistemas con cargas orgánicas variables, limitaciones de oxígeno o deficiencias en la operación [6], [7].

En Panamá, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz constituye la instalación más importante del sistema de saneamiento y desempeña un papel central en la depuración del efluente urbano metropolitano. Entre los parámetros fundamentales para evaluar su eficiencia se encuentran la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Demanda Química de Oxígeno (DQO), indicadores ampliamente utilizados para caracterizar la fracción biodegradable y la materia orgánica total oxidable presente en el afluente [8], [9]. Su evolución permite detectar fluctuaciones operativas, sobrecargas hidráulicas y variaciones en la composición del agua residual que pueden comprometer la estabilidad de los procesos biológicos [10].

Además de su relevancia como indicadores de calidad del agua, la DBO_5 y la DQO se reconocen como predictores indirectos del potencial de generación de GEI, ya que la materia orgánica removida se transforma parcialmente en CH_4 bajo condiciones anaerobias, y en N_2O durante rutas de nitrificación–desnitrificación [3], [5]. Estudios recientes han demostrado que mayores cargas orgánicas tratadas se asocian con incrementos en la producción de biogás, mientras que variaciones en la operación pueden influir en las emisiones fugitivas de CH_4 y N_2O en plantas de tratamiento a escala real [6].

Investigaciones internacionales también resaltan la importancia de comprender la formación de N_2O y sus rutas bioquímicas para mejorar la eficiencia del tratamiento y reducir las emisiones asociadas al sector saneamiento [7]. En este contexto, evaluar la DBO_5 y la DQO no solo permite caracterizar el comportamiento del afluente y del proceso biológico, sino también inferir el potencial de emisiones derivadas del tratamiento.

Considerando estos aspectos, el presente estudio analiza los datos operativos de la PTAR Juan Díaz entre 2020 y 2024 para evaluar la evolución de la DBO_5 y la DQO en distintas etapas del proceso, determinar la eficiencia de remoción y explorar su relación con el potencial de generación de GEI. Este enfoque aporta información clave para fortalecer la gestión operativa del sistema de saneamiento y contribuir a estrategias nacionales de mitigación climática.

2. MÉTODO

A. Adquisición y preparación de los datos

Los datos operativos correspondientes a los parámetros DBO_5, DQO, caudal, producción de biogás y consumo eléctrico fueron proporcionados por el personal técnico de la PTAR Juan Díaz para el periodo 2020–2024. Posteriormente, se realizó una depuración inicial para identificar valores faltantes, errores de digitación y posibles atípicos asociados a eventos operativos o condiciones ambientales. Una vez validada la consistencia de la base de datos, se procedió a organizar las series temporales por año y por etapa del proceso (afluente crudo, tratamiento biológico y efluente final) [10]. Debido a que durante 2020–2021 la PTAR Juan Díaz operó únicamente con el Módulo 1 y presentó limitaciones en la generación y continuidad de registros, el análisis se centró en el periodo 2022–2024, correspondiente a la fase de operación más estable y con series de datos completas proporcionadas por el personal técnico de la planta.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

B. Cálculo de carga orgánica y eficiencia de remoción

Para evaluar la magnitud real de la materia orgánica tratada, se calculó la carga diaria de DBO_5 y DQO utilizando las concentraciones reportadas y el caudal correspondiente. La carga orgánica se expresó en kg/día, lo que permitió normalizar las variaciones del flujo y obtener indicadores más robustos del desempeño operativo [7].

La eficiencia de remoción se estimó por dos enfoques:

- Por concentración: se compararon los valores de entrada y salida en cada etapa del proceso.
- Por carga: se aplicó un balance de masa diario, determinando la diferencia entre la carga afluente y la carga del efluente tratado.

C. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos, generación de series temporales y correlaciones se realizaron en Minitab. Se aplicaron estadísticos descriptivos como media, mediana, cuartiles y rango intercuartílico para caracterizar el comportamiento anual de los parámetros. Se emplearon gráficos de caja para identificar valores atípicos, así como series temporales para evaluar tendencias de eficiencia y fluctuaciones operativas.
Adicionalmente, se realizaron correlaciones lineales entre remoción de DBO_5, eficiencia porcentual, biogás y consumo eléctrico. Estas correlaciones permitieron explorar la relación entre la carga orgánica procesada, el desempeño del tratamiento y el potencial de generación de gases durante los procesos biológicos.

D. Interpretación operativa y ambiental

Los resultados del análisis estadístico se interpretaron considerando las condiciones de operación de la planta, la variabilidad del afluente y la capacidad de los reactores biológicos. Se integraron los patrones observados con la generación de biogás como indicador indirecto del potencial de emisiones, con el fin de establecer conexiones entre eficiencia de remoción, carga orgánica tratada y desempeño ambiental.

3. RESULTADOS

A. Eficiencia de remoción de DBO_5 y DQO

El análisis de los datos operativos de la PTAR Juan Díaz (2022–2024) mostró que la DBO_5 y la DQO son indicadores robustos y consistentes del desempeño del tratamiento. Las eficiencias se mantuvieron superiores al 90 %, con medianas cercanas al 95 % y rangos intercuartílicos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

reducidos, lo que refleja un proceso estable y capaz de responder a variaciones en la carga afluente (Fig. 1).

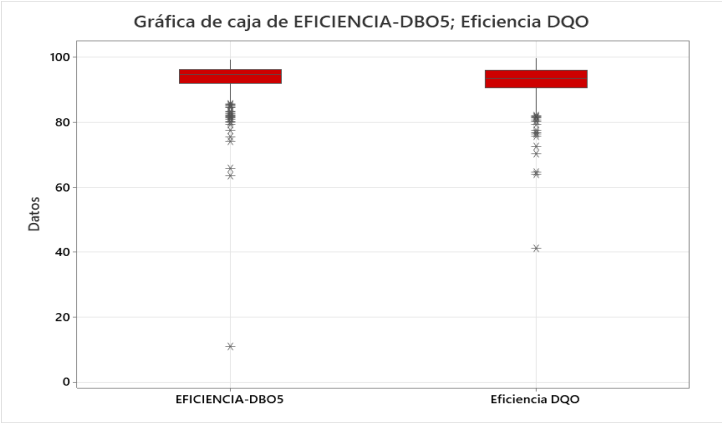


Fig. 1 Distribución de la eficiencia de DBO_5 y DQO durante el periodo evaluado

B. Variación temporal de la eficiencia

Las series temporales evidenciaron un comportamiento mayormente estable, con descensos puntuales asociados a sobrecargas hidráulicas o variaciones operativas, seguidos de una recuperación rápida, lo que demuestra la resiliencia del sistema biológico (Fig. 2).

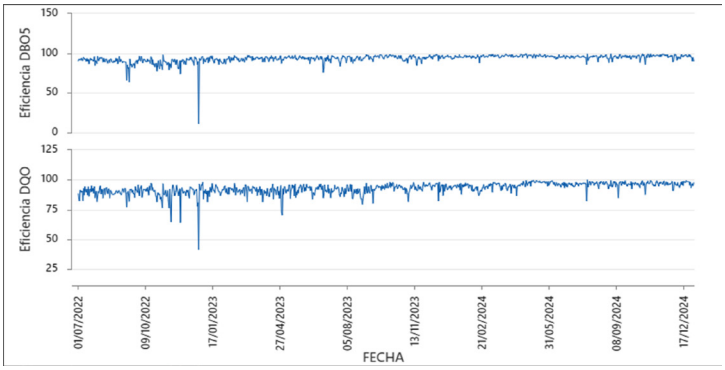


Fig. 2 Serie temporal de la eficiencia de remoción de DBO_5 y DQO entre 2020 y 2024

C. Correlaciones entre carga orgánica, eficiencia y biogás

El análisis de correlaciones mostró que la remoción en carga de DBO_5 fue la variable más asociada a la producción de biogás, indicando que mayores cargas removidas impulsan una mayor generación de gases durante el tratamiento (Fig. 3). Por el contrario, la eficiencia porcentual de DBO_5 presentó una correlación negativa débil con el biogás, coherente con la menor disponibilidad de sustrato biodegradable cuando la remoción es más alta. La relación entre remoción de carga y consumo eléctrico fue mínima, lo que sugiere que la demanda energética depende principalmente de las condiciones de operación de los sistemas de aireación y no del nivel de carga tratada.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

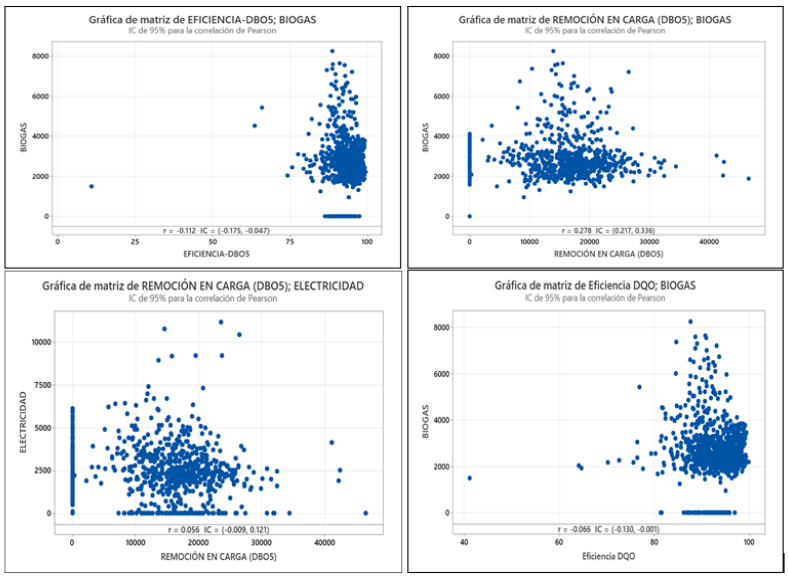


Fig. 3 Matriz de correlaciones entre eficiencia, remoción en carga, biogás y consumo eléctrico en la PTAR Juan Díaz.

4. CONCLUSIONES

El análisis de los datos operativos de la PTAR Juan Díaz (2022–2024) evidenció que la DBO_5 y la DQO son indicadores robustos y consistentes para evaluar la eficiencia del tratamiento. Las eficiencias superiores al 90 %, junto con los rangos intercuartílicos estrechos observados en los diagramas de caja y series temporales, confirman un desempeño estable aun ante variaciones en la carga afluente.

La disminución progresiva de la carga orgánica tratada, acompañada de un incremento en la eficiencia porcentual, indica que la planta ha operado bajo condiciones más favorables y ha mejorado su capacidad de remoción, sin evidenciar pérdidas de rendimiento.

Las correlaciones muestran que la remoción en carga de DBO_5 es la variable que mejor explica la producción de biogás, confirmando su importancia como indicador del potencial de generación de GEI. En contraste, la eficiencia porcentual de DBO_5 presentó una correlación negativa débil con el biogás, coherente con la menor disponibilidad de sustrato biodegradable cuando la eficiencia es mayor.

En conjunto, los resultados confirman que mejorar la remoción de DBO_5 y DQO no solo asegura la calidad del efluente, sino que influye directamente en la producción de biogás y en el potencial de emisiones asociadas. Estos parámetros deben mantenerse como base para futuras evaluaciones de desempeño, estimaciones de GEI y estrategias de mitigación en el sector saneamiento. Los hallazgos constituyen además un insumo relevante para optimizar la gestión operativa y fortalecer los inventarios nacionales de GEI en el ámbito del agua en Panamá.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

REFERENCIAS

[1] X. Li, J. Xu, D. Wang, J. Chen, and Y. Li, “Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment plants: A global meta-analysis,” Water Research, vol. 238, p. 119885, 2023. [Consultado: 15 de mayo de 2025].
[2] E. A. Ávalos-Martínez and E. Del Ángel-Meraz, “Estimación de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas en Tabasco, México,” Región y Sociedad, vol. 35, e1712, 2023. [Consultado: 18 de mayo de 2025]
[3] M. J. Kampschreur, et al., “Nitrous oxide emission during wastewater treatment,” Water Research, vol. 43, pp. 4093–4103, 2009. [Consultado: 18 de mayo de 2025].
[4] Y. Liu, et al., “Greenhouse gas emissions from wastewater treatment processes: A review,” Science of The Total Environment, vol. 807, p. 150–167, 2022. [Consultado: 25 de mayo de 2025].
[5] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed., 2017. [Consultado: 18 de mayo de 2025].
[6] C. Sawyer, P. McCarty, and G. Parkin, Chemistry for Environmental Engineering and Science, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2003. [Consultado: 20 de mayo de 2025].
[7] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014. [Consultado: 2 de junio de 2025].
[8] J. H. Ahn, et al., “Nitrous oxide emissions from wastewater treatment plants,” Water Research, vol. 44, pp. 4503–4513, 2010. [Consultado: 2 de junio de 2025].
[9] M. Han, et al., “Mechanisms of N_2O formation in biological nitrogen removal systems,” Environmental Science & Technology, vol. 45, no. 17, pp. 7551–7559, 2011. [Consultado: 2 de junio de 2025].
[10] M. R. Daelman, et al., “Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment,” Water Research, vol. 87, pp. 293–303, 2015. [Consultado: 2 de junio de 2025].

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

URBANIZACIÓN, CAMBIO CLIMÁTICO E INUNDACIONES: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR DE LA CUENCA DEL RÍO JUAN DÍAZ

Peregrina-Bonilla, Aaron
Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil
Ciudad de Panamá, Panamá
aaron.peregrina@utp.ac.pa

Osorio-Ugarte, Haydée
Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil
Ciudad de Panamá, Panamá
haydee.osorio@utp.ac.pa

Abstract

The Juan Díaz River Basin is located in an area of rapid urban growth. This accelerated increase has intensified the impermeabilization of the soil, reducing vertical infiltration and affecting aquifer recharge, which alters the surface and underground water balance. As a consequence, the subsoil's water buffering capacity progressively decreases. When this phenomenon is combined with extreme precipitation events linked to climate variability, the already insufficient storm drainage system becomes saturated, increasing the frequency and intensity of floods and favoring the mobilization of pollutants towards the underlying aquifer. This highlights the need to generate solid hydrogeological knowledge to understand the basin's dynamics under strong anthropogenic pressure and support sustainable water management strategies."
"The present study sought to comprehensively characterize the basin's hydrogeological conditions and establish a baseline of information for the development of aquifer system modeling tools. A state-of-the-art review was conducted using databases provided by the Directorate of Water Security of the Ministry of the Environment (Dirección de Seguridad Hídrica del Ministerio de Ambiente), which include the location of wells, forest cover, land use, and key hydrogeological features. The information was cleaned and standardized for integration into ArcGIS Pro, where georeferencing and spatial modeling processes were applied. From this, maps of permeability, drainage patterns, and quantitative indicators were generated. Finally, a monitoring network was designed with wells, springs, river courses, and rain gauges, complemented by participatory surveys that provided a comprehensive socio-hydrological perspective.

Keywords: Juan Diaz River, hydrogeology, urbanization , climate change, groundwarwer

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

La cuenca del río Juan Díaz se ubica en una zona de rápido crecimiento urbano. Este incremento acelerado ha intensificado la impermeabilización del suelo, reduciendo la infiltración vertical y afectando la recarga de los acuíferos, lo que altera el balance hídrico superficial y subterráneo. Como consecuencia, la capacidad de amortiguación hídrica del subsuelo disminuye progresivamente. Cuando este fenómeno se combina con eventos de precipitación extrema vinculados a la variabilidad climática, el sistema de drenaje pluvial ya insuficiente se ve saturado, aumentando la frecuencia e intensidad de las inundaciones y favoreciendo la movilización de contaminantes hacia el acuífero subyacente. Esto resalta la necesidad de generar conocimiento hidrogeológico sólido que permita comprender la dinámica de la cuenca bajo fuerte presión antropogénica y respaldar estrategias de gestión hídrica sostenible.

El presente estudio buscó caracterizar integralmente las condiciones hidrogeológicas de la cuenca y establecer una base de información para el desarrollo de herramientas de modelización del sistema acuífero. Se realizó un estado del arte utilizando bases de datos suministradas por la Dirección de Seguridad Hídrica del Ministerio de Ambiente, que incluyen localización de pozos, cobertura boscosa, uso del suelo y rasgos hidrogeológicos claves. La información fue depurada y normalizada para integrarla en ArcGIS Pro, donde se aplicaron procesos de georreferenciación y modelado espacial. A partir de ello se generaron mapas de permeabilidad, patrones de drenaje e indicadores cuantitativos. Finalmente, se diseñó una red de monitoreo con pozos, manantiales, cursos fluviales y estaciones pluviométricas, complementada con encuestas participativas que aportaron una perspectiva socio-hidrológica integral.

Palabras claves: Río Juan Díaz, hidrogeología, urbanización, cambio climático y aguas subterráneas

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica Nº 144 perteneciente al río Juan Díaz, ubicada en los distritos de Panamá y San Miguelito, constituye uno de los sistemas urbanos más dinámicos y ambientalmente vulnerables del país. Esta cuenca tiene aproximadamente 322 km² y una red de drenaje que desemboca directamente en la bahía de Panamá [1]. Esta cuenca experimenta un proceso acelerado de urbanización asociado al crecimiento demográfico y a la expansión territorial desordenada [2]. Las proyecciones oficiales estiman que la población metropolitana podría pasar de 725,065 habitantes en 2018 a cerca de 1,405,000 para 2050, lo cual representara una gran presión sobre los sistemas hídricos superficiales y subterráneos [25].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Diversos estudios han demostrado que los procesos de urbanización acelerada es el principal generador de un aumento significativo de superficies impermeables, reduciendo el proceso de infiltración vertical y alterando el balance hídrico natural de las cuencas [3], [4]. Este efecto es especialmente crítico en regiones tropicales, donde la intensificación de eventos extremos y la variabilidad climática a la que están expuesto aumentan el riesgo de escorrentías rápidas e inundaciones urbanas [5], [6]. En el caso de la cuenca del río Juan Díaz, los rellenos artificiales, la ocupación de humedales costeros y la distribución urbana han reducido altamente la capacidad de amortiguación del subsuelo, contribuyendo al aumento de la frecuencia e intensidad de las inundaciones [1].

Adicionalmente, el ascenso del nivel del mar incrementa la exposición de la cuenca a inundaciones compuestas fluviales y mareales, fenómeno ampliamente documentado en zonas urbanas costeras [7], [8]. Estas condiciones hacen indispensable comprender la dinámica hidrogeológica del sistema, considerando tanto los procesos superficiales como la estructura subsuperficial que controla la recarga, el almacenamiento y los flujos subterráneos.

En este contexto, el presente estudio desarrolla una caracterización hidrogeológica preliminar de la cuenca del río Juan Díaz mediante integración de información temática, teledetección e instrumentos SIG. Esta aproximación constituye una base esencial para el desarrollo de herramientas de modelación hidrogeológica orientadas a mejorar la gestión del riesgo de inundaciones, fortalecer la resiliencia climática y apoyar la planificación territorial sostenible en uno de los sistemas urbanos más sensibles de Panamá.

2. MÉTODO

La metodología se estructuró en cuatro componentes principales: (1) delimitación hidrológica de la cu2. enca, (2) integración y procesamiento de información temática, (3) análisis espacial para la generación del mapa sintético de permeabilidad, y (4) modelación tridimensional para la interpretación hidrogeológica preliminar. Estos procedimientos se desarrollaron en ArcGIS Pro utilizando criterios adoptados en estudios similares de caracterización hidrogeológica urbana [14].

2.1 Delimitación de la cuenca

La cuenca fue delimitada empleando un Modelo Digital de Elevación (DEM) de 5×5 m suministrado por el Ministerio de Ambiente. El DEM fue sometido a corrección hidrológica mediante Fill Sinks para eliminar depresiones artificiales y asegurar continuidad en el flujo superficial. Posteriormente, se generaron las capas de dirección y acumulación de flujo como lo indica el método para flujos distribuidos [9]. La validación geomorfológica se realizó comparando los cauces modelados con los ríos y quebradas identificados previamente por el estudio realizado por el Instituto de Cantabria [1].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Este proceso permitió obtener una delineación precisa de la red hidrográfica y los límites de la cuenca, insumo esencial para estudios hidrológicos y de gestión del riesgo en zonas urbanas.

2.2 Integración de información temática

Se integraron capas geoespaciales de geología, hidrogeología, pendiente y uso del suelo, proporcionadas por el Ministerio de Ambiente y validadas con datos del portal SINIA. Para evaluar los cambios en la cobertura superficial y la expansión urbana, se procesaron imágenes Landsat correspondientes a los años 1986, 2000 y 2024 utilizando análisis multiespectral infrarrojo. Este enfoque es ampliamente utilizado para identificar superficies impermeables y transformaciones urbanas en cuencas tropicales [10].

Cada capa temática fue reclasificada en una escala de permeabilidad relativa de 1 a 5, donde 1 representa baja permeabilidad (arcillas, rellenos, humedales antrópicamente alterados) y 5 representa alta permeabilidad (gravas, depósitos aluviales y suelos con alta porosidad). Esta clasificación se fundamentó en criterios hidrogeológicos y en estudios de infiltración urbana [3], [4].

2.3 Análisis espacial: Mapa sintético de permeabilidad

Las capas reclasificadas fueron integradas mediante la herramienta Weighted Overlay, asignando pesos relativos en función de la influencia de cada variable en la infiltración y el comportamiento subsuperficial: Geología: 40%, Hidrogeología: 30%, Uso del suelo: 20%, Pendiente: 10%

La ponderación se fundamentó en metodologías aplicadas en estudios similares de vulnerabilidad hidrogeológica y recarga. El resultado fue un mapa sintético de permeabilidad que permite identificar:

1. Zonas potenciales de recarga
2. Sectores críticos de baja infiltración

Transiciones geomorfológicas relevantes para la dinámica del acuífero

Este análisis constituye un insumo esencial para modelación hidrogeológica y para la gestión del riesgo por inundaciones en ambientes urbanos.

2.4 Modelación hidrogeológica tridimensional

Se elaboró una escena 3D utilizando la profundidad de los pozos de la cuenca y la altura del terreno obtenida del DEM. La integración tridimensional de variables geológicas y topográficas permite visualizar la continuidad de los estratos, la heterogeneidad del subsuelo y los gradientes potenciales de flujo subterráneo. Este enfoque es recomendado en investigaciones de evaluación preliminar de acuíferos urbanos y su interacción con

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

procesos hidrológicos superficiales [11].
Esta representación es clave en cuencas costeras sometidas a variaciones del nivel del mar y altas presiones antrópicas [7].

3.RESULTADOS

El análisis espacial y la integración de información temática permitieron obtener una caracterización detallada de la dinámica hidrogeológica de la cuenca del río Juan Díaz. Los resultados muestran una marcada heterogeneidad en los patrones de permeabilidad, estructura geomorfológica y distribución de usos de suelo, lo cual influye directamente en la capacidad de infiltración, la recarga del acuífero y la generación de escorrentía superficial en un entorno urbano en expansión [3], [12].

3.1. Delimitación hidrológica y estructura de la cuenca

La delimitación hidrológica a partir de un DEM de 5×5 m define un área de drenaje aproximada de 149.97 km² para la cuenca principal, cuya cabecera se localiza en el sector de Cerro Azul a una elevación máxima de 691 msnm.

3.2. Cambios en cobertura y uso del suelo

El análisis multitemporal de imágenes Landsat (1986–2024) evidenció una expansión urbana acelerada hacia el sector bajo y medio de la cuenca. La superficie impermeabilizada aumentó de manera consistente, reemplazando áreas vegetadas y humedales costeros que anteriormente funcionaban como zonas naturales de amortiguación e infiltración. Este patrón coincide con tendencias regionales documentadas en cuencas altamente urbanizadas de zonas tropicales [10], [14].

En particular, los humedales ubicados en la desembocadura muestran un retroceso considerable, asociado tanto a procesos de relleno antrópico como a ocupación informal e infraestructura vial. Dicha pérdida de servicios ecosistémicos reduce la capacidad natural de la cuenca para almacenar y retardar volúmenes de agua durante tormentas intensas.
La Figura 1 evidencia, mediante imágenes Landsat, una expansión acelerada de la urbanización en la cuenca del río Juan Díaz entre 1986 y 2024, con incremento de superficies impermeables desde la cuenca baja hacia la media y reducción progresiva de la cobertura vegetal, hoy concentrada principalmente en la parte alta, lo que favorece el escurrimiento superficial y aumenta la vulnerabilidad a inundaciones durante lluvias intensas.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

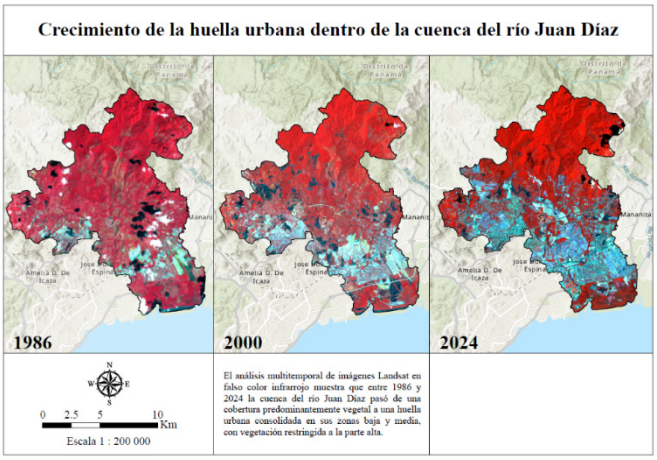


Figura 1. Crecimiento de la huella urbana dentro de la cuenca del río Juan Díaz.

3.3. Mapa sintético de permeabilidad

La integración de capas mediante Weighted Overlay permitió generar un mapa sintético de permeabilidad, el cual muestra tres tendencias principales:

a. Alta permeabilidad en zonas altas y medias

Corresponde a regiones con litologías más fracturadas, suelos aluviales y mayor cobertura vegetal. Estas áreas presentan condiciones favorables para infiltración y recarga, lo que coincide con observaciones en ambientes hidrogeológicos similares [12].

b. Permeabilidad moderada en corredores de transición

Zonas con mezcla de suelos intervenidos y remanentes naturales, que actúan como áreas intermedias entre la recarga efectiva y los sectores más impermeabilizados.

c. Baja a muy baja permeabilidad en la cuenca baja

Asociada a rellenos, marismas alteradas y superficies urbanas densas. Aquí se identifican los mayores niveles de impermeabilización y las áreas de mayor riesgo por inundación

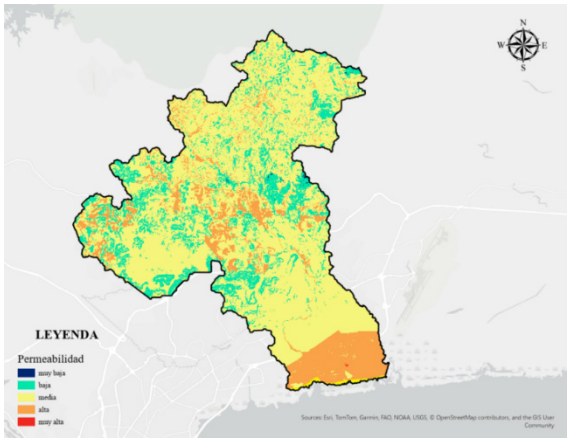


Figura 2. Mapa de permeabilidad de la cuenca del río Juan Díaz

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Asociada a rellenos, marismas alteradas y superficies urbanas densas. Aquí se identifican los mayores niveles de impermeabilización y las áreas de mayor riesgo por inundación.

3.4. Representación tridimensional (3D) del subsuelo

La figura 3 ilustra una escena 3D construida a partir de datos de pozos y elevaciones del terreno revela una marcada heterogeneidad en el espesor de los materiales subsuperficiales. Entre los principales hallazgos se identifican diferencias marcadas en la profundidad del acuífero, con niveles freáticos más profundos en la parte alta de la cuenca y más someros hacia la zona costera, donde la mayor influencia del nivel freático incrementa la vulnerabilida inundaciones durante eventos extremos y frente al ascenso del nivel del mar [15].

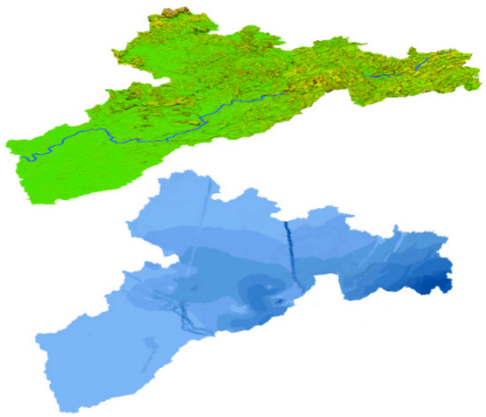


Figura 3. Topografía y nivel freático estimado en la cuenca del río Juan Díaz

Los resultados del análisis integrado evidencian una modificación progresiva del sistema hidrogeológico de la cuenca del río Juan Díaz, estrechamente asociada a la urbanización acelerada. La expansión de superficies impermeables en las zonas media y baja ha reducido la recarga freática y la permeabilidad del suelo, favoreciendo el escurrimiento superficial y una respuesta hidrológica más rápida ante lluvias intensas, lo que incrementa la susceptibilidad a inundaciones urbanas [16]–[18]. Asimismo, el gradiente del nivel freático sigue en términos generales la topografía y el patrón de drenaje, aunque presenta variaciones locales asociadas a la heterogeneidad hidrogeológica y al grado de intervención antrópica, especialmente en la cuenca baja, donde niveles freáticos someros y topografía suave aumentan la vulnerabilidad frente a eventos extremos y al ascenso del nivel del mar [19]–[24]. En conjunto, la interacción entre urbanización, propiedades del suelo y dinámica freática condiciona la resiliencia hidrológica del territorio y resalta la importancia de enfoques integrados para la gestión y planificación hídrica en contextos urbanos sometidos al cambio climático.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

Este estudio permitió caracterizar de manera preliminar la hidrogeología de la cuenca hidrológica del río Juan Díaz mediante la integración de datos geoespaciales, técnicas de teledetección y análisis estadísticos, demostrando que el enfoque metodológico adoptado es adecuado para identificar relaciones espaciales consistentes entre las características físicas de la cuenca y el comportamiento del acuífero.

Los resultados evidencian que variables como el uso y cobertura del suelo, la cobertura boscosa, la geología y la topografía influyen directamente en la dinámica del nivel freático, ya que la superficie subsuperficial estimada responde de forma coherente a las condiciones físicas de la cuenca, manteniendo gradientes y profundidades compatibles con la morfología del terreno y la red de drenaje.

La integración de cartografía temática y representaciones tridimensionales permitió visualizar de manera más clara la variabilidad espacial del sistema hidrogeológico, particularmente en la cuenca media y baja, lo que resalta el potencial de este análisis preliminar como base para el desarrollo de modelos hidrogeológicos más detallados y como insumo para la gestión y planificación hídrica en contextos urbanos sometidos a procesos acelerados de urbanización y cambio climático.

Referencias

[1] IH Cantabria and BID, “ESTUDIO INTEGRAL DE ACTUACIONES DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA DE JUAN DÍAZ,” Sep. 2016. Accessed: Dec. 04, 2025. [Online]. Available: https://resiliencia.mupa.gob.pa/wp-content/uploads/2022/08/ESTUDIO-INTEGRAL-DE-ACTUACIONES-DE-MITIGACION-DE-INUNDACIONES-EN-LA-CUENCA-DE-JUAN-DIAZ_IH-Cantabria_2016.pdf

[2] A. Carrera and J. Castro, “The Juan Díaz river basin: the logic of disorder,” pp. 217–234, Apr. 2024.

[3] C. R. Jacobson, “Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review,” J Environ Manage, vol. 92, no. 6, pp. 1438–1448, 2011, doi: 10.1016/j.jenvman.2011.01.018.

[4] M. J. Paul and J. L. Meyer, “Streams in the urban landscape,” Annu Rev Ecol Syst, vol. 32, no. Volume 32, 2001, pp. 333–365, Nov. 2001, doi: 10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.32.081501.114040/CITE/REFWORKS.

[5] S. Westra et al., “Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall,” Reviews of Geophysics, vol. 52, no. 3, pp. 522–555, Sep. 2014, doi: 10.1002/2014RG000464;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER.

[6] IPCC, “Climate Change 2013: The Physical Science Basis,” New York, 2014. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

[7] Y. Hirabayashi et al., “Global flood risk under climate change,” Nat Clim Chang, vol. 3, no. 9, pp. 816–821, Sep. 2013, doi: 10.1038/NCLIMATE1911.

[8] “Atlas de Riesgo Climático de Panamá.” Accessed: Dec. 08, 2025. [Online]. Available: https://

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

atlasderiesgoclimatico.miambiente.gob.pa/atlas
[9] D. G. Tarboton, “A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models,” Water Resour Res, vol. 33, no. 2, pp. 309–319, Feb. 1997, doi: 10.1029/96WR03137;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:19447973;ISSUE:ISSUE:DOI.
[10] Y. Montecelos-Zamora, T. Cavazos, T. Kretzschmar, E. R. Vivoni, G. Corzo, and E. Molina-Navarro, “Hydrological modeling of climate change impacts in a Tropical River Basin: A case study of the Cauto River, Cuba,” Water (Switzerland), vol. 10, no. 9, Aug. 2018, doi: 10.3390/W10091135.
[11] C. R. Fitts, “Groundwater Science,” Groundwater Science, pp. 1–672, Jan. 2012, doi: 10.1016/C2009-0-62950-0.
[12] S. Foster and R. Hirata, “The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection?,” Hydrogeol J, pp. 13899–1392, Nov. 2013, Accessed: Dec. 08, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/257471572_The_aquifer_pollution_vulnerability_concept_aid_or_impediment_in_promoting_groundwater_protection
[13] H. Wheater and E. Evans, “Land use, water management and future flood risk,” Land use policy, vol. 26, no. SUPPL. 1, pp. S251–S264, Dec. 2009, doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2009.08.019.
[14] B. F. Ochoa-Tocachi et al., “Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments,” Hydrol Process, vol. 30, no. 22, pp. 4074–4089, Oct. 2016, doi: 10.1002/HYP.10980;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER.
[15] “Climate Change 2021: The Physical Science Basis | Climate Change 2021: The Physical Science Basis.” Accessed: Dec. 08, 2025. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/
[16] Y. Zhou, X. Liu, J. Wang y H. Chen, “Impact of rapid urbanization on groundwater storage variation over two decades,” Science of the Total Environment, vol. 907, art. no. 167873, 2025, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.167873.
[17] U. Pasquier, M. P. Clark y E. J. G. Leijnse, “Quantifying the city-scale impacts of impervious surfaces on groundwater recharge potential,” Journal of Hydrology, vol. 612, art. no. 128202, 2022, doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128202.
[18] S. Shrestha, A. Sharma y R. J. Dawson, “Impact of urbanization on flood risk in metropolitan basins under changing climate conditions,” Hydrology, vol. 12, no. 11, p. 283, 2025, doi: 10.3390/hydrology12110283.
[19] R. Douglas y D. Murgulet, “Groundwater–surface water interactions in the coastal zone: Processes, controls and implications,” Journal of Hydrology, vol. 631, art. no. 130542, 2025, doi: 10.1016/j.jhydrol.2024.130542.
[20] D. J. Irvine, K. Singha, B. L. Kurylyk, M. A. Briggs, Y. Sebastian, D. R. Tait y A. M. Helton, “Groundwater-Surface water interactions research: Past trends and future directions,” Journal of Hydrology, vol. 644, Art. no. 132061, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.jhydrol.2024.132061.
[21] S. A. Siyad y Z. H. Mohamed, “A systematic literature review on groundwater recharge dynamics under climate variability, land use change and sea level rise,” Discovery Sustainability, vol. 6, art. no. 1331, Nov. 2025, doi: 10.1007/s43621-025-02232-3.
[22] S. Habel, “Hidden threat: The influence of sea-level rise on coastal groundwater systems,” Annual Review of Marine Science, vol. 16, pp. 345–368, 2024, doi: 10.1146/annurev-marine-020923-120737.
[23] M. Marshall, E. Dubois, S. C. Moulaye Ahmed Cherif, C. Dubath, O. Wague, G. Mariethoz y P. Perona, “Mapping groundwater-related flooding in urban coastal regions,” Journal of Hydrology, vol. 657, Art. no. 132907, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.jhydrol.2025.132907.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[24] J. D. Paul, A. Ajmi, D. Bolaji-Dada y S. Bordessoule, “Groundwater Flooding of Superficial Gravels in an Urbanized Catchment,” Journal of Flood Risk Management, vol. 18, no. 2, Art. no. e70050, 2025, doi: 10.1111/jfr3.70050.
[25] Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), XII Censo Nacional de Población y VIII de Vivienda 2020. Contraloría General de la República de Panamá, 2020.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

CALIDAD DEL AGUA COSTERA EN EL PACÍFICO DE PANAMÁ: TENDENCIAS ENTRE 2016-2024

López-Fernández, Isaac
Grupo de Investigación Ecología Funcional y Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
isaac.lopez@utp.ac.pa

Medina-Rodríguez, Aychel
Grupo de Investigación Ecología Funcional y Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
aychel.medina@utp.ac.pa

Gaitán-González, David
Grupo de Investigación Ecología Funcional y Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
david.gaitan@utp.ac.pa

Vergara-Chen, Carlos
Grupo de Investigación Ecología Funcional y Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
carlos.vergara3@utp.ac.pa

Abstract

Between 2016 and 2024, coastal water from Pacific Panama have been the subject of studies due to their high ecological value and the provision of essential ecosystem services to the communities that directly depend on these waters. Areas such as Chame Bay, the Caimito and Salado River estuaries, and various coastal beaches have been investigated for their importance in biodiversity conservation and the ecosystem functioning. However, these ecosystems face increasing pressure from anthropogenic activities and regional climate phenomena. Studies show a progressive alteration of environmental quality, marked by processes such as eutrophication, fecal pollution, and the decline of dissolved oxygen levels, which compromises biodiversity, public health, and the economic sustainability of coastal communities. This situation highlights the need for updated and approved environmental regulations governing water quality in marine and coastal areas in Panama. Furthermore,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

the responsible agencies face operational limitations in conducting systematic assessments, which restricts their ability to characterize factors of environmental deterioration. Therefore, to explore the physicochemical and biological properties of coastal and understand their ecological implications, as well as opportunities for evidence-based management, an analysis was conducted based on studies conducted in representative coastal ecosystems of the Panamanian Pacific. The review included seasonal monitoring campaigns conducted in estuarine areas and beaches influenced by rivers, during which parameters such as salinity, temperature, pH, dissolved oxygen, nitrate, and phosphate were assessed, as well as microbiological indicators such as total coliforms, Escherichia coli, and enterococci. The data showed high temporal and spatial dispersion, reflecting the lack of continuity in environmental monitoring. The results also revealed highly variable environmental dynamics, with greater physicochemical stability and increased biological productivity during the dry season, while during the rainy season, microbiological contamination levels increase due to surface runoff and wastewater discharge. The persistent presence of inorganic nutrients has been identified as a critical factor promoting eutrophication and ecological deterioration, while significant challenges persist in establishing stable reference criteria for assessing coastal water quality. The absence of specific regulations and long-term monitoring plans limits the ability to relate observed effects to pollution pressures. Consequently, the urgent need to implement specific regulations on natural water quality, accompanied by ecologically relevant criteria and the necessary institutional strengthening to expand monitoring coverage, is highlighted. The findings provide a comprehensive understanding of the current state of the marine-coastal systems of the Panamanian Pacific and reaffirm that their conservation requires coordinated monitoring, regulation, and research actions as a basis for sustainable environmental management that benefits both biodiversity and the communities dependent on these ecosystems.

Keywords: Water quality, marine-coastal ecosystems, climate variability, coastal biodiversity, sustainable management.

Resumen

Entre los años 2016 y 2024, las aguas costeras del Pacífico de Panamá han sido objeto de estudios debido a su alto valor ecológico y a su provisión de servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades que dependen directamente de estas aguas para su subsistencia. Zonas como la Bahía de Chame, el estuario del río Caimito y del río Salado, además de diversas playas del litoral, han sido investigadas por su relevancia en la conservación de la biodiversidad y en el del ecosistema. Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan una creciente presión por actividades antropogénicas y fenómenos climáticos regionales.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Los estudios evidencian una progresiva alteración de la calidad ambiental, marcada por procesos como la eutrofización, la contaminación fecal y la disminución del oxígeno disuelto, lo que compromete tanto la biodiversidad, la salud pública y la sostenibilidad económica en comunidades costeras. Esta situación pone en manifiesto la necesidad de contar con normativas ambientales actualizadas y aprobadas, que regulen la calidad del agua en zonas marinas y costeras en Panamá. Además, las agencias responsables enfrentan limitaciones operativas para realizar evaluaciones sistemáticas, lo que restringe la capacidad de caracterizar los factores de deterioro ambiental. Por lo tanto, con el fin de explorar las características fisicoquímicas y biológicas del agua costera y comprender sus implicaciones ecológicas, así como las oportunidades para una gestión basada en evidencia, se realizó un análisis a partir de estudios desarrollados en ecosistemas costeros representativos del Pacífico panameño. La revisión incluyó campañas de monitoreo estacional realizadas en zonas estuarinas y playas con influencia fluvial, durante las cuales se evaluaron parámetros como salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato, así como indicadores microbiológicos como coliformes totales, E. coli y enterococos. Los datos mostraron una alta dispersión temporal y espacial, lo que reflejó la falta de continuidad en la vigilancia ambiental. A su vez, los resultados revelaron una dinámica ambiental altamente variable, con mayor estabilidad fisicoquímica y aumento de la productividad biológica durante la estación seca, mientras que, en la temporada lluviosa, se incrementan los niveles de contaminación microbiológica por el arrastre superficial y el vertimiento de aguas residuales. La presencia persistente de nutrientes inorgánicos se ha identificado como un factor crítico que favorece la eutrofización y el deterioro ecológico, al tiempo que persisten importantes desafíos para establecer criterios de referencia estables en la evaluación de la calidad del agua costera. La ausencia de normativa específica y de planes de monitoreo a largo plazo limita la capacidad de relacionar los efectos observados con las presiones contaminantes. En consecuencia, se destaca la urgencia de implementar un reglamento específico sobre calidad de aguas naturales, acompañado por criterios ecológicamente relevantes y por el fortalecimiento institucional necesario para ampliar la cobertura del monitoreo. Los hallazgos permiten comprender de manera integrada el estado actual de los sistemas marino-costeros del Pacífico panameño y reafirman que su conservación requiere acciones coordinadas de monitoreo, regulación e investigación, como base para una gestión ambiental sostenible que beneficie tanto a la biodiversidad como a las comunidades dependientes de estos ecosistemas.

Palabras claves: Calidad del agua, ecosistemas marino-costeros, variabilidad climática, biodiversidad costera, gestión sostenible.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en los ecosistemas marino-costeros depende de la interacción entre procesos hidrodinámicos, presiones antrópicas y variaciones propias de la estacionalidad climática. En el Pacífico panameño, diversos estudios han evaluado ambientes representativos como Playa Río Mar, la Bahía de Chame y el estuario del río Salado, así como otros sectores del Pacífico y del Caribe, revelando cómo las condiciones climáticas y oceanográficas modulan de manera directa los parámetros de calidad del agua [3]. Cada uno de estos sistemas muestra patrones particulares en la distribución de bacterias indicadoras fecales, concentración de nutrientes y comportamiento de variables fisicoquímicas, reflejando la interacción continua entre actividades humanas y procesos naturales que estructuran la dinámica ambiental costera [1,5].

En la Playa Río Mar se ha identificado un comportamiento particular en la calidad del agua, caracterizado por un incremento en las concentraciones de bacterias indicadoras fecales (coliformes totales, Escherichia coli y enterococos) durante la temporada seca y en la temporada lluviosa, los niveles bacterianos tienden a disminuir, probablemente debido a la mayor escorrentía superficial que favorece la dispersión de contaminantes en playas abiertas [3], resaltando cómo las variaciones fisicoquímicas condicionan la dinámica microbiana en estos ambientes costeros.

Por su parte, la Bahía de Chame, un ecosistema semicerrado dominado por manglares y con limitado recambio de agua, presenta una condición ambiental más vulnerable. El índice de calidad de agua marino costera registra valores más favorables en la estación seca, pero una marcada disminución durante la temporada lluviosa, periodo en el que los coliformes fecales aumentan significativamente. Este deterioro está asociado a un mayor aporte de nutrientes y sedimentos, así como a la baja capacidad de dispersión de contaminantes [2].

El estuario del río Salado mantiene este comportamiento estacional diferenciado: durante la temporada lluviosa se observan incrementos en pH y coliformes totales debido al arrastre de sedimentos, mientras que en la estación seca se registran concentraciones elevadas de nitratos y fosfatos, vinculadas al afloramiento costero que incorpora aguas profundas ricas en nutrientes [1,4,6].

Estas investigaciones demuestran que la estacionalidad y la variabilidad climática influyen de forma decisiva sobre la temperatura, salinidad, nutrientes y abundancia bacteriana en los ecosistemas marino-costeros [5]. Por lo tanto, se llevó a cabo un análisis comparativo de estudios desarrollados en ecosistemas costeros del Pacífico panameño con el fin de identificar sus características fisicoquímicas y biológicas y evaluar sus implicaciones ecológicas y de gestión. Este enfoque permite generar evidencia científica que respalde una gestión ambiental más informada y sostenible de los recursos marino-costeros.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MÉTODO

A. Literatura revisada

Para evaluar el comportamiento de patrones de calidad de agua en el litoral del Pacífico de Panamá, se analizaron los estudios descritos en la Tabla No.1.

Tabla 1. Estudios analizados sobre calidad de agua costera en diferentes localidades del Pacífico de Panamá.

Sitio de estudio	Año	Estudio	Autores
Playa Teta, Playa Hermosa, Playa La Marinera	2016	*Establecimiento de una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera para la evaluación de los posibles efectos del cambio climático en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera*	Castillo, Verónica; Guerra, Gisselle & Broce, Kathia
Bahía de Chame	2020	*Calidad del Agua de la Bahía de Chame ubicada en el Golfo de Panamá, provincia de Panamá Oeste a partir del Índice de Calidad de Agua Marino-Costera, ICAMPFF*	Barrios, Roselvy & Grey, Ariel
Estuario del Río Caimito	2022	*Distribución de indicadores microbianos a lo largo del gradiente de salinidad del estuario del Río Caimito, La Chorrera (Panamá Oeste)*	Acosta, Higina & Aparicio, Cilinia
Playa Río Mar, San Carlos	2023	*Calidad del agua de una playa del Pacífico de Panamá: condiciones fisicoquímicas y bacterias fecales*	Vergara-Chen, Carlos, et. al.
Estuario del Río Salado, Bahía de Chame	2023	*Calidad del agua y flujo de CO2 en el estuario del Río Salado, Bahía de Chame, Pacífico de Panamá*	Martínez, Gabriela, et.al.
	2024	*Spatiotemporal variation of hydrological and bacteriological conditions in the estuary of Río Salado-Bahía de Chame*	Gaitán, David, et. al.
	2024	*Distribución de nutrientes en un estuario de manglar en la Bahía de Chame*	Rodríguez, Bethel, et.al.

B. Parámetros evaluados

El análisis de la calidad del agua costera incluyó la evaluación de parámetros fisicoquímicos como salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto (OD); nutrientes tales como nitrito, nitrato y fosfato; y parámetros biológicos como Escherichia coli (E. coli) y enterococos.

3. RESULTADOS

A. Parámetros Físicoquímicos

- pH y salinidad: presentaron una variabilidad espacial y estacional marcada en el litoral Pacífico panameño durante el periodo 2016–2024. En Playa Teta, Hermosa y La Marinera se

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

registraron valores medios de pH entre 7,1 y 7,5, y salinidad entre 29 y 32 UPS, reflejando la influencia de descargas de agua dulce y escorrentía continental [5]. En contraste, en Playa Río Mar el pH alcanzó 8,54 y la salinidad 29 UPS, con valores mínimos cerca del río Calabazo, evidenciando una correlación negativa entre salinidad y nutrientes o bacterias fecales asociada a procesos de dilución durante la lluvia [3]. En la Bahía de Chame y el estuario del río Salado, la salinidad media fue de 28,9 UPS y el pH entre 7,5 y 7,7, variaciones relacionadas con las descargas fluviales y los aportes pluviales [4]. Estas variaciones se explican por la dinámica hidrológica y la interacción de procesos naturales y antropogénicos. El afloramiento costero en la estación seca disminuye la temperatura y el pH al incorporar aguas profundas ricas en nutrientes, mientras que las precipitaciones reducen la salinidad y modifican el equilibrio ácido-base, favoreciendo episodios de hipoxia y acidificación en zonas estuarinas [7,8].

- Temperatura y OD: mostraron diferencias marcadas entre los sitios evidenciando una relación inversa, donde las aguas más cálidas presentaron menores concentraciones de OD, mientras que las más frías retuvieron niveles más altos, un patrón típico en sistemas tropicales [5,8]. Playa La Marinera registró la temperatura media más baja (~28 °C) y el OD más alto (≈7–7,5 $mg \cdot L^{-1}$), mientras que Playa Hermosa presentó las temperaturas más elevadas (~30,5 °C) y el menor OD (~4 $mg \cdot L^{-1}$), indicando condiciones térmicamente estables pero con deficiencia de oxígeno. Playa Teta y el estuario del río Caimito mostraron valores intermedios (~29–30 °C; OD ≈5 $mg \cdot L^{-1}$), en tanto que el estuario del río Salado registró 29,2 °C y OD ≈4,5 $mg \cdot L^{-1}$ [3,4,12]. Estas variaciones responden a factores oceanográficos y locales, destacando el afloramiento costero [1,3]. Sin embargo, en zonas sin influencia de afloramiento, como Playa Hermosa, el estancamiento térmico favorece el calentamiento superficial, mientras que en los estuarios del Caimito y Salado la mezcla con agua dulce y la descomposición de materia orgánica disminuyen el OD, especialmente durante la temporada lluviosa [3,8,12].
- Nutrientes (nitrito, nitrato y fosfato): se evidenció concentraciones bajas de nutrientes indicando aguas costeras con limitada eutrofización puntual. Sin embargo, se observó una diferencia entre Playa Teta y La Marinera que presentaron concentraciones de nitrato relativamente superiores (0,10–0,20 $mg \cdot L^{-1}$), mientras que Playa Hermosa mostró valores menores, en concordancia con antecedentes regionales [5]. El estuario del río Caimito registró picos de nitrato y fostato atribuibles a descargas urbanas, mientras que el estuario del río Salado y la Bahía de Chame exhibieron valores intermedios influenciados por la mezcla fluvial-marina. Las fuentes de estos nutrientes son mixtas; entre las naturales se incluyen el reciclaje interno de materia orgánica y la surgencia de aguas profundas ricas en nitrógeno inorgánico, y entre las antropogénicas, el uso de fertilizantes agrícolas, la escorrentía urbana y las descargas domésticas e industriales insuficientemente tratadas. Estos procesos explican los incrementos localizados en cuencas con mayor actividad humana

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

y durante periodos de alta escorrentía [2,9,12].

B. Parámetros Biológicos

Los valores de E. coli y enterococos presentados en los sitios costeros del Pacífico panameño entre 2016–2024 muestran una distribución espacial heterogénea, influenciada por el grado de urbanización y la estacionalidad. Playas con menor presión antrópica como Teta, La Marinera y la Bahía de Chame registraron concentraciones bajas, en concordancia con los valores de recuentos bacterianos reportados se encuentran dentro de los límites aceptables para aguas recreativas (<500 UFC·100 mL^{-1} de E. coli y <50 de enterococos) [5,1]. En contraste, los estuarios del Caimito y Salado, ubicados próximos a centros urbanos, presentaron concentraciones superiores, asociadas con aportes de aguas residuales domésticas y escorrentía urbana [3,10,12]. En Playa Río Mar, registraron incrementos marcados de E. coli y enterococos durante la estación seca, coincidiendo con una mayor actividad turística, lo que sugiere la influencia directa de actividades recreativas costeras (balnearios, embarcaciones y vertidos asociados) [3]. Asimismo, se observó una correlación negativa entre salinidad y enterococos en sistemas tropicales, donde la entrada de aguas fluviales reduce la salinidad y arrastra contaminantes fecales desde las cuencas adyacentes [11]. En conjunto, estos resultados confirman que los estuarios urbanos constituyen los principales receptores de contaminación fecal tanto difusa como puntual en el Pacífico panameño.

4. CONCLUSIONES

Se identificó las características fisicoquímicas y biológicas de las masas de agua de la costa del Pacífico de Panamá, los cuales revelaron una dinámica ambiental altamente variable, con mayor estabilidad fisicoquímica y un incremento de la productividad biológica durante la estación seca, mientras que, en la temporada lluviosa, se aumenta los niveles de contaminación microbiológica por el arrastre superficial y el vertimiento de aguas residuales en estos cuerpos de agua. A su vez, la presencia persistente de nutrientes inorgánicos se identificó como un factor crítico, que favorece procesos degenerativos como la eutrofización. El estudio comparativo permitió distinguir dos patrones principales. En playas abiertas, la presión antrópica constituye la fuente predominante de contaminación durante la estación seca, ligada al uso recreativo intensivo y a la limitada dispersión de contaminantes en periodos de menor precipitación. En contraste, en bahías y estuarios semicerrados, la temporada lluviosa intensifica la entrada de sedimentos, nutrientes y microorganismos, resultado de una mayor escorrentía y de un intercambio hidrodinámico restringido. Reconocer estas diferencias es de importancia para desarrollar estrategias de manejo adaptadas a las características hidrológicas y ecológicas de cada ecosistema.

La falta de una normativa específica para cuerpos de aguas naturales y la ausencia de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

planes de monitoreo a largo plazo dificultan establecer relaciones claras entre las presiones contaminantes, los efectos observados y la vulnerabilidad climática. En consecuencia, se propone la elaboración de un reglamento nacional de calidad de aguas naturales que incorpore criterios ecológicos relevantes y fortalezca los programas de monitoreo. Ello permitiría comprender de manera integral la dinámica de los sistemas marino-costeros y sustentar una gestión ambiental sostenible que favorezca tanto la biodiversidad como la resiliencia de las comunidades costeras frente al cambio climático.

Referencias

[1] Gaitán, D., López, I., González, Y., Grey, A., Collado, G., & Vergara-Chen, C. (2024). Spatiotemporal variation of hydrological and bacteriological conditions in the estuary of Río Salado-Bahía de Chame. In 2024 9th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC) (pp. 141-146). http://doi:10.1109/IESTEC62784.2024.10820262.

[2] Barrios, R., & Grey, A. (2020). Calidad del Agua de la Bahía de Chame ubicada en el Golfo de Panamá, provincia de Panamá Oeste a partir del Índice de Calidad de Agua Marino-Costera, ICAMPFF, vol. 18. http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.166.

[3] Vergara-Chen, C., Guevara, B., Zúñiga, M., & González, Y (2023). Calidad del agua de una playa del Pacífico de Panamá: condiciones fisicoquímicas y bacterias fecales, vol. 19, nº 2, pp. 94-100. https://doi.org/10.33412/idt.v19.2.3826

[4] Martínez, G., Medina, A., González, Y., Romero, T., Vergara-Chen, C., Sanchez, C., & Vargas, C. (2023). Calidad del agua y flujo de CO_2 en el estuario del Río Salado, Bahía de Chame, Pacífico de Panamá. https://doi.org/10.33412/apanac.2023.3937.

[5] Castillo, V., Guerra., G & Broce, K. (2016). Establecimiento de una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera para la evaluación de los posibles efectos del cambio climático, Revista de I+D Tecnológico, vol. 12, nº 1, pp. 23-32, 2016. https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/591/html

[6] Rodríguez, B., Vásquez, J., González, Y., Grey, A., Collado, G., & Vergara-Chen, C. (2024). Nutrient distribution in a mangrove estuary in Bahia de Chame, 9th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), Panama City, Panama, pp. 303-307. https://doi.org/10.1109/IESTEC62784.2024.10820243

[7] O'Connor, J.A., Erler, D.V., Ferguson, A., & Maher, D.T. The tidal freshwater river zone: Physical properties and biogeochemical contribution to estuarine hypoxia and acidification. (2022). Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 268. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107786.

[8] D'Croz, L & O'Dea, A. (2007). Variability in upwelling along the Pacific shelf of Panama and implications for the distribution of nutrients and chlorophyll. Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 73, pp. 325-340, 2007. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.01.013.

[9] EPA. (2025). Where Nutrient Pollution Occurs. United States Government, 18 August. [En línea]. Available: https://www.epa.gov/nutrientpollution/where-nutrient-pollution-occurs.

[10] EPA. (2025). Recreational Water Quality Criteria and Methods,» United States Enviromental Protection Agency, 8 October. [En línea]. Available: https://www.epa.gov/wqc/recreational-water-quality-criteria-and-methods.

[11] Holcomb, D., & Stewart, J. (2020). Microbial Indicators of Fecal Pollution: Recent Progress and

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Challenges in Assessing Water Quality. Curr Environ Health Rep, vol. 7, nº 3, pp. 311-324. https://doi.org/10.1007/s40572-020-00278-1.

[12] Acosta, H., & Aparicio, C. (2020). Distribución de indicadores microbianos a lo largo del gradiente de salinidad del estuario del Río Caimito, La Chorrera (Panamá Oeste). (2022). Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad tecnológica de Panamá, Ciudad de Panamá.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Impacto y Tendencias para la Optimización del Nearshoring en la Cadena de Suministro de Autopartes para Vehículos Eléctricos

Agudelo, Ángela
FII, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
angela.agudelo@utp.ac.pa

Vergara Villarreal, Gabriel
FII, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0002-2247-7876

Rodríguez, Axel
VIPE, Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0002-2485-1382

Abstract

Electric mobility is transforming the automotive industry, and with the growth of electric vehicles (EVs), the need for new supply chains is emerging. In this context, nearshoring is a strategy for producing closer to the end consumer, reducing global risks, leveraging trade agreements, and improving logistics, thereby strengthening regional resilience.

The transition to sustainable mobility has driven demand for EVs, generating profound changes in the automotive supply chain, particularly in the auto parts sector. This research analyzes the impact of nearshoring by identifying trends and practices that contribute to optimizing the production and supply of EV components. To this end, a systematic review of studies related to the auto parts supply chain focused on EVs was conducted.

The analysis combined qualitative and quantitative approaches: on one hand, non-numerical concepts and data related to relocation processes were interpreted; on the other, sales and production figures were evaluated to explain why various manufacturers consider nearshoring a key strategy for ensuring a competitive supply.

The results led to proposals for applying nearshoring in the automotive industry, with a focus on regions showing high relocation potential. Countries such as Chile, Uruguay, Panama, Costa Rica, El Salvador, and the Dominican Republic stand out for their policies promoting electric mobility, their geographic proximity to assembly centers, their trade

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

agreements, and the availability of certain raw materials—factors that position them as favorable destinations for the electric vehicle parts supply chain.

Keywords: Nearshoring, auto parts supply chain, automotive industry, electric vehicles and logistics

Resumen

La movilidad eléctrica está transformando la industria automotriz y, con el crecimiento de los vehículos eléctricos (VE), surge la necesidad de nuevas cadenas de suministros. En este contexto, el nearshoring es una estrategia para producir cerca del consumidor final, reducir riesgos globales, aprovechar acuerdos comerciales y mejorar la logística, fortaleciendo así la resiliencia regional.

La transición hacia una movilidad sostenible ha impulsado la demanda de VE, generando cambios profundos en la cadena de suministro automotriz, en el sector de autopartes. Esta investigación analiza el impacto del nearshoring identificando tendencias y prácticas que contribuyen a optimizar la producción y abastecimiento de componentes para VE. Para ello, se realizó una revisión sistemática de estudios relacionados con la cadena de suministro de autopartes enfocadas en VE.

El análisis combinó enfoques cualitativos y cuantitativos: por un lado, se interpretaron conceptos y datos no numéricos vinculados a los procesos de relocalización; por otro, se evaluaron cifras de ventas y producción que explican por qué diversos fabricantes consideran el nearshoring como una estrategia clave para asegurar un suministro competitivo.

Los resultados permitieron propuestas para aplicar el nearshoring en la industria automotriz, con atención en regiones que muestran alto potencial de relocalización. Países como Chile, Uruguay, Panamá, Costa Rica, El Salvador y República Dominicana destacan por sus políticas de impulso a la movilidad eléctrica, su cercanía geográfica a centros de ensamblaje, sus tratados comerciales y la disponibilidad de ciertas materias primas, elementos que los posicionan como destinos favorables para la cadena de suministro de autopartes para VE.

.

Palabras claves: Nearshoring, cadena de suministro de autopartes, industria automotriz, vehículos eléctricos y logística

1. INTRODUCCIÓN

El avance hacia una movilidad más sostenible ha impulsado la adopción de vehículos eléctricos, generando un impacto significativo en la cadena de suministro automotriz, particularmente en el sector de autopartes. Se espera que, en los próximos años, aumente la demanda de vehículos, al igual que la demanda de sus partes.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En los últimos años el mercado automotriz ha incrementado sus cifras de venta y producción. Un hecho que ha aportado a este crecimiento es el nuevo auge de los vehículos eléctricos, debido a la misión global de reducir las emisiones de CO2 y gases de efecto invernadero, algunos países por lo firmado en el acuerdo de París y otros por el objetivo de ser sostenibles y responsables con el medio ambiente (El acuerdo de París, 2015), (KPMG, Ley de Movilidad Eléctrica) aunque, los carros de diésel y gasolina aún se mantienen en el mercado y su oferta y demanda es equilibrada, se estima que para los próximos veinte años su producción baje en grandes niveles [1].
Algunas empresas manufactureras de autopartes de vehículos convencionales ya practican el nearshoring al ubicar plantas de ensamblaje y/o producción en un país cercano a sus consumidores finales o mercado meta, abasteciéndose de materia prima local e importando la mínima cantidad de partes [2].

Actualmente la producción de vehículos eléctricos y autopartes se da en su mayoría en países como: China, Alemania, Japón, Noruega, Países bajos y Estados Unidos. Aunque Estados Unidos presenta cercanía con los países de la región de centro América, el caribe y sur América, este produce para cubrir la demanda de su producto ofrecido, los vehículos marca Tesla, lo que produce una barrera para aquellos consumidores que desean obtener una autoparte para sus vehículos eléctricos de otras marcas [3].

2. MÉTODO

A. Enfoque Cualitativo y Cuantitativo

Se utilizó un enfoque cualitativo, mediante el análisis de conceptos y la interpretación de datos no numéricos y cuantitativo ya que se requirió el análisis de cifras de ventas, ingresos [4] entre otros indicadores que sustentan porque las marcas o grupos tienden a implementar el nearshoring como una opción para realizar un eficiente abastecimiento y venta de autopartes para vehículos eléctricos

B. Revisión Sistemática

La presente revisión sistemática del impacto del nearshoring en la cadena de suministro de autopartes para vehículos eléctricos y tendencias para su optimización se realizó poniendo en práctica la metodología para la realización de una búsqueda sistemática, se definió la pregunta de investigación, después se determinaron los criterios de inclusión y exclusión de bibliografía e infografía, se identificaron la fuentes de información confiable y se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión para definir que artículos eran de relevancia y cuales no, posteriormente se organizó la bibliografía seleccionada, se analizó la información

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

encontrada de manera que se pudiera dar un orden estructurado y lógico a la literatura [5].

C. Elementos de Búsquedas

Los términos de búsqueda y palabras clave incluyeron: “nearshoring en la industria automotriz” “cadena de suministro de autopartes” “vehículos eléctricos y logística” “optimización de nearshoring en la cadena de suministro”. Las bases de datos principales fueron: Google Scholar, ScienceDirect, IEEE Xplore, SpringerLink.

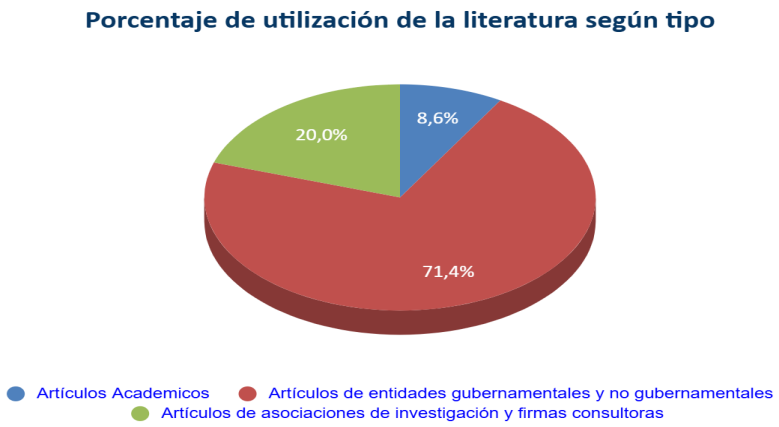
La recolección de los datos se basó en aquellos disponibles en la web y análisis de estos ya sea en idioma inglés, español o cualquier otro mediante la traducción de la información.

3. RESULTADOS

A. Resultados Bibliométricos

Los resultados bibliométricos obtenidos producto de la revisión sistemática siguiendo los términos de búsqueda y palabras clave planteadas en la metodología se pueden visualizar en la Fig 1 Porcentaje de la Literatura. y las diferentes fuentes de información, en la Fig. 2 Resultados obtenidos Vs Resultados utilizados siguiendo los parámetros de inclusión y exclusión solo algunas fueron utilizadas.

Fig. 1. Porcentaje de utilización de literatura según tipo



https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig. 2. Resultados obtenidos Vs Resultados utilizados

Entre los resultados obtenidos producto de la revisión sistemática el 8.6% son artículos académicos, 20% artículos de asociaciones de investigación y firmas consultoras y el 71.4% de entidades gubernamentales y no gubernamentales. Se utilizaron 36 de nearshoring en la industria automotriz, 23 de cadena de suministro de autopartes, 4 de vehículos eléctricos y logística y 7 de optimización del nearshoring en la cadena de suministro.

B. Nearshoring y Globalización en la Industria automotriz

En la industria automotriz, el nearshoring ha cobrado impulso a medida que las empresas buscan reducir los costos logísticos, mitigar los riesgos de la cadena de suministro y mejorar la capacidad de respuesta a la demanda del mercado.

Las estrategias de producción globalizadas utilizadas han sido: offshoring, reshoring y nearshoring. Cada una de estas estrategias presenta ventajas y desafíos distintivos, lo que influye en la adaptabilidad de la industria a las cambiantes condiciones económicas, tecnológicas y geopolíticas de los mercados.

C. Definición y evolución de la movilidad eléctrica

En la actualidad por definición la movilidad eléctrica (e-mobility), se refiere al uso de energía eléctrica en lugar de los combustibles fósiles tradicionales, ya sea de fuentes renovables o no renovables, como energía para la propulsión de los vehículos. El tipo de propulsión es la principal diferencia entre los vehículos convencionales de combustión (VCI) y los vehículos eléctricos (VE), el termino vehículos eléctricos abarca a todos los modos de transporte, como: autobuses, motos, bicicletas, vehículos acuáticos y aéreos.

D. Cadena de suministro de autopartes

Las autopartes son piezas o conjunto de piezas (sistemas), que son esenciales para el armado

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de un vehículo. Algunas de las autopartes que se pueden mencionar son: partes mecánicas, como, pistones, tornillos, entre otros; sistemas eléctricos, sistema de frenos, suspensiones, carrocería, entre otras [6].

E. Sistema de propulsión de los VCI – VE

La cadena de suministro en los sistemas de propulsión de los (VCI) es especializada, en los (VE) son estandarizadas, la tecnología es alta innovación para los VCI, en cambio para los VE es procesos maduros. Los costos son elevados para los sistemas VCI y competitivos para VE. En relación con las regulaciones en los sistemas VCI se presentan los incentivos verdes, en cambio para los VE menor presión. Con respecto a la logística en los VCI existe dependencia crítica y para los VE estabilidad Fig. 4 y Fig. 5.

Fig. 3. Sistema de propulsión de los VCI

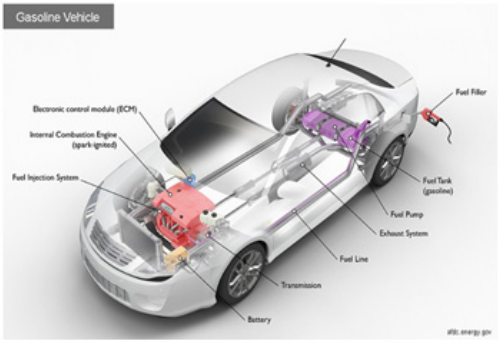
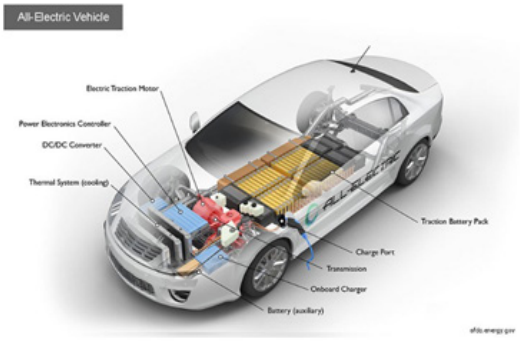


Fig. 4. Sistema de propulsión de los VE



F. Lineamientos y Propuesta

La consolidación de una red regional en producción y alianzas con proveedores OEM. Priorización de zonas con acceso a materias primas claves tales como litio, cobre, etc.; desarrollo de infraestructura logística moderna, motivación a que los países desarrollen estrategias para la inversión extranjera, aprovechar la cercanía a ensambladoras y acceso al sistema portuario y priorizar en el desarrollo de estrategia de la producción sostenible y responsable con bajo impacto ambiental.

En función de lo antes descrito consideramos pertinente verificar las ventajas competitivas de los siguientes países propuestos para la red regional de distribución de autopartes Fig. 5 como lo son: Chile, Uruguay, Panamá, Costa Rica, El Salvador y República Dominicana.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig. 5. Sistema de propulsión de los VE

4. CONCLUSIONES

El nearshoring como estrategia en la industria automotriz no es algo nuevo, los grupos fabricantes de VCI, han realizado esta práctica en algunos momentos puntuales a lo largo de los años, el nearshoring como estrategia ofrece ventajas y desventajas, a largo plazo y con una buena gestión el nearshoring ofrece ventajas garantizando la resiliencia y el aumento en la competitividad, al tener disponible, al momento en que se requiera las autopartes requeridas para el ensamble y manufactura de vehículos, al igual que tener las autopartes requeridas para repuesto más cerca del consumidor final, incrementando los niveles de satisfacción.

Entre las desventajas que los administradores de compañías productoras de autopartes deben gestionar y analizar, para disminuir su impacto están los desafíos y barreras: costos de adaptación, dificultad para encontrar mano de obra calificada, materia prima, y proveedores que cumplan con la calidad requerida; una buena gestión de estas desventajas asegura una alta rentabilidad y estabilidad en el mercado.

Tendencias actuales como la automatización y el uso de la inteligencia artificial reducen los tiempos de producción y a la vez los tiempos de entrega, aunque aún se encuentra en fases tempranas, y su costo de implementación es elevado son tendencias que se quedarán y redefinirán el rumbo de las operaciones.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] Walker, L., & Proff, H. (Enero de 2025). Estudio Global del Consumidor Automotriz 2025. Obtenido de Deloitte: https://www2.deloitte.com/pa/es/pages/consumer-business/articles/estudio-global-del-consumidor-automotriz-2025.html

[2] Ly, S. (24 de Mayo de 2023). Nearshoring in the automotive logistics. Obtenido de THE BUSINESS TIMES: https://www.businesstimes.com.sg/opinion-features/nearshoring-automotive-logistics

[3] Risso, I. (14 de Febrero de 2023). ¿Cuáles son los países con mayor cantidad de autos eléctricos? Obtenido de Billiken: https://billiken.lat/interesante/cuales-son-los-paises-con-mayor-cantidad-de-autos-electricos/

[4] Sampieri. (s.f.). Metodología de la investigación. Obtenido de Google Docs: https://drive.google.com/file/d/0B7fKI4RAT39QeHNzTGh0N19SME0/view?resourcekey=0-Tg3V3qROROH0Aw4maw5dDQ

[5] Marin, J., Medina, C., & Alfalla, r. (12 de Noviembre de 2010). Una propuesta metodológica para la realización de búsquedas sistemáticas de bibliografía (A methodological proposal for the systematic literature review). Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: https://doi.org/10.4995/wpom.v1i2.786

[6] Agudelo, A., Chen, J. C., Suarez, K., Rosales, S., & Barnett, J. (26 de Marzo de 2025). Driving Efficiency: The Supply Chain for Automotive Components. Obtenido de Georgia Tech Panama Logistics Innovation and Research Center: https://www.gatech.pa/_files/ugd/6a5480_fa6f4c272ec14f0481e54104059c5bb6.pdf

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

SENTIBOX: Marco Híbrido para Detección de Bots en X

Dr.Axel Rodríguez
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)
Universidad de Panamá: Panamá, Panamá
Universidad Superior de Guadalajara
Guadalajara, Jalisco, México
https://orcid.org/0000-0002-2485-1382

Dr.Janzel Villalaz Guerra
Director de Investigación y Postgrado de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado
Universidad de Panamá: Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0001-8914-3216

Mgter. Gabriel Vergara
Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Tecnológica de Panamá: Panamá, Panamá
gabriel.vergara@utp.ac.pa
https://orcid.org/0000-0002-2247-7876

Abstract

We propose SENTIBOX, a new approach for detecting bots on Twitter was officially rebranded as X, leveraging various data Types including profile, tweet, and neighbor-based features. By incorporating sentiment and emotion analysis and using an adversarial representation learner, SENTIBOX uniquely improves bot detection. The framework includes a multi-type feature extractor and an adaptive feature selection mechanism. To integrate different types of data, SENTIBOX further designs a feature extractor that computes statistical values to enrich tweet-based features, producing deep profile-based features by leveraging relationships among user properties. Experiments show that SENTIBOX improves accuracy by 1.9% and MCC (Matthews Correlation Coefficient) by 3.5% compared to state-of-the-art baselines in three real-world datasets. Moreover, under different scenarios with various combinations of features, SENTIBOX consistently achieves the best performance.

Keywords: Bot detection, sentiment analysis, emotion analysis, hybrid model, feature selection.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

Proponemos SENTIBOX, un nuevo marco para la detección de bots en Twitter reubatizada recientemente como la red social X, aprovechando varios tipos de datos, incluyendo características basadas en el perfil, tweets y vecinos. Al incorporar el análisis de sentimientos y emociones utilizando un aprendizaje de representación adversarial, SENTIBOX mejora notablemente la detección de bots. El nuevo enfoque incluye un extractor de características multi-tipo y un mecanismo adaptativo de selección de características. Para integrar diferentes tipos de datos, SENTIBOX además diseña un extractor de características que calcula valores estadísticos para enriquecer las características basadas en tweets, produciendo características profundas basadas en perfiles al aprovechar las relaciones entre las propiedades del usuario. Los experimentos muestran que SENTIBOX mejora la precisión en un 1.9% y MCC (Coeficiente de Correlación de Matthew) en un 3.5% en comparación con los estados del arte más avanzados en tres conjuntos de datos del mundo real. Además, en diferentes escenarios con varias combinaciones de características, SENTIBOX logra consistentemente el mejor rendimiento.

Palabras Clave: Detección de bot, Análisis de sentimientos, Análisis de emociones, Modelo híbrido, Selección de características.

1. INTRODUCCIÓN

Las plataformas de redes sociales se han convertido en fuentes principales de información, pero facilitan la propagación de desinformación mediante bots sociales (Gorodnichenko et al., 2021). Se estima que los bots constituyen el 15% de las cuentas activas de Twitter en 2022, con un tercio destinado a propósitos maliciosos, manipulando discusiones públicas e interfiriendo en procesos electorales (Graham et al., 2020).

La detección de bots se aborda mediante dos enfoques: ingeniería de características, basada en atributos estadísticos del usuario, y aprendizaje profundo, que utiliza redes neuronales para extraer características complejas (Feng et al., 2021). Métodos avanzados como LSTM, CNN y GCN han demostrado efectividad, mientras que el análisis de sentimientos introduce variables emocionales para mejorar la precisión. Los enfoques híbridos que combinan múltiples técnicas están ganando relevancia para una detección más robusta.

2. METODOLOGÍA

En este estudio, abordamos la detección de bots en X utilizando el marco SENTIBOX (un nuevo enfoque para la detección de botS EN TwItter basado eN El anáLisis de emociones y sentimientos). El objetivo es clasificar a los usuarios de Twitter como cuentas bot (y =

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

bot) o humanos (y = human) basándose en características del perfil, tweets recientes y la información de los vecinos.

A. Definición del Problema

La API de Twitter proporciona un objeto de usuario que contiene todo tipo de metadatos que describen al usuario de Twitter referenciado. En este estudio, representamos a un usuario como U={ P ,T,N } U={P,T,N}, donde P es el conjunto de propiedades del perfil, T es el conjunto de tweets recientes y N es el conjunto de información de los vecinos. La tarea de detección de bots en Twitter es clasificar a un usuario dado U como una cuenta bot (Y= bot) o como humano (Y= human). Logramos esto aprendiendo una función f(U) →ŷ de modo que ŷ se aproxime a la verdad absoluta "y" para maximizar la precisión de la predicción.

B. Definición del Problema

La Figura 1 ilustra nuestro marco híbrido propuesto, SENTIBOX, que maneja simultáneamente los tweets de un usuario, su perfil y la información de sus vecinos a través de tres canales. Los tweets se procesan con un Calculador de Estadísticas para generar estadísticas del tweet, un Analizador de Sentimiento y Emoción para obtener puntuaciones de sentimiento y emoción, y un Mezclador de Grupos Diversos que, junto con un Aprendiz de Representación Adversarial (ARL), predice si los tweets agrupados son generados por bots. Para los datos de perfil y vecinos, se analizan todas las propiedades disponibles para generar características basadas en el perfil y los vecinos. El Selector Adaptativo de Características determina el conjunto de características más adecuado, el cual se entrena y evalúa con un Clasificador de Potenciación de Gradiente para la clasificación final.

C.Análisis de Sentimientos y Emociones

Para analizar el sentimiento y las emociones en las publicaciones de usuarios, utilizamos un analizador de sentimientos y emociones. Este enfoque se fundamenta en la premisa de que los bots de Twitter tienen una capacidad limitada para imitar cómo las personas reales expresan sentimientos internos. Nuestra metodología incorpora un analizador adicional de emociones para capturar características emocionales refinadas, además de los análisis convencionales de sentimiento.

El proceso comienza alimentando cada tweet a nuestro analizador de sentimientos y emociones, donde para el análisis de sentimiento extraemos los grados de positividad, negatividad y neutralidad de cada palabra utilizada en la oración. Cada clase de sentimiento recibe una puntuación que representa la proporción de ese sentimiento en toda la oración. Además, calculamos un puntaje compuesto normalizado entre -1 (extremadamente negativo) y +1 (extremadamente positivo) sumando los puntajes de valencia de todas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

las palabras según el léxico. Para el análisis de emociones, identificamos cinco categorías emocionales diferentes: feliz, enojado, triste, sorprendido y temeroso, asignando a cada una un puntaje proporcional en cada oración. Este enfoque utiliza modelos preentrenados como VADER (Hutto & Gilbert, 2014) y Text2Emotion(Pennebaker et al., 2001) , cada uno con sus ventajas en la detección de sentimientos y emociones en contextos de redes sociales. Una vez realizados los análisis de sentimiento y emociones, obtenemos nueve puntajes para cada tweet, que luego se agregan en el generador de características del tweet y se utilizan para formar grupos diversos.

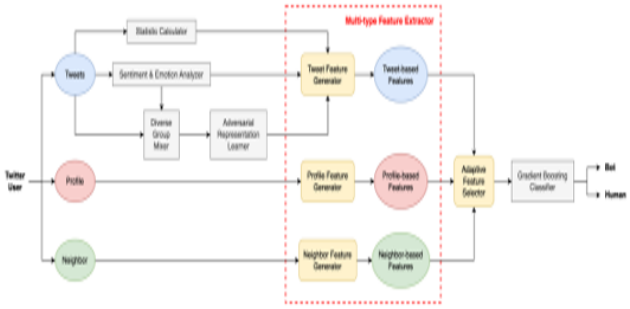


Fig. 1. Visión general de nuestra propuesta de marco híbrido SENTIBOX.

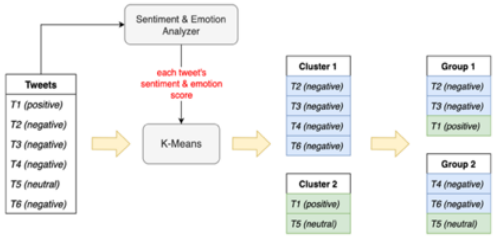


Fig. 1. Visión general de nuestra propuesta de marco híbrido SENTIBOX.

D. Aprendizaje de Representación Adversarial (ARL)

En lugar de entrenar el modelo ARL con cada tweet individualmente, se propone el Diverse Group Mixer (Mezclador de Grupo Diverso), que combina sistemáticamente los tweets para agregar un número adecuado de tweets diversificados, logrando resultados de entrenamiento más estables. Específicamente, se obtiene el puntaje de sentimiento y emoción de cada tweet mediante un analizador de sentimientos y emociones, para posteriormente aplicar el agrupamiento mediante el algoritmo de aprendizaje automático no supervisado K-Means. Para determinar el número óptimo de clusters, se calculan la distancia intra-cluster promedio y la distancia al cluster más cercano promedio para encontrar el puntaje de silueta(Rousseeuw, 1987), para cada valor de k. Se prefiere el puntaje de silueta sobre el Método del Codo (Bholowalia & Kumar, 2014),ya que el punto de “codo” no es muy claro en este conjunto de datos.

Posteriormente, los tweets dentro de cada cluster se distribuyen equitativamente en un cierto número de grupos. Se determina el mejor número de grupos a través de experimentos, cuyos resultados se presentan en la Sección IV-C. De esta manera, cada grupo contiene tweets con un grado similar de diversidad. La Figura 2 muestra un ejemplo de cómo funciona el Mezclador de Grupo Diverso, donde se puede observar que cada grupo se forma siguiendo la distribución de sentimientos y emociones del usuario. Esta técnica de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

agrupamiento cubre uniformemente los comportamientos generales de un usuario, y se demuestra que aumenta efectivamente el rendimiento, como se explica en la Sección IV-C.

E. Aprendizaje de Representación Adversarial

Inspirado en los modelos semi-supervisados GAN(Salimans et al., 2016), y GAN-BERT (Croce et al., 2020), extiende las Representaciones de Codificador Bidireccional de Transformers (BERT)(Devlin et al., 2018), utilizando Redes Generativas Adversariales (GAN) (Goodfellow et al., 2014), para la etapa de ajuste fino. Este modelo semi-supervisado mejora la capacidad de generalización cuando faltan datos anotados. La arquitectura de ARL (Figura 3) aprovecha la capacidad de BERT para producir representaciones de alta calidad de textos de entrada y adopta textos generados que imitan los datos reales para ayudar a la red a generalizar sus representaciones para la tarea final. En esta sección, se explica cómo funciona ARL y se describen las funciones de pérdida utilizadas en este modelo.

Primero, se genera una representación vectorial real de los tweets mediante BERT, mientras que el generador (G) crea una representación vectorial falsa que imita la real. El objetivo de G es generar ejemplos falsos similares a los datos reales, de modo que el discriminador (D) no los identifique como falsos. Hay dos tipos de pérdidas asociadas con G: LGfeat, que minimiza la disimilitud entre las representaciones reales y falsas, y LGunsup, que cuenta las veces que D identifica correctamente los ejemplos falsos D, por su parte, clasifica las representaciones generadas por G o BERT como bot o humano, con pérdidas LDsup y LDunsup asociadas a ejemplos reales y falsos, respectivamente. El proceso de entrenamiento minimiza tanto LG como LD, haciendo el modelo más estable y consistente.

F. Extractor de Características Multi-tipo

El Extractor de Características Multi-tipo integra información numérica, binaria y textual de conjuntos de datos de detección de bots, combinando características basadas en tweets, perfiles y vecinos para simplificar el diseño en comparación con otros métodos híbridos. Utiliza la metadata de los usuarios para expandir el conjunto de características y capturar información oculta, generando características como la longitud mínima de los tweets, ratios de menciones y hashtags, y promedios de sentimientos y emociones. También emplea predicciones del Adversarial Representation Learner (ARL) para determinar si un usuario es humano o bot. En cuanto a la información de perfiles, se recopilan y analizan más de 40 características, seleccionando las más relevantes y creando nuevas características como la tasa de crecimiento de seguidores y el tema de la imagen de fondo del perfil. Para la información basada en vecinos, se cuentan los bots que un usuario sigue y los que lo siguen, utilizando una campaña de crowd-sourcing para la anotación de cuentas de bot. Estas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

características, efectivas para capturar comportamientos adicionales de bots, se incluyen en el conjunto final de características, proporcionando una cobertura más completa de los comportamientos de bots que las basadas solo en tweets o perfiles.

G. Selector de Características Adaptativo

Para optimizar el rendimiento del clasificador, se aplica el Método Wrapper, que identifica sistemáticamente el mejor conjunto de predictores para un modelo de ML dado. La selección de características busca disminuir el tiempo de computación, aumentar la interpretabilidad del modelo y mejorar la precisión predictiva al reducir predictores redundantes. Inspirado en la selección progresiva, se propone un selector de características adaptativo: comenzando con un subconjunto vacío, se añade en cada iteración la característica que mejora más el rendimiento del clasificador. El subconjunto con la mayor puntuación de evaluación final es seleccionado como el conjunto de características definitivo.

H. Clasificador de Gradient Boosting

Después de seleccionar el conjunto ideal de características, adoptamos Gradient Boosting como nuestro clasificador final debido a su efectividad demostrada en comparación con el bosque aleatorio en la gestión de diversas características. Gradient Boosting ofrece flexibilidad mediante ajuste de hiperparámetros y es robusto, requiriendo poco preprocesamiento de datos y entrenando rápidamente. Este método combina múltiples modelos de aprendizaje débil para construir un modelo predictivo sólido, utilizando árboles de decisión de manera estratégica. Durante el entrenamiento, estandarizamos las características y utilizamos Grid Search en el conjunto de validación para optimizar los hiperparámetros del modelo para demostrar la contribución de cada componente al rendimiento general.

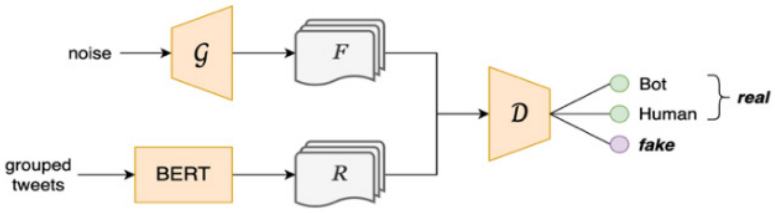


Fig. 3. . La arquitectura de nuestro modelo de aprendizaje de representación adversarial propuesto: dada una distribución aleatoria, un generador G crea un conjunto de ejemplos falsos F. Estos ejemplos falsos luego sirven como entrada para el discriminador D, junto con representaciones vectoriales de ejemplos reales R que son generados por BERT.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

TABLA I LISTA DE CARACTERÍSTICAS USADAS EN SENTIBOX

Tweet-based		Profile-based	
Feature Name	Explanation	Feature Name	Explanation
len_min	the shortest tweet's length	joined_days	collect_time - create_time
hashtag	number of hashtags in all tweets	followers_growth_rate	followers_count / joined_days
url_ratio	number of urls in all tweets / tweet_count	username_length	length of username
neu	proportion of words associated with neutral sentiment	digits_in_username	number of digits in username
angry	proportion of words associated with angry emotion	common_color	number of default colors used
cmp_pred	compare the number of labels from ARL	image_theme	profile page's theme setting
cmp_prob	compare the average probability from ARL	domain_count	interest domains within 4 categories

3. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Esta sección describe en detalle la configuración experimental y demuestra que nuestro modelo es superior a otros modelos de vanguardia utilizando datos recopilados entre 2017 y 2020. Además, realizamos experimentos adicionales para mostrar la efectividad de nuestro mecanismo propuesto con otros modelos.

TABLA II LISTA DE CARACTERÍSTICAS USADAS EN SENTIBO

Dataset	#Accounts		#Tweets	
	Human	Bot	Human	Bot
TwiBot-20	5,237	6,589	878,183	1,020,876
Cresci-17	3,474	4,912	2,839,361	3,457,133
PAN-19	3,380	3,380	338,000	338,000

A. Configuración Experimental

1. Conjuntos de Datos: Se utilizan tres conjuntos de datos: TwiBot-20 (Feng, Wan, Wang, Li, et al., 2021b), Cresci-17 (Cresci et al., 2017), y PAN-19 (Pizarro, 2020). Los conjuntos varían en tamaño y período de recolección, haciendo más desafiante el conjunto más reciente.

- TwiBot-20 (Feng, Wan, Wang, Li, et al., 2021b): Representativo de la generación actual de bots y usuarios genuinos de Twitter, incluye información de tweets, perfiles y vecinos.
- Cresci-17 (Pizarro, 2020) : Cubre la mayoría de los bots tradicionales de la era temprana de Twitter, incluye datos de tweets y perfiles.
- PAN-19 (Pizarro, 2020): Conjunto de datos relativamente pequeño, contiene solo información de tweets.

2. Métodos de Referencia: Se comparan varios modelos basados en ingeniería de características y aprendizaje profundo, como SATAR (Feng, Wan, Wang, Li, et al., 2021a) y BotRGCN (Feng, Wan, Wang, & Luo, 2021). Entre otros, se incluyen: Random-forest (Lee et al., 2011), DenStream (Miller et al., 2014), DNA-fingerprinting (Cresci et al., 2016), Botometer (Davis et al., 2016), Contextual-LSTM (Kudugunta & Ferrara, 2018), GCNN (Ali Alhosseini et al., 2019), BiLSTM (Wei & Nguyen, 2019), Data-selection (Yang et al., 2020), SATAR (Feng, Wan, Wang, Li, et al., 2021a), y BotRGCN (Feng, Wan, Wang, & Luo, 2021).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Hiperparámetros: Se utiliza Grid Search para definir la mejor configuración inicial para los hiperparámetros del clasificador Gradient Boosting, utilizando validación cruzada de cinco pliegues para ajustar el modelo.
3. Métricas de Evaluación: Se utilizan principalmente Accuracy, F1-score y MCC para evaluar la efectividad del modelo, basándose en el usuario como unidad de medida.

B. Bot Detection Performance

La Tabla III sumariza el desempeño de detección de bots de diferentes métodos en tres conjuntos de datos. Mostramos que el rendimiento de nuestro método propuesto, SENTIBOX, es competitivo en comparación con otros métodos de referencia, demostrando que SENTIBOX es generalmente exitoso en la detección de bots de Twitter. Además, debido a que SENTIBOX supera a los métodos de última generación en el conjunto de datos representativo y comprensivo TwiBot-20, se generaliza a escenarios del mundo real. SENTIBOX, por otro lado, es capaz de ajustarse a las generaciones cambiantes de bots, ya que muestra el mejor desempeño en los tres conjuntos de datos con tiempos de recolección de datos que varían desde 2017 hasta 2020.

Para una comparación más justa, limitamos nuestro método a usar solo ciertos aspectos de la información. Por ejemplo, Data-selection (D'Andrea et al., 2015) maneja únicamente información de perfil de usuario; por lo tanto, solo recuperamos propiedades de usuario del conjunto de datos para comparar nuestro método con los otros métodos en las mismas condiciones. Como se muestra en la Figura 4, SENTIBOX sigue superando a todos los métodos de referencia con tipos limitados de características. Resumimos las razones de su éxito :

1. Tanto Data-selection (Yang et al., 2020), como SENTIBOX usan información de perfil. SENTIBOX supera a Data-selection (Yang et al., 2020), lo que muestra que SENTIBOX utiliza mejor las propiedades del perfil del usuario, sin necesidad de una ingeniería de características tan pesada.
2. Para los métodos basados principalmente en la semántica de tweets, SENTIBOX supera significativamente a DNA-fingerprinting (Cresci et al., 2016), y BiLSTM (Wei & Nguyen, 2019), esto indica que nuestro enfoque puede capturar mejor los patrones de tweets típicos de bots al aprovechar más características basadas en tweets, sugiriendo que los métodos de detección de bots deberían incorporar más aspectos de la información semántica.
3. Métodos como Random-forest (Lee et al., 2011), DenStream (Miller et al., 2014), y Contextual-LSTM (Kudugunta & Ferrara, 2018), consideran conjuntamente la información de perfil y tweets. Sin embargo, no pueden competir con SENTIBOX debido a la falta de características comprensivas, mientras que SENTIBOX utiliza los metadatos de tantas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

formas como sea posible.

4. Por último, los vecinos de usuario son materiales relativamente nuevos que han aparecido recientemente en los conjuntos de datos de detección de bots, por lo que no hay muchos estudios que cubran esta información. SENTIBOX adopta la misma combinación de información del usuario (perfil y vecino) que GCNN (Ali Alhosseini et al., 2019), pero logra un rendimiento mucho mayor gracias a un mejor diseño.

TABLA III COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO PARA MÉTODOS DE DETECCIÓN DE BOTS

		Random-forest	DenStream	DNA-fingerprinting	Botometer	Contextual-LSTM	GCNN	BiLSTM	Data-selection	SATAR	BotRGCN	Ours
TwiBot-20	Acc	0.7456	0.4801	0.4793	0.5584	0.8174	0.6813	0.7126	0.8191	0.8412	0.8462	**0.8832**
	F1	0.7823	0.6266	0.1072	0.4892	0.7517	0.7318	0.7533	0.8546	0.8642	0.8707	**0.8963**
	MCC	0.4879	-0.1372	0.0839	0.1558	0.6710	0.3543	0.4193	0.6643	0.6863	0.7021	**0.7663**
Cresci-17	Acc	0.9750	0.5204	0.4029	0.9597	0.9799	/	0.9670	0.9847	0.9871	/	**0.9952**
	F1	0.9826	0.4737	0.2923	0.9731	0.9641	/	0.9768	0.9893	0.9910	/	**0.9966**
	MCC	0.9387	0.1573	0.2255	0.8926	0.9501	/	0.9200	0.9625	0.9685	/	**0.9880**
PAN-19	Acc	/	/	0.8797	/	/	/	0.9464	/	0.9509	/	**0.9621**
	F1	/	/	0.8701	/	/	/	0.9448	/	0.9510	/	**0.9619**
	MCC	/	/	0.7685	/	/	/	0.8948	/	0.9018	/	**0.9243**

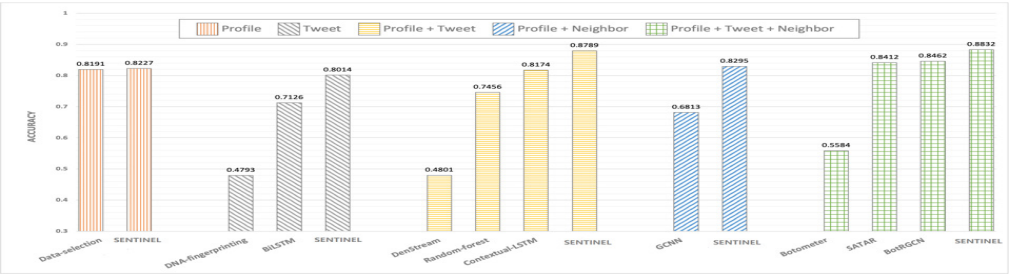


Fig. 4. Comparación de rendimiento para diferentes combinaciones de información de usuario en TwiBot-20. Tenga en cuenta que no comparamos "Vecino" o "Tweet+Vecino" dado que no hay ningún método que utilice tal información.

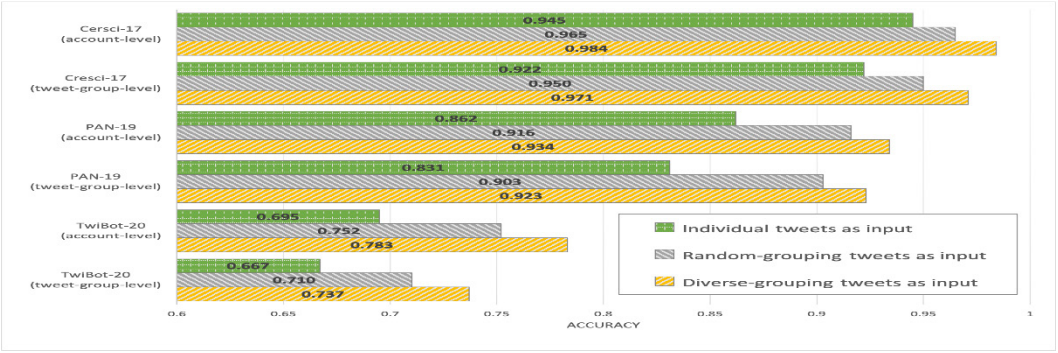


Fig. 5. Comparación de rendimiento para diferentes combinaciones de información de usuario en TwiBot-20. Tenga en cuenta que no comparamos "Vecino" o "Tweet+Vecino" dado que no hay ningún método que utilice tal información.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLLUSIÓN

La detección de bots en redes sociales es un tema cada vez más relevante, y en este artículo presentamos SENTIBOX, un nuevo método híbrido que combina aprendizaje de representación adversarial con análisis de sentimientos y emociones. Nuestra metodología introduce una técnica de agrupación diversa que mejora significativamente la precisión tanto a nivel de grupos de tweets como a nivel de cuentas individuales. Además, hemos refinado el diseño de la pérdida de coincidencia de características para reducir el tiempo de entrenamiento en un 50% y estabilizar el proceso de aprendizaje. SENTIBOX utiliza un extractor de características versátil que integra información de tweets, perfiles y vecinos del usuario, formando así un perfil completo del usuario en cuestión. Nuestro método selecciona automáticamente el conjunto de características más apropiado según las características del conjunto de datos específico, lo cual se refleja en nuestros resultados experimentales. Hemos demostrado que SENTIBOX supera a los métodos actuales en tres conjuntos de datos del mundo real y en diferentes configuraciones de características. Como trabajo futuro planeamos incorporar más información de vecinos mediante enfoques basados en grafos (Zhao et al., 2020) y aplicaciones en sensores inlambricos (Rodríguez García & Jipsion, 2019) para enriquecer aún más nuestro conjunto de características y mejorar la precisión de detección de bots.

REFERENCIAS

[1] Gorodnichenko, Y., Pham, T., & Talavera, O. (2021). Social media, sentiment and public opinions: Evidence from #Brexit and #USElection. European Economic Review, 136, 103772.

[2] Graham, M., Avery, E., & Park, S. (2020). The role of social media in local government crisis communications. Public Relations Review, 41(3), 386-394.

[3] Feng, S., Wan, H., Wang, N., & Luo, M. (2021). BotRGCN: Twitter bot detection with relational graph convolutional networks. Proceedings of the 2021 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, 236-239.

[4] Hutto, C. J., & Gilbert, E. (2014). VADER: A parsimonious rule-based model for sentiment analysis of social media text. Proceedings of the 8th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media, 216-225.

[5] Pennebaker, J. W., Francis, M. E., & Booth, R. J. (2001). Linguistic inquiry and word count: LIWC 2001. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

[6] Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics, 20, 53-65.

[7] Bholowalia, P., & Kumar, A. (2014). EBK-means: A clustering technique based on elbow method and K-means in WSN. International Journal of Computer Applications, 105(9), 17-24.Claude es IA y puede cometer errores. Por favor, verifica nuevamente las respuestas. Sonnet 4.5Claude es IA y puede cometer errores. Por favor, verifica nuevamente las respuestas.

[8] Zhao, K., Kang, J., Jung, J., & Sohn, G. (2020). BotRGCN: Twitter bot detection with relational graph convolutional networks. Proceedings of the 2020 IEEE/ACM International Conference on Advances

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

in Social Networks Analysis and Mining, 236-241.
[9] Rodríguez García, A., & Jipsion, M. (2019). Machine learning applications in wireless sensor networks: A survey. International Journal of Sensor Networks, 30(4), 234-248.

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Estimación del Tiempo de Permanencia Portuaria mediante el Aprendizaje Automático: Un Análisis Basado en Datos AIS para la Competitividad de los Puertos de Panamá

Aguilar, Ezequiel
Georgia Tech Panama Logistics Innovation & Research Center
Ciudad de Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0003-1001-8805

Lasso, Álvaro
Georgia Tech Panama Logistics Innovation & Research Center
Ciudad de Panamá, Panamá
alvaro.lasso@gatech.pa

Abstract

Port dwell time is a critical bottleneck in container shipping and a key factor in national logistic performance. Current operational methods, which often rely on static schedules, result in poor resource allocation and inaccurate time estimates. This study develops and validates a predictive model for port dwell time using high-frequency AIS data from Panama's five main ports. We use the SHAP method to identify and select the most influential features, capturing the actual operational dynamics of vessels. A comparative benchmark analysis demonstrates that tree-based ensemble models consistently outperform traditional linear approaches. The LightGBM (LGBR) model achieved the highest predictive accuracy across most ports (e.g., PAMIT, R2: 0.465), with optimized XGBoost also showing significant performance gains. The resulting model provides a practical tool for optimizing dock utilization and a quantitative framework for performance benchmarking. This contributes to reducing logistics costs and improving the operational efficiency of Panama's maritime trade.

Keywords: Port Performance, Dwell Time, Containers Ships

Resumen

La eficiencia del transporte marítimo de contenedores es un pilar fundamental del comercio global, donde el tiempo de permanencia portuaria (dwell time) emerge como un indicador crítico de la competitividad nacional. Las metodologías operativas actuales,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

que a menudo se basan en horarios estáticos, generan ineficiencias y estimaciones imprecisas. Este estudio aborda dicha deficiencia mediante el desarrollo y validación de un modelo predictivo avanzado, enfocado en los cinco principales puertos de Panamá, un nodo logístico estratégico. La metodología emplea datos históricos de alta frecuencia del Sistema de Identificación Automática (AIS) para capturar la dinámica operativa real de los buques, optimizando la selección de características influyentes a través del método SHAP. La evaluación comparativa demostró que los modelos de ensamble basados en árboles superan consistentemente a los enfoques lineales. Entre ellos, el modelo LightGBM (LGBR) mostró el mejor rendimiento predictivo en la mayoría de los puertos panameños (ej., PAMIT, R2: 0.465), mientras que el XGBoost optimizado también evidenció mejoras sustanciales. Este trabajo establece una herramienta robusta para la optimización proactiva de la utilización de muelles y un marco cuantitativo para el benchmarking continuo, contribuyendo directamente a la reducción de costos logísticos y al refuerzo de la posición competitiva de Panamá en el comercio internacional.

Palabras claves: Port Performance, Dwell Time, Containers Ships

1. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo es reconocido como un pilar insustituible del comercio global, responsable de movilizar más del 80% del volumen total de la carga. En este contexto, los puertos funcionan como nodos críticos que determinan la fluidez y eficiencia de las cadenas de suministro internacionales. La eficiencia portuaria se ha convertido en un determinante clave de la competitividad nacional. Sin embargo, el crecimiento exponencial del comercio ha intensificado la congestión, generando tiempos de espera prolongados (dwell times), lo que se traduce en un aumento de los costos operativos y una reducción de la fiabilidad logística. Convencionalmente, la estimación del tiempo de permanencia de los buques se ha apoyado en horarios estáticos, un enfoque que no logra capturar la complejidad no lineal y la dinámica operativa real de los puertos, resultando en predicciones imprecisas y asignación subóptima de recursos. Dada la posición estratégica de Panamá como nodo logístico crucial para el comercio mundial, es imperativo desarrollar un enfoque predictivo más robusto y dinámico que aborde estas ineficiencias.

Los enfoques existentes para predecir los tiempos de permanencia en puertos presentan limitaciones clave. Estos métodos se pueden clasificar en varias categorías con debilidades específicas:

1. **Modelos Estadísticos:** Enfoques como la Regresión o ARIMA son simples, pero no

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

consiguen capturar los patrones complejos y no lineales de las operaciones portuarias del mundo real, lo que impacta negativamente su precisión [1] [2].

2. **Modelos basados en Simulación:** Estos métodos, si bien ofrecen mejoras, requieren un alto costo computacional. Además, su aplicabilidad práctica se ve limitada, ya que no se generalizan bien a diferentes puertos o distintas condiciones operativas [3] [4].
3. **Modelos de Aprendizaje Automático (Machine Learning - ML):** Aunque son más precisos que los métodos estadísticos, modelos como Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM) y Artificial Neural Networks (ANN) presentan una generalización limitada. Esto se debe a que tienden a depender de las condiciones específicas y de los datos de un solo puerto [5] [6].
4. **Modelos de Aprendizaje Profundo (Deep Learning - DL):** Técnicas avanzadas como Long Short-Term Memory (LSTM) y Recurrent Neural Networks (RNN) exigen grandes volúmenes de datos y una significativa capacidad de poder computacional. Este requerimiento dificulta su implementación efectiva en muchos entornos portuarios [7] [8].

El objetivo principal de esta investigación es construir y validar un modelo de aprendizaje automático de alta precisión para la estimación del tiempo de permanencia de buques portacontenedores en los cinco (5) principales puertos de Panamá, buscando optimizar la utilización de muelles y establecer una metodología de benchmarking empírica para el desempeño portuario.

2. MÉTODO

Fuente y Procesamiento de Datos. La base de datos utilizada para el modelado comprende registros históricos de alta frecuencia del Sistema de Identificación Automática (AIS), complementados con características estáticas de los buques, como la eslora, manga y capacidad TEU. El estudio se focalizó en los cinco principales puertos de Panamá (PAMIT, PABLB, PAONX, PAROD, PACTB). Para garantizar la exactitud de la variable dependiente (tiempo de permanencia), se definieron geocercas (Ilustración 1) para las áreas de muelle, permitiendo calcular el Tiempo Real de Atraque (ATB) y el Tiempo Real de Salida (ATD). El preprocesamiento incluyó la detección y depuración de valores atípicos (outliers) mediante el método del rango intercuartílico (IQR), proceso esencial para aumentar la calidad del conjunto de datos y la robustez del modelo resultante.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

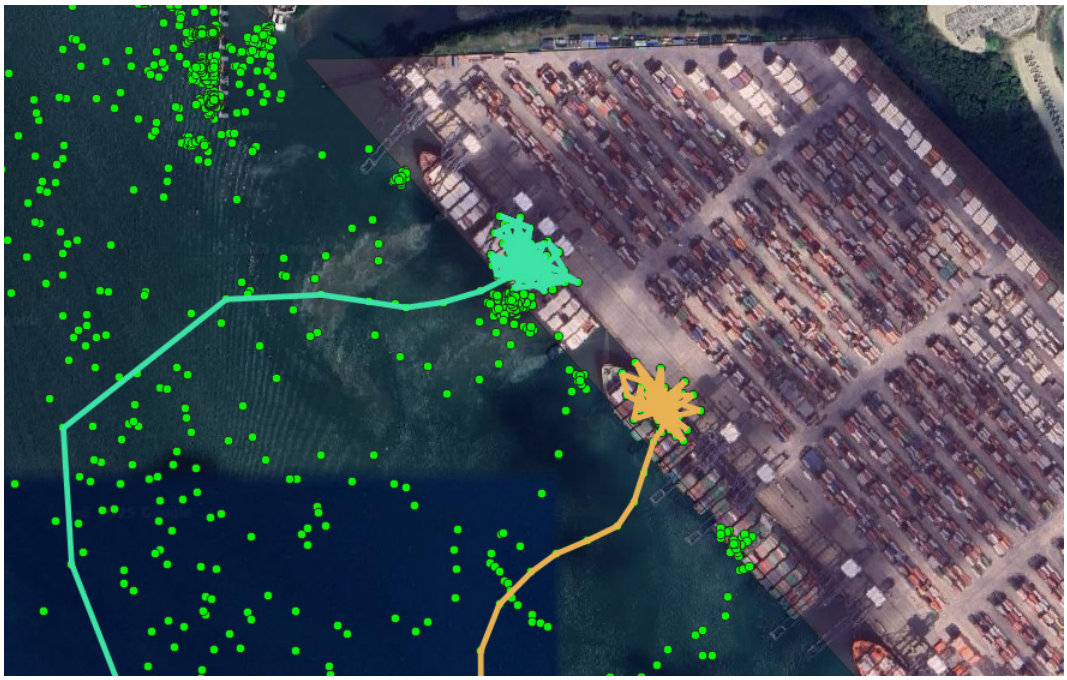


Ilustración 1. Representación del Puerto de Balboa (PABLB), mostrando la geocerca definida y las trayectorias de buques compuestas por puntos AIS.

Ingeniería y Selección de Características. Se llevó a cabo una exhaustiva ingeniería de características, explorando variables como el historial de tiempo de permanencia de buques similares, la ruta del buque (dirección northbound o southbound), la información sobre el cruce del Canal de Panamá y las características físicas (Capacidad TEU, arqueo bruto, peso muerto). Para identificar y seleccionar las variables con mayor poder predictivo, se empleó el método de Explicación Aditiva de Shapley (SHAP). El análisis SHAP (lustración 2), anclado en la teoría de juegos, permite cuantificar la contribución de cada característica a la predicción final, proveyendo una base teórica sólida para una evaluación justa y consistente. Este procedimiento fue crucial, ya que se confirmó que la selección de características basada en SHAP no resultaba en una pérdida de rendimiento estadísticamente significativa en comparación con el uso de todas las características, superando a técnicas como el Análisis de Componentes Principales (PCA), que causó una degradación significativa en la precisión predictiva.

Modelización y Evaluación. Para la estimación del tiempo de permanencia, se evaluó sistemáticamente una diversidad de modelos de regresión, incluyendo enfoques lineales (Regresión Lineal, Ridge) y, primariamente, modelos de conjunto (ensemble) de alto rendimiento: LightGBM (LGBR) y XGBoost (XGBR). Estos algoritmos fueron seleccionados por su probada eficacia en la identificación y explotación de interacciones no lineales complejas en grandes volúmenes de datos estructurados, como los encontrados en las

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

operaciones portuarias. La evaluación de rendimiento se cuantificó utilizando el Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Absoluto Medio (MAE) y el Coeficiente de Determinación (). Se aplicó también la optimización de hiperparámetros en el modelo XGBR mediante un Algoritmo Genético (GA) y se implementó un modelo de Stacking Ensemble para maximizar la precisión. La significancia estadística de las diferencias de rendimiento entre los modelos fue verificada mediante pruebas ANOVA y t-test pareadas.

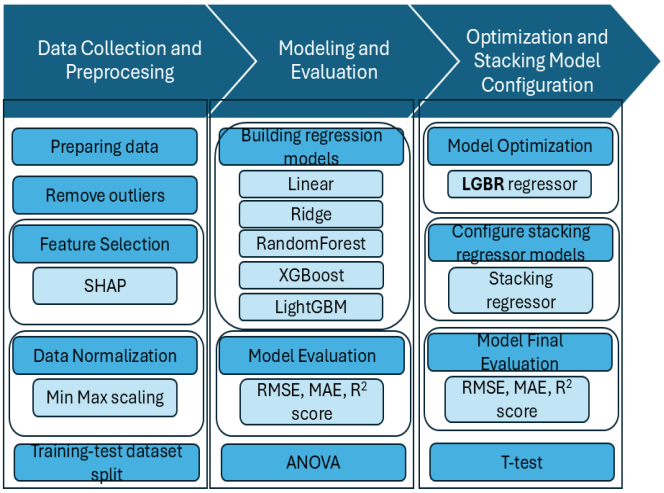


Ilustración 2. Modelo SHAP (Shapley Additive Explanations)

3. RESULTADOS

Los resultados de la evaluación inicial mostraron que los modelos de regresión basados en árboles de ensamble (RFR, XGBR, LGBR, GBR) ofrecieron un rendimiento predictivo superior a los modelos lineales (LR, Ridge), lo cual es consistente con la naturaleza compleja y no lineal de la dinámica portuaria. En el contexto de un estudio general (no específico por puerto), el XGBoost Regressor (XGBR) se identificó como el modelo individual con el mejor desempeño inicial. La aplicación de optimización de hiperparámetros a través del Algoritmo Genético (GA) mejoró la precisión del XGBR en el conjunto de prueba, como se observó consistentemente en la mayoría de los puertos panameños analizados (PAMIT, PABLB, PAONX, PAROD, PACTB).

En el análisis detallado por puerto, se confirmó que la dinámica operativa de cada terminal es lo suficientemente única como para requerir modelos especializados. En este análisis pormenorizado, el modelo LightGBM (LGBR) demostró el mejor rendimiento individual en términos de R2 para varios puertos clave, como PAMIT (R2: 0.465, RMSE: 7.477), PAROD (R2: 0.257) y PABLB (R2: 0.178). En el análisis de conjunto más amplio, si bien el modelo

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de Stacking Ensemble logró un MAE marginalmente superior en la fase de prueba en comparación con el XGBR optimizado, las diferencias de rendimiento entre el Stacking y el XGBR optimizado generalmente no resultaron ser estadísticamente significativas en el análisis por puerto.

Discusión La superioridad de los modelos de impulso de gradiente (XGBoost y LightGBM) reafirma su adecuación para capturar las interacciones complejas entre las características que influyen en el tiempo de permanencia, algo que los modelos estadísticos tradicionales no pueden lograr eficientemente. El uso exitoso del análisis SHAP fue crucial, no solo para la selección de las variables más predictivas (como las características físicas del buque y la información de la naviera o muelle específico), sino también para dotar al modelo de la interpretabilidad necesaria. Esta interpretabilidad es fundamental para que los operadores portuarios puedan confiar y utilizar las predicciones en la asignación proactiva de muelles, superando así la limitación de generalización reportada en estudios anteriores que se basan en datos de un solo puerto.

4. CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado la utilidad y el potencial de los modelos predictivos basados en aprendizaje automático para la estimación precisa del tiempo de permanencia portuaria, validando el uso de datos AIS de alta frecuencia y algoritmos de ensamble como XGBoost y LightGBM por su robustez ante la complejidad operativa. La principal contribución reside en la provisión de una herramienta predictiva de alta precisión para los puertos panameños y en el establecimiento de un marco cuantitativo riguroso para la evaluación y el benchmarking continuo del desempeño portuario.

Las implicaciones prácticas de estos hallazgos son significativas. Unas predicciones más precisas permiten la optimización proactiva de la programación de atraques y la asignación eficiente de recursos, lo que se traduce directamente en una reducción de la congestión y los costos operativos para las navieras. Además, la minimización de los tiempos de espera tiene un impacto ambiental positivo al reducir el consumo de combustible y, consecuentemente, las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto no solo mejora la fiabilidad de la cadena de suministro, sino que también refuerza la competitividad de Panamá como nodo logístico global.

Como futuras líneas de investigación, se propone la incorporación de variables externas en tiempo real (tales como condiciones meteorológicas o niveles dinámicos de congestión) para mejorar la adaptabilidad y precisión del modelo. También es recomendable explorar arquitecturas de modelos más diversas, como las Redes Neuronales Recurrentes (ej., LSTM) o modelos híbridos, para una captura más sofisticada de las dependencias temporales.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Finalmente, la expansión geográfica y la validación del modelo utilizando datos de otros puertos a nivel global permitirían extender su aplicabilidad y robustez.

Referencias

[5] G. Fancello, C. Pani, M. Pisano, P. Serra, P. Zuddas, P. Fadda, Prediction of arrival times and human resources allocation for container terminal, Maritime Economics & Logistics 2011 13:2 13 (2011) 142–173. doi:10.1057/MEL.2011.3

[6] J. Farhan, G. P. Ong, Forecasting seasonal container throughput at international ports using sarima models, Maritime Economics & Logistics 2016 20:1 20 (2018) 131–148. doi:10.1057/MEL.2016.13.

[7] X. Xiaoyingjie, Z. Zhanghao, L. Lisong, Dynamic data driven multi-agent simulation in maritime traffic, Proceedings 2009 International Conference on Computer and Automation Engineering, ICCAE 2009 (2009) 234–237 doi:10.1109/ICCAE.2009.17.

[8] J. Ksciuk, S. Kuhlemann, K. Tierney, A. Koberstein, Uncertainty in maritime ship routing and scheduling: A literature review, European Journal of Operational Research 308 (2023) 499–524. doi:10.1016/J.EJOR.2022.08.006.

[9] L. R. Abreu, I. S. Maciel, J. S. Alves, L. C. Braga, H. L. Pontes, A decision tree model for the prediction of the stay time of ships in brazilian ports, Engineering Applications of Artificial Intelligence 117 (2023) 105634. doi:10.1016/J.ENGAPPAI.2022.105634.

[10] W. Zhang, Y. Zou, J. Tang, J. Ash, Y. Wang, Short-term prediction of vehicle waiting queue at ferry terminal based on machine learning method, Journal of Marine Science and Technology 2016 21:4 21 (2016) 729–741. doi:10.1007/S00773-016-0385-Y.

[11] G. Tang, J. Lei, C. Shao, X. Hu, W. Cao, S. Men, Short-term prediction in vessel heave motion based on improved lstm model, IEEE Access 9 (2021) 58067–58078. doi:10.1109/ACCESS.2021.3072420.

[12] L. Kolley, N. Rückert, M. Kastner, C. Jahn, K. Fischer, Robust berth scheduling using machine learning for vessel arrival time prediction, Flexible Services and Manufacturing Journal 2022 35:1 35 (2022) 29–69. doi:10.1007/S10696-022-09462-X.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Propuesta de modelado numérico en la cinética de reacciones de distinto orden.

Brown, Isócrates
Universidad de Panamá, Universidad Marítima Internacional de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
Isocrates.brown.iac@gmail.com

Taylor, Esthefanie
Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
Fanytaylor1409@gmail.com

Abstract

Ordinary differential equations (ODEs) are essential tools for modeling dynamic processes in chemical kinetics, as they describe the temporal evolution of reactants and products. Traditional approaches, however, are often restricted to first- and second-order reactions, limiting their applicability to more complex systems. This study proposes the use of the fourth-order Runge Kutta method (RK4) as a robust numerical alternative to extend modeling capabilities, including reactions of global order 3, fractional, or even negative orders. The methodology involved comparing different numerical methods for solving ODEs, evaluating RK4's accuracy through error theory and computational tests. Classical first- and second-order models were used as a baseline, and RK4 was subsequently applied to adjust rate parameters in more complex systems. Calculations were performed in Excel, enabling the representation of concentration variations and graphical analysis of slopes in the generated curves. Results demonstrate that RK4 significantly reduces error compared to conventional analytical methods, providing greater fidelity in predicting chemical behavior. Moreover, treating one reactant as constant simplifies the model without compromising accuracy. Graphical analysis revealed dynamic variations in rate constants, reinforcing the method's reliability for real systems. This advancement not only improves the representation of complex chemical processes but also opens new possibilities for the chemical and pharmaceutical industries, the teaching of differential equations, and scientific research in Panama. By integrating computational tools, the approach enhances predictability and visualization of kinetic systems, establishing RK4 as a valuable mathematical resource for optimizing chemical processes.

Keywords: numerical methods, differential equations, chemical kinetics, Runge Kutta, rate constant.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

Las ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) constituyen una herramienta esencial para modelar procesos dinámicos en la cinética química, ya que permiten describir la evolución temporal de reactivos y productos. Sin embargo, los métodos tradicionales suelen limitarse a reacciones de primer y segundo orden, lo que restringe el análisis de sistemas más complejos. En este trabajo se propone la aplicación del método de Runge Kutta de cuarto orden (RK4) como alternativa numérica robusta para ampliar el alcance del modelado, incluyendo reacciones de orden global 3, fraccionario o incluso negativo. La metodología se basó en la comparación de distintos métodos de resolución de EDO, evaluando la precisión de RK4 mediante teoría de error y pruebas computacionales. Se partió de modelos clásicos de primer y segundo orden y, posteriormente, se aplicó RK4 para ajustar parámetros de velocidad en sistemas más complejos. Los cálculos se realizaron en Excel, lo que permitió representar variaciones de concentración y analizar gráficamente las pendientes de las curvas obtenidas. Los resultados evidencian que RK4 reduce significativamente el error frente a métodos analíticos convencionales y ofrece mayor fidelidad en la predicción del comportamiento químico. Además, la posibilidad de considerar un reactivo constante simplifica el modelo sin comprometer la precisión. El análisis gráfico reveló variaciones dinámicas en las constantes de velocidad, lo que refuerza la utilidad del enfoque para sistemas reales. Este avance no solo mejora la representación de procesos químicos complejos, sino que también abre nuevas posibilidades para la industria química y farmacéutica, la enseñanza de ecuaciones diferenciales y la investigación científica en Panamá.

Palabras claves: métodos numéricos, ecuaciones diferenciales, cinética química, Runge Kutta, constante de velocidad.

1. INTRODUCCIÓN

Las ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) constituyen una herramienta matemática clave para describir fenómenos dinámicos. En química, permiten modelar la cinética de reacciones y predecir la evolución temporal de reactivos y productos. Sin embargo, muchas EDO carecen de soluciones analíticas exactas, lo que hace necesario recurrir a métodos numéricos.

Este trabajo busca comparar distintos algoritmos de resolución de EDO, evaluando su precisión y aplicabilidad en sistemas químicos. Se analizan los métodos de Euler, Euler Mejorado y Runge Kutta de cuarto orden, con énfasis en la reducción del error y la capacidad de modelar reacciones de mayor complejidad.

método

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

La metodología de este estudio se diseñó en tres etapas principales: selección de modelos químicos, implementación numérica y evaluación de error. Cada etapa se apoyó en herramientas computacionales y en la comparación sistemática de los métodos de Euler, Euler Mejorado y Runge Kutta de cuarto orden (RK4).

A. SELECCIÓN DE MODELOS QUÍMICOS

Se eligieron reacciones representativas de distintos órdenes cinéticos:

- Primer orden, como referencia básica para validar los algoritmos.
- Segundo orden, que introduce mayor complejidad en la dependencia de la concentración.
- Orden global 3 y pseudoprimer orden, para evaluar la capacidad de los métodos en sistemas más complejos.
- Estas reacciones se modelaron mediante ecuaciones diferenciales ordinarias de velocidad, ajustando parámetros iniciales y condiciones de frontera.

IB. MPLEMENTACIÓN NUMÉRICA

Los métodos se programaron en Excel, lo que permitió calcular variaciones de concentración en intervalos discretos de tiempo y generar gráficas de comportamiento dinámico. Cada algoritmo se aplicó bajo las mismas condiciones iniciales para garantizar comparabilidad.
A continuación, se resumen las características principales de los métodos analizados, destacando ventajas y limitaciones.

Tabla 1. Características de los métodos numéricos

Método	Ventajas principales	Limitaciones
Euler	Simplicidad, rapidez	Alta acumulación de error
Euler mejorado	Mayor precisión que Euler	Requiere más cálculo
Runge Kutta 4	Alta precisión, versatilidad	Mayor complejidad computacional

La Tabla 1 resume las principales características de los métodos numéricos aplicados en este estudio. El método de Euler destaca por su simplicidad y rapidez de implementación, lo que lo convierte en una herramienta útil para introducir conceptos básicos de resolución de ecuaciones diferenciales. Sin embargo, su principal limitación es la acumulación de error en intervalos largos, lo que reduce su fiabilidad en aplicaciones químicas complejas. El método de Euler Mejorado, también conocido como método de Heun, ofrece una mayor precisión al incorporar correcciones en cada paso, aunque requiere un número adicional

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de cálculos que incrementan el tiempo computacional. Finalmente, el método de Runge Kutta de cuarto orden (RK4) se posiciona como el más robusto y versátil, ya que logra un equilibrio entre precisión y aplicabilidad en sistemas de mayor complejidad. A pesar de su mayor carga computacional, RK4 proporciona resultados más cercanos a la realidad experimental, lo que lo convierte en la opción preferida para modelar fenómenos químicos donde la exactitud es crítica.

C. EVALUACIÓN DE ERROR

Se aplicó la teoría de error para medir la precisión relativa y absoluta de cada método. El error se calculó comparando los resultados numéricos con soluciones analíticas conocidas en reacciones de primer y segundo orden.
La Tabla 2 muestra el error relativo obtenido en cada método para diferentes tipos de reacciones, evidenciando la superioridad de RK4.

Tabla 2. Comparación de error relativo (%)

Reacción	Euler	Euler Mejorado	RK4
Primer orden	12.5	7.8	2.1
Segundo orden	15.3	9.4	3.0
Orden global 3	18.7	11.2	4.5

D. INTEGRACIÓN GRÁFICA

La representación gráfica constituyó un elemento central en la validación de los métodos numéricos aplicados. A través de las gráficas de concentración versus tiempo se logró visualizar de manera clara la evolución de los reactivos y productos en cada sistema químico analizado. Estas gráficas no solo permitieron corroborar la tendencia esperada en las reacciones de primer y segundo orden, sino que también facilitaron la identificación de desviaciones en modelos más complejos, como los de orden global 3.

El análisis gráfico se complementó con la determinación de pendientes lineales en las curvas obtenidas, lo que permitió calcular constantes de velocidad dinámicas. Este procedimiento resultó especialmente útil en el caso de las reacciones de primer orden, donde la relación entre el logaritmo de la concentración y el tiempo generó una línea recta cuya pendiente corresponde directamente a la constante de velocidad.

En sistemas de segundo orden y de orden global 3, las gráficas mostraron comportamientos no lineales que evidencian la necesidad de métodos más precisos como RK4. La comparación visual entre las curvas obtenidas por Euler, Euler Mejorado y RK4

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

permitió observar cómo los dos primeros tienden a desviarse progresivamente de la solución analítica, mientras que RK4 mantiene una aproximación más fiel a la realidad química.

De esta manera, la integración gráfica se convirtió en una herramienta complementaria al análisis numérico, reforzando la validez de los resultados y ofreciendo una representación intuitiva de los procesos cinéticos. Además, las gráficas facilitaron la comunicación de los hallazgos, permitiendo que los resultados puedan ser interpretados tanto por especialistas en matemáticas como por investigadores en química aplicada.

3.RESULTADOS

A.REACCIONES DE PRIMER ORDEN

En este tipo de reacciones se observó que el método de Euler reproduce la tendencia general de la disminución de la concentración, aunque con errores acumulativos que se reflejan en desviaciones respecto a la solución analítica. El método de Euler Mejorado corrigió parcialmente estas desviaciones, logrando una aproximación más cercana. Sin embargo, el método de Runge Kutta de cuarto orden (RK4) ofreció la mejor representación, reproduciendo con gran fidelidad la linealidad esperada en la relación ln(C) vs. t, lo que permitió calcular constantes de velocidad dinámicas con alta confiabilidad.

B.REACCIONES DE SEGUNDO ORDEN

En las reacciones de segundo orden, los métodos más simples mostraron dificultades para mantener la linealidad de las curvas de concentración versus tiempo. Euler presentó desviaciones progresivas y el método de Euler Mejorado mejoró la aproximación, aunque con limitaciones en intervalos largos. En contraste, RK4 capturó la pendiente correcta y permitió ajustar los parámetros cinéticos de manera más precisa, confirmando su superioridad en sistemas de mayor complejidad.

C.REACCIONES DE ORDEN 3 Y PSEUDOPRIMER ORDEN

En el análisis de las reacciones de orden global 3 y pseudoprimer orden fue necesario considerar constante uno de los reactivos, lo que permitió simplificar el modelo matemático y facilitar la aplicación de los métodos numéricos. Esta estrategia condujo al cálculo de una constante aparente de velocidad, la cual mostró valores relativamente cercanos a los obtenidos experimentalmente.

El método de Runge Kutta de cuarto orden (RK4) se aplicó sin dificultad en estos sistemas, logrando representar adecuadamente la evolución de las concentraciones y reduciendo el error respecto a los métodos más simples. Aunque existen algoritmos más avanzados que podrían ofrecer una precisión superior, los resultados obtenidos con RK4

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

demuestran que este método es suficientemente robusto para abordar sistemas químicos complejos, manteniendo un equilibrio entre exactitud y facilidad de implementación.

Este hallazgo refuerza la idea de que el uso de RK4 no solo es útil en reacciones de primer y segundo orden, sino también en escenarios donde se requiere modelar procesos de mayor complejidad, como los de orden fraccionario o pseudoprimer orden. La capacidad de obtener constantes aparentes cercanas a las experimentales valida la pertinencia del enfoque y abre la posibilidad de desarrollar problemas aplicados en química y farmacocinética con un nivel de confiabilidad aceptable.

4. CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los métodos numéricos aplicados a ecuaciones diferenciales ordinarias confirma que el método de Runge Kutta de cuarto orden (RK4) es el más eficiente y preciso para modelar fenómenos químicos. A diferencia de los métodos de Euler y Euler Mejorado, RK4 logra reducir significativamente el error relativo y mantener la estabilidad en sistemas de distinta complejidad, desde reacciones de primer y segundo orden hasta procesos de orden global 3 y pseudoprimer orden.

En estos últimos casos, fue necesario considerar constante uno de los reactivos, lo que permitió calcular una constante aparente de velocidad relativamente cercana a los valores experimentales. Este hallazgo refuerza la utilidad del enfoque numérico, demostrando que es posible abordar problemas de mayor complejidad con RK4 sin dificultad, aun cuando existan métodos más avanzados que podrían ofrecer mayor precisión.

La integración gráfica complementó el análisis numérico, facilitando la interpretación de las tendencias cinéticas y validando la predictibilidad de los modelos. En particular, la aplicación en farmacocinética evidenció la capacidad de RK4 para representar con fidelidad la eliminación de un antibiótico en el organismo, confirmando su pertinencia en escenarios aplicados de la industria farmacéutica.

En conjunto, los resultados demuestran que el método RK4 no solo es una herramienta robusta para la enseñanza y la investigación, sino que también abre nuevas perspectivas para la industria química y farmacéutica. Sin embargo, este trabajo también señala la necesidad de seguir adelante en el desarrollo de programas computacionales que actúen como precursores de simuladores de cinética química, capaces de integrar modelos más complejos y ajustarse a las demandas actuales de precisión y eficiencia. La creación de estos simuladores representa un paso fundamental para fortalecer la investigación científica, optimizar procesos industriales y enriquecer la formación académica en Panamá y la región.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] S. Zill and W. Warren, Differential Equations with Boundary-Value Problems, Cengage Learning, 2013.
[2] J. Jiménez and M. López, Métodos Numéricos, Editorial Universitaria, 2007.
[3] D. Harvey, “Libretexts: Analytical Chemistry,” Libretexts.org, 2020.
[4] E. M. Gutiérrez Armenta et al., “Métodos numéricos clásicos para resolver ecuaciones diferenciales de primer orden,” Memorias Congreso CiTec, UNAM, 2018.
[5] M. González Cardel, Método de Euler Modificado (Heun), Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.
[6] Lecture Notes, “Numerical Errors and One-step Methods for ODEs,” University of Bologna, 2020.
[7] J. A. Dudek, “Development of Runge Kutta Numerical Methods With Applications to the Solution of Ordinary Differential Rate Equations in Chemical Kinetics,” ResearchGate, 2021.
[8] A. Dudek, “Development of Runge Kutta Numerical Methods With Applications to the Solution of Ordinary Differential Rate Equations in Chemical Kinetics: Abstract,” ResearchGate, 2021.
[9] S. Lee, “Mastering Runge-Kutta Methods for Chemical Engineers,” Number Analytics Blog, 2025.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

PERCEPCIÓN CIUDADANA SOBRE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES Y LA ACCESIBILIDAD TERRITORIAL EN EL DISTRITO DE DAVID

Bethancourt-Lasso, Gabriel
Maestría Científica en Cambio Climático y Sostenibilidad Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
gabriel.bethancourt@utp.ac.pa
ORCID: 0009-0004-2000-7434

Quijada-Alarcón, Jorge
Grupo de Investigación del Transporte y Territorio, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Sistema Nacional de Investigación (SNI), Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT)
Ciudad de Panamá, Panamá
jorge.quijada@utp.ac.pa
ORCID: 0000-0001-8938-0190

Abstract

This study analyzes citizens' perceptions of comprehensive disaster risk management (CDRM) and territorial accessibility in the district of David, province of Chiriquí. Using cluster probability sampling, 400 household surveys were conducted in urban and rural areas, gathering information on the frequency of hazards, perceived vulnerability, and road infrastructure conditions. The results show that 39.4% of respondents perceive an increase in the frequency of floods, while 41.5% consider themselves moderately or highly vulnerable to these events. In contrast, 80.8% acknowledge that they are not prepared to deal with disasters. A positive correlation was identified between flood and landslide risk indices, and a negative correlation between perceived risk and road accessibility. The findings highlight the need to integrate citizen perception into DRRM public policies to strengthen territorial resilience and improve road infrastructure in the face of risk scenarios.

Keywords: Territorial accessibility, DRM, floods, citizen perception, community resilience.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

El presente estudio analiza la percepción ciudadana sobre la gestión integral del riesgo de desastres (GIRD) y la accesibilidad territorial en el distrito de David, provincia de Chiriquí. A través de un muestreo probabilístico por conglomerados, se aplicaron encuestas domiciliarias distribuidas en zonas urbanas y rurales, captando información sobre la frecuencia de amenazas, vulnerabilidad percibida y condiciones de infraestructura vial. Los resultados evidencian que el 39.4 % de los encuestados percibe un incremento en la frecuencia de inundaciones, mientras que un 41.5 % se considera mediana o altamente vulnerable ante estos eventos. En contraste, el 80.8 % reconoce no estar preparado para enfrentar desastres. Se identificó una correlación positiva entre los índices de riesgo por inundaciones y deslizamientos, y una correlación negativa entre el riesgo percibido y la accesibilidad vial. Los hallazgos destacan la necesidad de integrar la percepción ciudadana en las políticas públicas de GIRD para fortalecer la resiliencia territorial y mejorar la infraestructura vial ante escenarios de riesgo.

Palabras claves: Accesibilidad territorial, GIRD, Inundaciones, percepción ciudadana, resiliencia comunitaria.

1. INTRODUCCIÓN

La Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD) se ha consolidado como un pilar fundamental en la agenda global para el desarrollo sostenible. Su objetivo trasciende la mera respuesta a emergencias; busca implementar políticas y estrategias para prevenir, reducir y manejar el riesgo, con el fin último de fortalecer la resiliencia comunitaria.

Esta necesidad es particularmente crítica en Panamá, una nación donde, según datos del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), el 75% de la población y el 54% del territorio están expuestos a riesgos hidrometeorológicos y geofísicos [1]. La frecuencia de estos eventos, con más de 500 inundaciones y 345 deslizamientos reportados solo entre 2016 y 2021, subraya una vulnerabilidad elevada por factores como la urbanización no planificada [2].

El Distrito de David, con sus 156,498 habitantes [3], no solo es el más poblado de la provincia de Chiriquí, sino también un nodo logístico y social estratégico. Esta concentración poblacional coexiste con amenazas bien documentadas, como las recurrentes inundaciones provocadas por el desbordamiento de los ríos Chiriquí Viejo y Caldera [2], por ejemplo durante fenómenos como los huracanes Eta e Iota en 2020, y riesgos sísmicos conocidos para los cuales ya se han realizado evaluaciones técnicas. Sin embargo, aquí yace una brecha

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

crítica en la planificación: la mayoría de los estudios se han centrado en la vulnerabilidad técnica e infraestructural.

Por lo tanto, este estudio busca cerrar esta doble brecha en el contexto panameño. El objetivo es analizar la percepción ciudadana sobre la gestión integral del riesgo de desastres (GIRD) y la accesibilidad territorial en el distrito de David, proveyendo una pieza de información crucial que transita de los análisis puramente técnicos a la realidad social vivida por sus habitantes.

2. MÉTODO

Para abordar el objetivo planteado, se adoptó un enfoque de investigación cuantitativo. Esta decisión metodológica se fundamenta en la necesidad de obtener una panorámica amplia y estadísticamente representativa de la opinión pública en el Distrito de David. Dado que el objetivo es conectar la GIRD con la accesibilidad, un enfoque cualitativo no habría permitido identificar los patrones y correlaciones a gran escala que este estudio buscaba. Por lo tanto, se optó por un estudio cuantitativo centrado en la percepción ciudadana, partiendo de la premisa de que la GIRD no es solo un desafío técnico de ingeniería, sino un fenómeno profundamente social. Comprender cómo la población interpreta el riesgo es el primer paso para diseñar políticas públicas inclusivas y efectivas.

Se diseñó y aplicó una encuesta domiciliaria estructurada mediante la plataforma digital Survey123 de ArcGIS, enfocada en medir variables relacionadas con percepción del riesgo, preparación ante desastres, frecuencia de eventos naturales y condiciones de accesibilidad. Para garantizar la representatividad territorial y la calidad de los datos recolectados, se desarrolló una estrategia metodológica estructurada en cuatro pasos:

Paso 1: Muestreo probabilístico estratificado por zonas

Se empleó un enfoque de muestreo probabilístico por conglomerados, estratificando el distrito de David en función de sus corregimientos. Esta división permitió asegurar una cobertura equilibrada en todo el territorio, incorporando tanto áreas urbanas centrales como zonas periféricas o rurales.

Paso 2: Distribución espacial de las encuestas

Dentro de cada zona estratificada, se definió aleatoriamente la distribución esperada de encuestas, lo que permitió establecer un patrón espacial de aplicación que evitara sesgos de concentración y asegurara una cobertura homogénea del territorio.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Paso 3: Selección de encuestadores y domicilios

Se capacitó a un grupo de encuestadores, principalmente estudiantes universitarios residentes en el distrito, quienes propusieron posibles domicilios a encuestar mediante formularios digitales georreferenciados. Estos puntos fueron evaluados y aprobados conforme al patrón definido en el paso anterior.

Paso 4: Validación de la encuesta colocada

Cada encuesta fue sometida a un proceso de verificación para asegurar su validez, integridad y correcta geolocalización. Se utilizaron claves únicas y mecanismos de control digital para evitar duplicaciones o errores en la recolección.

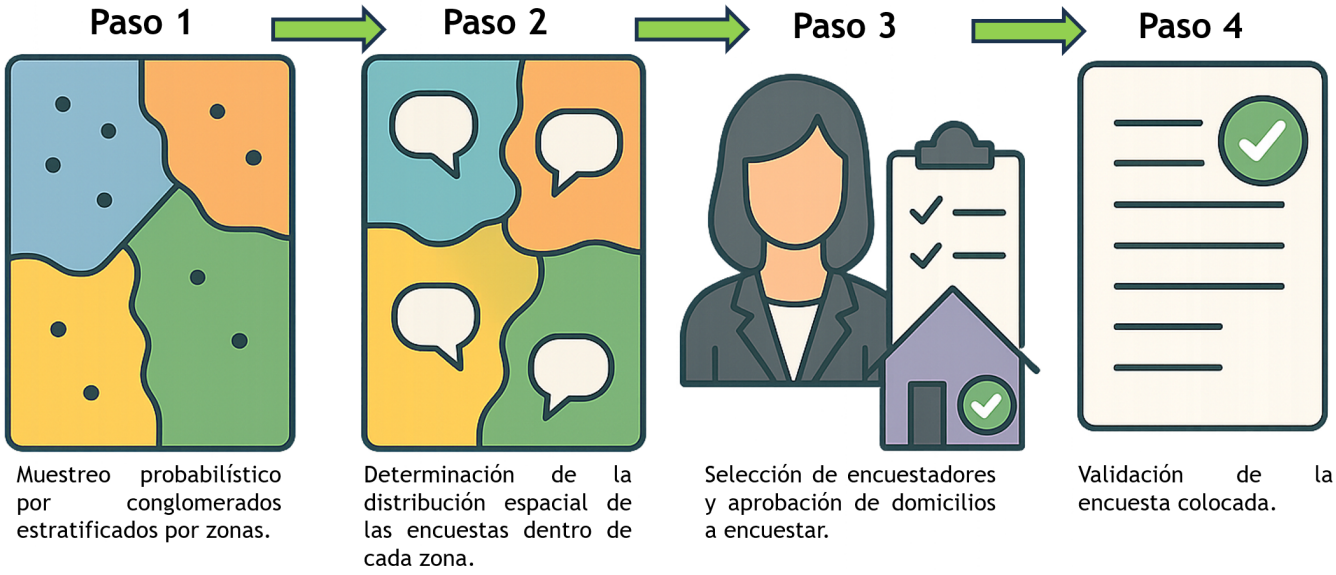


Figura 1: Metodología.

Este instrumento además se articuló en cuatro dimensiones o índices principales, alineados directamente con los objetivos de la investigación: (a) la percepción del riesgo frente a inundaciones (IRI) y (b) la percepción del riesgo frente a deslizamientos (IRD). Estas dimensiones buscaron capturar no solo la frecuencia con que los ciudadanos han experimentado estos eventos, sino, más importante aún, su sensación subjetiva de vulnerabilidad.

Las otras dos dimensiones fueron (c) el nivel de preparación comunitaria y familiar (IPR), clave para medir la brecha entre la conciencia del riesgo y la acción; y (d) la percepción sobre la calidad y fiabilidad de la accesibilidad territorial (IAT). Esta última dimensión es una de las contribuciones centrales del estudio, al conectar directamente la GIRD (un tema de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

protección civil) con la planificación de la movilidad (un tema de ingeniería civil) desde la óptica del usuario.

Finalmente, la información recopilada fue codificada, tabulada y procesada mediante software estadístico. El análisis se desarrolló en dos fases principales, de acuerdo con los objetivos. En la primera fase, se aplicó estadística descriptiva para caracterizar las tendencias centrales y frecuencias de cada una de las cuatro dimensiones. Esto permitió obtener un diagnóstico claro de "qué piensa" la población sobre cada tema (riesgo, preparación y accesibilidad). En la segunda fase, se empleó un análisis de correlación, utilizando el coeficiente de Pearson, para explorar la naturaleza y la fuerza de las relaciones subyacentes entre las variables. El objetivo de esta fase no fue establecer causalidad, sino identificar patrones significativos, como por ejemplo, si un aumento en la percepción del riesgo (IRI) se corresponde con un aumento en la preparación (IPR), o si una mala percepción de la accesibilidad (IAT) se relaciona con una mayor sensación de vulnerabilidad general.

3. RESULTADOS

El análisis de las encuestas domiciliarias en el Distrito de David reveló patrones de percepción claros y consistentes. La muestra, que incluyó un balance de zonas urbanas de alta densidad y comunidades rurales, permitió obtener una panorámica representativa.

A. Hallazgos Descriptivos Principales

Los resultados indican una elevada conciencia sobre la amenaza de inundaciones. Aunque un 28.9 % de los participantes reportó una ocurrencia muy baja de inundaciones en su área de residencia, un 39.4 % percibe que estos eventos son moderados a altamente frecuentes, lo que refleja una creciente preocupación por este tipo de amenaza. Esta percepción se acompaña de un nivel significativo de vulnerabilidad: mientras un 32.7 % afirmó sentirse muy poco vulnerable, un 41.5 % indicó experimentar de mediana a alta vulnerabilidad frente a inundaciones, evidenciando un reconocimiento social del riesgo. En relación con los deslizamientos, el 70.1 % manifestó no haberlos experimentado nunca, sin embargo, un 16.4 % sí los ha vivido en su comunidad. Esto sugiere que, aunque menos generalizados que las inundaciones, los deslizamientos representan una amenaza geográficamente focalizada en sectores específicos del distrito, especialmente en áreas con mayor pendiente o cercanía a taludes inestables.

Un hallazgo crítico se relaciona con la preparación ante desastres. La gran mayoría de los encuestados (80.8 %) se considera poco o medianamente preparado para enfrentar un evento natural adverso, y apenas un 2.8 % afirma sentirse muy preparado. Estos datos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

señalan una brecha importante entre la percepción del riesgo y las capacidades individuales o comunitarias para responder adecuadamente ante una emergencia.

En términos de accesibilidad territorial, la valoración también fue predominantemente negativa. Un 36.5 % calificó la condición de las vías como malas, mientras un 21.3 % las consideró regulares, lo que implica que más de la mitad de la población percibe problemas significativos en la infraestructura vial. Esta situación afecta directamente la movilidad cotidiana y, de manera más crítica, la capacidad de evacuación durante emergencias.

B. Discusión de Relaciones y Correlaciones

El análisis de correlación permitió profundizar en la relación entre estas percepciones:

1. **Coherencia de amenazas:** Los datos muestran una correlación positiva entre la percepción del riesgo por inundaciones (IRI) y la percepción del riesgo por deslizamientos (IRD). Es decir, los residentes que reconocen una alta exposición a inundaciones tienden también a considerar a los deslizamientos como una amenaza presente en su entorno. Esta relación indica que la ciudadanía percibe estas amenazas como fenómenos interrelacionados, posiblemente asociados a una misma problemática estructural: drenaje inadecuado, deforestación, urbanización acelerada o mal manejo del territorio. La coherencia observada entre estos dos indicadores fortalece la fiabilidad del instrumento de medición y refuerza la importancia de abordar ambos riesgos de manera integral en la planificación local.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

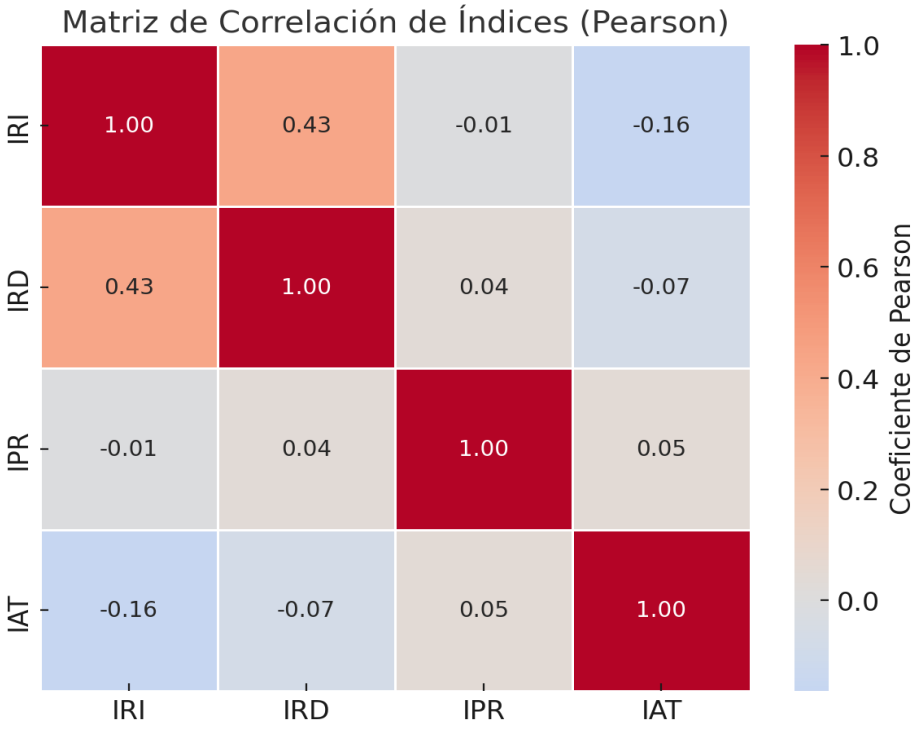


Figura 2: Matriz de correlación.

2. **Brecha de preparación:** Uno de los hallazgos más preocupantes es la brecha entre la percepción del riesgo (IRI/IRD) y el nivel de preparación ciudadana (IPR). A pesar de que una porción considerable de la población reconoce su exposición a eventos como inundaciones o deslizamientos, esta conciencia no se traduce en acciones de preparación concretas. La mayoría de los encuestados se considera poco o medianamente preparado, y un porcentaje mínimo declara sentirse muy preparado. Esta desconexión refleja no solo una falta de cultura preventiva, sino también posibles debilidades institucionales en la promoción de la gestión del riesgo a nivel comunitario. La baja preparación ante eventos extremos representa un factor de vulnerabilidad social que debe ser atendido con urgencia por los gobiernos locales y regionales.

3. **La accesibilidad como condicionante de vulnerabilidad:** Se evidenció también una relación inversa entre el Índice de Accesibilidad Territorial (IAT) y la percepción de vulnerabilidad: las personas que reportan vivir en zonas con mala calidad vial o baja conectividad perciben mayor vulnerabilidad frente a desastres. Esto implica que la infraestructura vial no solo afecta la movilidad cotidiana, sino que se convierte en un elemento determinante del riesgo cuando limita la evacuación, el acceso a servicios de emergencia o la llegada de ayuda humanitaria. Las calificaciones negativas de la condición

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de las vías (más del 50 % las considera malas o regulares) refuerzan esta percepción generalizada de aislamiento territorial, especialmente en escenarios críticos.

4. CONCLUSIONES

Los hallazgos confirman que la población del Distrito de David es altamente consciente de las amenazas hidrometeorológicas (especialmente inundaciones), lo cual valida los estudios técnicos de vulnerabilidad. Sin embargo, esta conciencia se intensifica por la sensación de vulnerabilidad, que es el factor decisivo que impulsa la necesidad de una gestión de riesgos más robusta.

Se establece que la GIRD local sufre una brecha crítica entre la conciencia y la acción. A pesar de percibir un riesgo elevado, el nivel de preparación comunitaria y familiar es marcadamente bajo. Esta desconexión es el punto más sensible para los tomadores de decisiones, ya que indica una falla en la transferencia de conocimiento o recursos desde las entidades de protección civil hacia la acción ciudadana efectiva.

Se concluye que la accesibilidad territorial no es solo un problema de movilidad, sino un componente directo de la vulnerabilidad social. La percepción negativa sobre el estado de las vías se correlaciona con un mayor sentimiento de riesgo. Esto sugiere que las interrupciones en la red vial, comunes durante desastres, son percibidas por los ciudadanos como la principal limitante para la evacuación o el acceso a la ayuda.

Este trabajo demuestra la necesidad de integrar la percepción ciudadana como un indicador formal dentro de la GIRD. Los resultados señalan hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos de planificación urbana e ingeniería: priorizar la inversión en infraestructura vial resiliente y redundante, y diseñar programas de capacitación que transformen la conciencia del riesgo en una preparación activa y organizada.

REFERENCIAS

[1] Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), Política Nacional de Gestión Integral del Riesgo de Desastres de Panamá 2022-2030. 2022.
[2] Ministerio de Economía y Finanzas (Panamá), Inventario de los Desastres 2023, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.mef.gob.pa/wp-content/uploads/2023/06/Inventario-de-los-Desastres-2023.pdf
[3] Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), Censo Nacional de Población y Vivienda 2023: Resultados Preliminares, Contraloría General de la República de Panamá, 2024.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Técnicas de Regresión e Interpolación Aplicadas a la Metrología

Kuruc, José
Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-5038-7766

Abstract

This work shows alternatives to calibration curves that are generally expressed as régressions [1], [2]. This is because when calibrating a measuring instrument, its results are expressed through a table that describes the errors and uncertainties[3]. However, many times the usage conditions of the equipment are slightly distant from the calibration conditions. This means it is very common to measure points that were not calibrated. This is where regressions become relevant, as they allow for interpolation at uncalibrated points within the calibration interval [3]. However, regressions do not always pass through the calibrated points, which in this case causes the exportation of errors through the regressed curve not to match the measured errors. Interpolation methods [4] are rarely used in metrology, but they are a potential alternative for exporting errors to unmeasured points without sacrificing the errors of the measured points. This is because the curves obtained through interpolation methods pass through all the measured points. Three interpolation methods are presented: the Lagrange method, the Newton method, and Splines [4]. It is proposed to compare these methods with regression curves through a case study of torque bench calibrations [5]. Here, the technical criteria that suggest which interpolation method is better and in which case it is convenient to decide between an interpolation case and a regression case are defined.

Keywords: Regressions, Lagrange Polynomial, Newton Polynomial, Splines, Calibration.

Resumen

Este trabajo muestra alternativas a las curvas de calibración que generalmente se expresan como regresiones [1], [2]. Esto es porque al calibrar un equipo de medición, sus resultados son expresados a través de una tabla en dónde se describen los errores y las incertidumbres [3]. Sin embargo, muchas veces las condiciones de uso del equipamiento, distan un poco de las condiciones de calibración, esto quiere decir que es muy común que se midan puntos que no fueron calibrados. Allí es dónde cobran relevancia las regresiones, que permiten

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

interpolar en puntos no calibrados, dentro del intervalo de calibración [3]. Sin embargo, las regresiones no siempre pasan por los puntos que fueron calibrados, lo que causa en este caso que la exportación de errores a través de la curva regresada, no coincida con los errores medidos. Los métodos de interpolación [4] son muy pocos utilizados en metrología, pero son una alternativa potencial para exportar los errores a puntos no medidos, sin sacrificar los errores de los puntos medidos. Esto es porque las curvas obtenidas a través de los métodos de interpolación pasan por todos los puntos medidos. Se presentan tres métodos de interpolación: el método de Lagrange, el método de Newton y los Splines [4]. Se propone comparar estos métodos con las curvas de regresión a través de un caso de calibraciones de bancadas de par torsional [5]. Aquí se definen los criterios técnicos que sugieren cuál método de interpolación es mejor y en que caso conviene decidir entre un caso de interpolación y uno de regresión.

Palabras claves: Regresiones, Polinomio de Lagrange, Polinomio de Newton, Splines, Calibración.

1. INTRODUCCIÓN

Se realzó un análisis comparativo entre las técnicas de regresión y las técnicas de interpolación para evaluar la capacidad de adaptación de estos recursos para expresar la mejor ecuación provenientes de un conjunto de datos de una calibración. Se desarrollaron los marcos teóricos de las regresiones simples, polinómicas, y los métodos de interpolación de Lagrange, Newton y Splines [4], [6]. Se abordó brevemente el teorema de unicidad y se esclareció porqué los métodos de Lagrange, Newton proporcionan el mismo polinomio para el mismo conjunto de datos. Se expuso además el nivel de dificultad y al mismo tiempo la eficacia del método de Splines para interpolar el conjunto de n datos con n-1 polinomios. Finalmente, se propusieron las mejores formas de evaluar la incertidumbre a través de estos métodos y que pudieran encajar lo mejor posible por lo propuesto en [3]. Se analizaron los resultados de una calibración de una bancada de par torsional y se sugirieron posibles desarrollos en trabajos futuros para la implementación de diferentes métodos para deducir curvas de calibración citados en diferentes contextos aplicables.

2. MÉTODO

A. Análisis de las Regresiones

Las regresiones son técnicas de modelado de datos cuyo objetivo es encontrar la mejor relación funcional entre una variable de interés que se quiere predecir (respuesta) [1], y una o más variables que influyen en la variable de interés (predictores) [1].En este trabajo

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

se abordó el análisis a partir de regresiones cuyas variables de interés se ven afectadas por una variable influyente.

Tabla 1. Marco Teórico de las regresiones

• **Regresión simple** [2]	$y = b_0 + b_1 x + \varepsilon$ (1) $b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i - b_1 \sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = \bar{y} - b_1 \bar{x}$, $b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$ Dónde en (1): y: Es la variable respuesta. x: Es la variable predictora. b_0: Es la constante de intercepto. b_1: Es la constante de inclinación. ε: Es el error global de la regresión.
• **Regresiones Polinómicas** [2]	$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \cdots + b_k x^k + \varepsilon$ (2) $f(b_0, b_1, b_2, \ldots, b_k) = \sum_{i=1}^{n} [y_i - (b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + \cdots + b_k x_i^k)]^2$ $b_0 n + b_1 \sum x_i + b_2 \sum x_i^2 + \cdots + b_k \sum x_i^k = \sum y_i$ $b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 + b_2 \sum x_i^3 + \cdots + b_k \sum x_i y_i = \sum x_i y_i$ $\vdots$ $b_0 \sum x_i^k + b_1 \sum x_i^{k+1} + \cdots + b_k \sum x_i^{2k} = \sum x_i^k y_i$ Dónde en (2): y: Es la variable respuesta. x: Es la variable predictora. f: Es la función de regresión para estimación de regresores. $b_0, b_1, b_2, \ldots, b_k$: es el grupo de constantes de la regresión.

B. Análisis de los métodos de interpolación

Los polinomios de interpolación son herramientas matemáticas que se utilizan para construir una función simple, en este contexto, un polinomio, que pase exactamente por un conjunto de puntos de datos discretos.

En el contexto de la calibración, si se tiene n puntos , la interpolación proporciona una ecuación P(x), que permite estimar cualquier valor x entre los puntos medidos.

Los métodos de interpolación se rigen por el teorema de unicidad, que explica que para n puntos de datos, existe un único polinomio de grado n-1 que pasa por todos los puntos del conjunto de datos [4].

Tabla 2. Marco teórico de las interpolaciones.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Polinomio de Lagrange: Como habíamos mencionado anteriormente, a partir del conjunto de datos, cada dato se define a través de la función f, entonces existe un polinomio P(x) tal que $\boldsymbol{f(x_k) = P(x_k), para\ cada\ k = 0, 1, \dots, n}$ Entonces el polinomio tendría la forma [4]:	$$\boldsymbol{P(x) = \sum_{k=0}^{n} f(x_k) L_{n,_k}(x)}$$ Dónde: $\boldsymbol{L_{n,k} = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^{n} \frac{x - x_i}{x_k - x_i}}$ Es la base Lagrangiana del polinomio.
Polinomio de Newton [4]: El polinomio de Newton produce exactamente los mismos resultados que el polinomio de Lagrange, esto es posible por el teorema de unicidad mencionado anteriormente. Solo existe un único polinomio posible para un conjunto de datos que pueda describir la interpolación entre sus valores mínimos y máximos. Aplicando las diferencias divididas para deducir las constantes de interpolación del polinomio, obtenemos la forma del polinomio P(x) como sigue:	$$a_0 = f[x_0] = P_n(x_0)$$ $$a_1 = f[x_i, x_{i+1}] = \frac{f[x_{i+1}] - f[x_i]}{x_{i+1} - x_i}$$ $$a_k = f[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k-1}, x_{i+k}] = \frac{f[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k}] - f[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k-1}]}{x_{i+k} - x_i}$$ *Entonces:* $$P_n(x) = f[x_0] + f[x_0, x_1](x - x_0) + \cdots + f[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k-1}, x_{i+k}](x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{k-1})$$ $$P_n(x) = a_0 + \sum_{k=1}^{n} a_k (x - x_0) \dots (x - x_{k-1})$$
Splines Cúbicos [4]: Un spline cúbico es una función que se construye a partir de una serie de polinomios de grado 3 unidos entre sí. Esto quiere decir que el spline rompe el problema en trozos más pequeños. Si se dispone de n puntos, el spline estaría compuesto por n-1 segmentos, donde cada segmento tiene su propia ecuación cúbica. La forma general de los splines sería la siguiente:	$$S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3$$ $$S(x) = \{S_1, S_2, \dots, S_{n-1}\}$$

C. Análisis de la incertidumbre de las ecuaciones

Cuando se propone una curva de calibración como el mejor modelo de los datos entregados como resultados, esta curva de calibración aporta una componente de incertidumbre a la incertidumbre combinada de la calibración [3]. Las incertidumbres de los modelos que provienen de las regresiones ya cuentan con una forma estadística muy bien definida, basadas en el error global de la naturaleza de la regresión, sin embargo el tratamiento de las incertidumbres de las ecuaciones provenientes de algún método de interpolación, tiene la particularidad de que dependen de la dispersión individual de los datos medidos a la que hay que agregar el ruido de los efectos de interpolación. A continuación, se detallan los criterios a tomar en cuenta para expresar la incertidumbre de las ecuaciones (.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 3. Análisis de incertidumbre de las curvas regresadas o interpoladas.

Incertidumbre de la regresión simple: Depende de la dispersión entre el valor medido, y el predicho por la regresión con n-2 grados de libertad.	$u_{ecu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}$
Incertidumbre de la regresión polinómica: Depende de la dispersión entre el valor medido y el predicho por la regresión con n-(k+1) grados de libertad.	$u_{ecu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-(k+1)}}$
Incertidumbre del polinomio de Lagrange-Newton: A diferencia de los métodos anteriores, las ecuaciones que se originan a partir de estos polinomios no tienen dispersiones en los puntos medidos debido a que la función del polinomio se define en el mismo punto de medición.	$u_{ecu} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial P_n}{\partial y_i}\right)^2 u_c^2}$ Dónde: $\frac{\partial P_n}{\partial y_i} = L_i(x)$ Finalmente: $u_{ecu} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} L_i^2 u_c^2}$
Incertidumbre del polinomio Spline cúbico: La expresión para la incertidumbre tiene un alto grado de complejidad. Un spline cúbico se compone por n-1 polinomios cúbicos $\boldsymbol{S_i(x)}$, dónde n es el número de puntos, cada segmento depende de un pequeño número de puntos vecinos y está acoplado al siguiente segmento en condiciones de continuidad. Conviene explorar métodos como Monte Carlo [7] para evitar ignorar analíticamente potenciales relaciones no lineales.	$u_{ecu} = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial y_i}\right)^2 u_c^2}$
Incertidumbre de la calibración: La incertidumbre de la calibración se expresa como la combinación de la incertidumbre de calibración, y la incertidumbre de la ecuación, culminando con su forma expandida $(\boldsymbol{U})$ para un k=2 [3].	$u_{cal} = \sqrt{u_c^2 + u_{ecu}^2}$ $U = k u_{cal}$

D. Desarrollo de los algoritmos

El desarrollo de los algoritmos de regresión y de los métodos de interpolación se realizaron con el software R, por la cantidad de funciones disponible para análisis estadísticos y métodos numéricos.

3. RESULTADOS

El caso analizado proviene de los resultados obtenidos durante la validación del método de calibraciones de bancadas de par torsional en el CENAMEP AIP.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

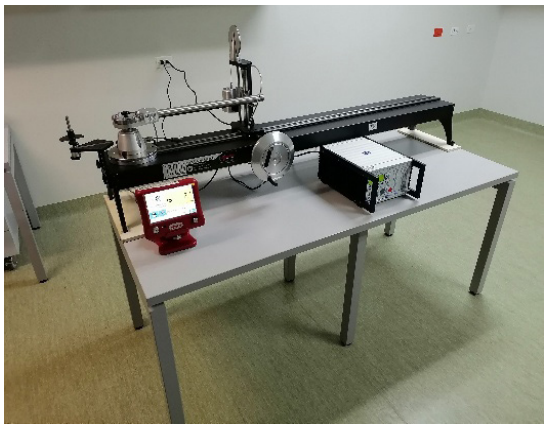


Fig.1 Bancada de par torsional.

Los resultados obtenidos durante la calibración sen encuentran en la tabla 4. Estos resultados al ser analizados se compararon cual de las mejores curvas de calibración era la más adecuada entre una regresión simple y una regresión polinómica cúbica. El mejor ajuste se logró con una regresión cúbica centrada en el origen de la forma

$T = AT_m^3 + BT_m^2 + CT_m$, dónde T es el par que se desea predecir en la interpolación y T_m es el par medido [5].

Tabla 4. Resultados de calibración de la bancada de par torsional del CENAMEP AIP hasta 1000 Nm.

Puntos de Calibración T (Nm)	Promedio T(Nm)	uc (Nm)
20	20.06	0.11
50	50.08	0.07
100	100.12	0.06
200	200.16	0.09
300	300.2	0.14
400	400.25	0.16
500	500.35	0.20
600	600.47	0.21
800	800.7	0.32
1000	1001.01	0.35

Posterior a la elección de la curva de ajuste de la calibración, los resultados de esta ecuación se compararon con con las ecuaciones obtenidas con el polinomio de Lagrange y Splines. En la figura 2, 3 y 4, se observan los contrastes de estos resultados.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

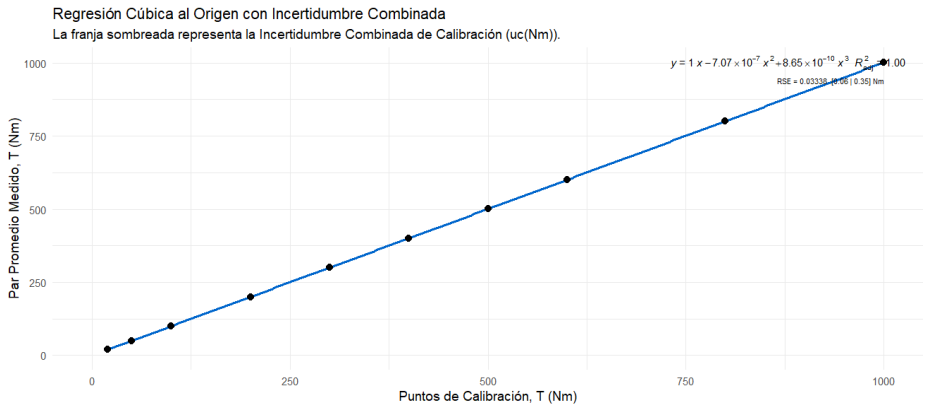


Fig.2 Regresión cúbica.

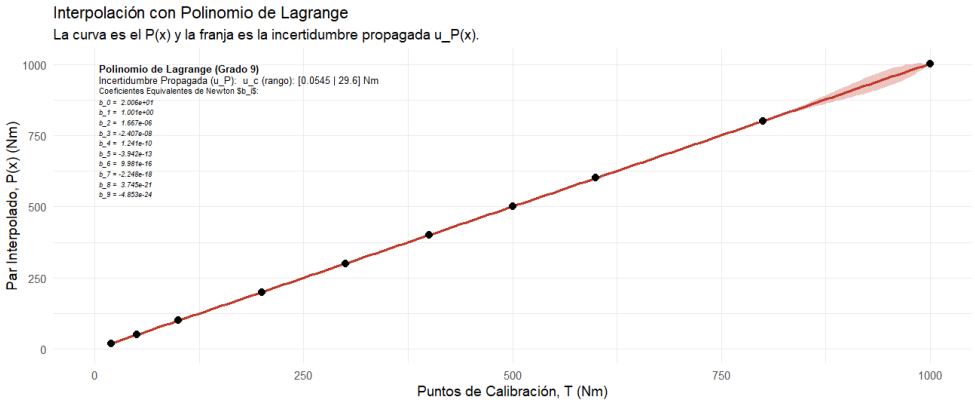


Fig.3 Interpolación de Lagrange [6].

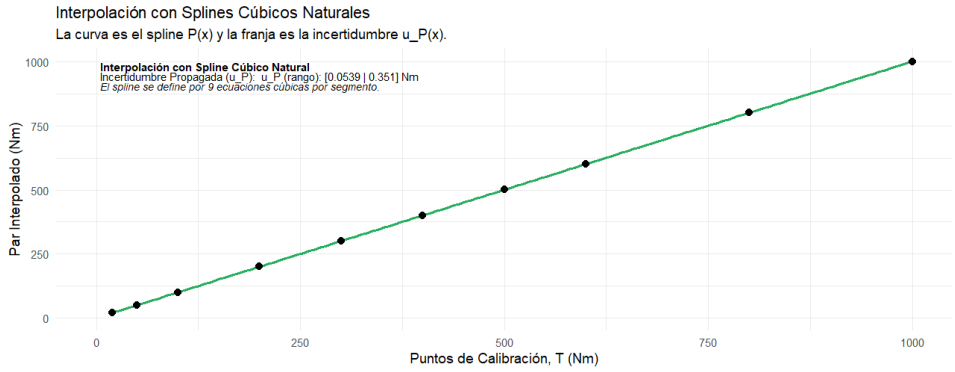


Fig.4 Interpolación por Spline

Nota: La interpolación por el método de spline requirió de 9 polinomios para llevarse a cabo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4.CONCLUSIONES

El polinomio de Lagrange muestra su típica inestabilidad en los últimos puntos aumentando la incertidumbre radicalmente. Este fenómeno se da en la medida en que existan más datos por analizar.

La interpolación por spline en este contexto no tiene mucha significancia con respecto a la regresión, computacionalmente no es eficiente, sin embargo alcanza buenos resultados. Se propone adaptar este método de interpolación para un conjunto de datos que muestren mayor dispersión.

Las regresiones son muy confiables para bajas dispersiones y también cuando se disponen de más datos para describir las relaciones.

Los métodos de interpolación son muy poderosos para cuando se tienen resultados con muy pocos datos, como se pudo observar, no hay mucha diferencia entre un método y otro en los primeros puntos interpolados. Se propone evaluar estos resultados en calibraciones donde se apliquen curvas de calibración a través de regresiones con 5 datos o menos. En estos casos es común encontrar altas dispersiones.

Referencias

[1] Jay L. Devore, PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA PARA INGENIERÍA Y CIENCIAS, 7a ed. CENGAGE Learning, 2008.

[2] Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers, y Keying Ye, Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, 8a ed. PEARSON, 2007. [En línea]. Disponible en: www.pearsoneducacion.net/walpole

[3] JCGM, “Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement Évaluation des données de mesure-Guide pour l’expression de l’incertitude de mesure”, 2008. [En línea]. Disponible en: www.bipm.org

[4] Richard L. Burden, Douglas J. Faires, y Annette M. Durden, ANÁLISIS NUMÉRICO, 10a ed. CENGAGE Learning, 2016. Consultado: el 16 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: //latinoamerica.cengage.com

[5] D. Peschel, D. Röske, y en nombre de muchos otros colegas no mencionados aquí, “Physikalisch-Technische Bundesanstalt Directriz DKD-R 10-8 Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas”, 2020, doi: 10.7795/550.20200825B.

[6] J. Committee for Guides in Metrology, “First edition 2008 Evaluation of measurement data-Supplement 1 to the ‘Guide to the expression of uncertainty in measurement’-Propagation of distributions using a Monte Carlo method Évaluation des données de mesure-Supplément 1 du ‘Guide pour l’expression de l’incertitude de mesure’-Propagation de distributions par une méthode de Monte Carlo”, 2008.

[7] W. Mora, INTERPOLACIÓN POLINOMIAL. con OOoBasic Y OOoCalc (VERSIÓN 1.0-AGOSTO 16, 2011.). Revista Digital Matemática, Educación e Internet, 2011. [En línea]. Disponible en: www.cidse.itcr.ac.cr/revistamate/

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Evaluación del impacto de los hábitos alimentarios en la salud y el bienestar de los profesionales de la salud en la Ciudad de Panamá, 2025: Protocolo de investigación

Montero, Eyleen
Hospital Santo Tomás
Ciudad de Panamá, Panamá
esaludnatural@gmail.com

Abstract

Introduction: Health professionals often face irregular working hours, high stress, and limited access to nutritious meals, leading to potentially unhealthy dietary behaviors. Despite their key role in promoting public health, little local evidence exists regarding their own nutritional habits and health outcomes.
Objectives: To evaluate the impact of dietary habits on health and well-being indicators among health professionals in Panama City during 2025, and to identify associations between specific nutritional practices and health risk markers.
Materials and Methods: This research protocol proposes a cross-sectional, descriptive pilot study involving active health professionals from public and private health institutions in Panama City. Data will be collected through validated self-administered questionnaires on dietary frequency and lifestyle patterns, complemented by biometric and clinical assessments (BMI, blood pressure, lipid profile). Statistical analyses will include descriptive and correlational methods to explore potential associations.
Expected Implications: The findings are expected to provide essential baseline data for understanding the relationship between diet and health status among this population. The results will guide the design of institutional policies and public health interventions aimed at promoting healthy eating behaviors and improving the overall well-being of health personnel in Panama.

Keywords: Dietary Habits, Health Professionals, Well-being, Panama City, Research Protocol.
Resumen

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

Los profesionales de la salud suelen enfrentarse a jornadas extensas, estrés laboral y acceso limitado a alimentos saludables, lo que puede derivar en hábitos alimentarios inadecuados. A pesar de su papel esencial en la promoción de la salud, existe escasa evidencia local sobre sus propias prácticas nutricionales y su impacto en la salud.

Objetivos: Evaluar el impacto de los hábitos alimentarios en los indicadores de salud y bienestar de los profesionales de la salud en la Ciudad de Panamá durante 2025, e identificar la relación entre determinadas prácticas nutricionales y marcadores de riesgo.

Materiales y Métodos: Este protocolo propone un estudio piloto de tipo transversal y descriptivo con la participación de profesionales de la salud activos en instituciones públicas y privadas de la Ciudad de Panamá. Se aplicarán cuestionarios validados de frecuencia y patrones alimentarios, junto con la toma de parámetros clínicos y biométricos (IMC, presión arterial, perfil lipídico). El análisis incluirá estadísticas descriptivas y correlacionales.

Implicaciones esperadas: Los resultados proporcionarán datos de referencia esenciales para comprender la relación entre la alimentación y la salud de este grupo. Esta evidencia servirá de base para diseñar políticas institucionales y estrategias de salud pública orientadas a mejorar los hábitos alimentarios y el bienestar del personal sanitario en Panamá.

Palabras clave: Hábitos alimentarios, Profesionales de la salud, Bienestar, Ciudad de Panamá, Protocolo de investigación.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el impacto negativo de los hábitos alimenticios inadecuados es una prevalencia en constante aumento, lo que conduce al desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como la obesidad y la diabetes tipo 2. Esta realidad afecta a la población sin distinción, y los profesionales de la salud no son una excepción. En Panamá, esta situación representa uno de los principales desafíos para la salud pública. Informes recientes indican una alta prevalencia de
sobrepeso en la población adulta, afectando aproximadamente al 73% según la FAO en 2023, y hasta un 90% de los panameños, con uno de cada cinco padeciendo obesidad, según datos de la Caja del Seguro Social (CSS). Estas cifras alarmantes generan una preocupación crucial sobre el autocuidado de los profesionales encargados de la salud poblacional.

En la Ciudad de Panamá, los profesionales de la salud experimentan altos niveles de estrés y agotamiento laboral, lo cual impacta negativamente su bienestar y, consecuentemente, sus hábitos alimenticios. Factores como la falta de tiempo, los turnos rotativos y la alta

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

presión laboral dificultan la selección y preparación de alimentos, llevando a un mayor consumo de opciones de fácil acceso, como productos procesados y ultra procesados, que son altamente calóricos y de baja calidad nutricional. El agotamiento laboral (burnout) ha sido identificado como un factor de riesgo significativo para el deterioro del bienestar físico y emocional, influyendo directamente en patrones alimentarios menos saludables. A pesar de la relevancia del tema, existe una notable carencia de estudios en Panamá que analicen de forma específica la influencia de estos hábitos en la salud física y mental del personal del sector salud en la Ciudad de Panamá.

El presente protocolo de investigación busca llenar este vacío informativo. Es fundamental que el bienestar de quienes cuidan a la población sea un pilar esencial para el buen funcionamiento del sistema de salud. El propósito de este protocolo es generar un aporte significativo al sector, facilitando la identificación de factores clave para el diseño de estrategias de intervención y políticas internas que promuevan la cultura de autocuidado entre los profesionales sanitarios. En este contexto, la investigación se propone: evaluar el impacto de los hábitos alimentarios en la salud y el bienestar de los profesionales de la salud que laboran en la Ciudad de Panamá en el año 2025, buscando proporcionar una visión clara y fundamentada que permita diseñar soluciones sostenibles para mejorar su calidad de vida y, por ende, fortalecer un sistema de salud más eficiente y humano.

2. MÉTODO

A. DISEÑO DEL ESTUDIO Y POBLACIÓN

Este protocolo se concibe como una investigación observacional, descriptiva y transversal, con un enfoque exploratorio orientado a caracterizar los hábitos alimentarios y el estado de salud de la población de interés en un momento específico.

La población objeto de estudio está conformada por profesionales de la salud de diversas áreas, incluyendo médicos, personal de enfermería, nutricionistas, técnicos en salud, fisioterapeutas y psicólogos, entre otros que laboran en el sector público y/o privado de la ciudad de panamá.

B. RECOLECCIÓN DE DATOS E INSTRUMENTO

La información se recolectará mediante una encuesta en línea autoadministrada a través de la herramienta google forms. este instrumento fue diseñado para abordar factores clave y variables específicas, garantizando eficiencia en la distribución y anonimato en las

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

respuestas. El cuestionario explora las siguientes dimensiones:
Variables sociodemográficas y laborales: recopilación de edad, sexo, profesión, años de experiencia y horas de trabajo semanal.
Estado nutricional: evaluación del índice de masa corporal (IMC) basado en el auto reporte de peso y talla.
Hábitos de vida: preguntas sobre frecuencia y calidad del consumo de alimentos, hidratación y tiempo dedicado a la alimentación.
Bienestar mental y físico: medición de los niveles de estrés y agotamiento laboral (burnout), así como la autopercepción del bienestar físico.

C. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y ANÁLISIS DE DATOS

La investigación se adhiere estrictamente a los lineamientos éticos para estudios en seres humanos, y su protocolo se encuentra actualmente en revisión por el comité de bioética Gorgas. Se garantizará la participación voluntaria, y se obtendrá el consentimiento informado electrónico de cada participante antes de acceder al cuestionario. Asimismo, se mantendrá la confidencialidad y anonimato de los datos, los cuales serán utilizados únicamente con fines de investigación.

para el análisis de los datos se empleará estadística descriptiva con el fin de caracterizar la muestra y las variables de estudio (frecuencias, porcentajes, medias y desviaciones estándar). Posteriormente, se aplicará estadística inferencial mediante pruebas de asociación, por ejemplo, chi-cuadrado o pruebas de correlación, para determinar relaciones significativas entre los hábitos alimentarios, el IMC, el estrés y el burnout.

El análisis estadístico se realizará utilizando el software IBM SPSS o una alternativa comparable.

3. RESULTADOS

A. RESULTADOS Y DISCUSIÓN (PROPUESTOS)

Fig. 1. Edad de los participantes (proyección de distribución esperada)

Se espera que la mayor proporción de profesionales de la salud participantes se concentre en el rango de edad de 25 a 34 años, dado que representa la etapa de mayor inserción laboral en el sector.

Fig. 2. Profesiones de los participantes (distribución esperada)

Se anticipa que la mayoría de los encuestados sean profesionales de la salud de diversas ramas.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig. 3. Rango de IMC (estimación esperada)

Se espera que la mayoría de los participantes presenten un IMC dentro del rango de normo peso (18,5–24,9 kg/m²), con una proporción menor de sobrepeso u obesidad, similar a lo reportado en estudios previos con profesionales de la salud en la región.

Objetivo 1. Se espera identificar una prevalencia moderada de sobrepeso y obesidad, con variaciones según la profesión y el tipo de turno laboral, tomando en referencia estudios previos relacionados.

Objetivo 3. Se anticipa una asociación significativa entre los hábitos alimentarios y el IMC, especialmente respecto al consumo de comidas rápidas y la frecuencia de las comidas principales.

Objetivo 4. Es probable que los profesionales de nutrición y enfermería demuestren una mayor conciencia sobre la importancia del control nutricional, en comparación con otras áreas. Esto tomando en cuenta su preparación académica en el área.

Objetivo 5. Se espera encontrar que los turnos rotativos se asocian con mayor desorganización alimentaria y menor tiempo de descanso.

Objetivo 6. Se proyecta que las estrategias de promoción de la salud laboral (pausas activas, comedores saludables, educación nutricional) podrían mejorar la percepción del bienestar físico y mental.

Objetivo 7. Se anticipa una relación positiva entre actividad física y alimentación saludable, con menor consumo de alimentos procesados entre quienes realizan ejercicio regularmente.

Objetivo 8. Se espera observar una relación entre los horarios de ingesta y el IMC, indicando que los patrones irregulares de comida pueden influir en el estado nutricional.

4. CONCLUSIONES

A partir de la revisión teórica y del diseño metodológico propuesto, se anticipa que los resultados de este estudio permitirán comprender mejor la relación entre los hábitos alimentarios, el estado nutricional y el bienestar físico y mental de los profesionales de la salud en la Ciudad de Panamá. Se espera que los hallazgos confirmen la influencia de factores laborales, como los turnos rotativos y la carga de trabajo, en la adopción de conductas alimentarias menos saludables y en la percepción del bienestar general.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

El desarrollo de esta investigación podría aportar evidencia útil para el diseño de estrategias institucionales orientadas a promover entornos laborales más saludables, fomentando la educación nutricional, la actividad física y la prevención del agotamiento profesional. Asimismo, los resultados esperados contribuirían a fortalecer las políticas de salud ocupacional y el bienestar del personal sanitario, favoreciendo tanto su desempeño como su calidad de vida.

Cabe resaltar que la recolección de datos se llevará a cabo únicamente tras la aprobación del Comité de Bioética correspondiente, garantizando el cumplimiento estricto de los principios éticos de confidencialidad, voluntariedad y respeto hacia los participantes.

Referencias

[1] C. A. Zamora Zamora and O. Moreno Martínez, "Prevalencia de obesidad en adultos en la República de Panamá: Una revisión sistemática," Gente Clave, vol. 8, no. 2, pp. 32–44, 2024. [En línea]. Disponible en: https://revistas.ulatina.edu.pa/index.php/genteclave/article/view/363. [Consultado: 14-abr-2025].

[2] Ministerio de Salud de la República de Panamá, "Nuevas estrategias buscan reducir la obesidad en Panamá," 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.minsa.gob.pa/noticia/nuevas-estrategias-buscan-reducir-la-obesidad-en-panama. [Consultado: 14-abr-2025].

[3] N. Tello, "En Panamá, 90% de los panameños padecen de sobrepeso," CSS Noticias, 4 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: https://prensa.css.gob.pa/2022/03/04/en-panama-90-de-los-panamenos-padecen-de-sobrepeso/. [Consultado: 14-abr-2025].

[4] Universidad de Panamá, "Título del artículo," s. f. [En línea]. Disponible en: https://launiversidad.up.ac.pa/node/3470. [Consultado: 14-abr-2025].

[5] M. A. Carrasquilla R., "El 70% de la población adulta en Panamá tiene obesidad o sobrepeso," La Estrella de Panamá, 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.laestrella.com.pa/vida-y-cultura/el-70-de-la-poblacion-adulta-en-panama-tiene-obesidad-o-sobrepeso-EE8503053. [Consultado: 14-abr-2025].

[6] R. Rodríguez and E. Pimentel, "El sobrepeso y la obesidad, fenómeno que afecta la economía del país," Plus Economía, vol. 5, no. 1, pp. 23–30, 2017. [En línea]. Disponible en: https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/pluseconomia/article/view/57/164. [Consultado: 14-abr-2025].

[7] World Health Organization (WHO), Obesity: Preventing and managing the global epidemic. Geneva: World Health Organization, 2020.

[8] G. A. Bray and G. Frühbeck, Obesity: Epidemiology, pathophysiology, and prevention. Cham: Springer, 2023.

[9] H. Zhang and D. Li, Obesity and its treatment: A global perspective. Amsterdam: Elsevier, 2023.

[10] J. L. Alvarez and J. Carrillo, Nutrition and mental health: The role of diet in psychological well-being. Cham: Springer, 2023.

[11] D. M. Kern and J. A. Day, Nutrition and lifestyle in the prevention of chronic diseases: Advances in dietary recommendations. Oxford: Wiley-Blackwell, 2024.

[12] S. Kahan and E. A. Finkelstein, Preventing and managing obesity: A public health approach. Oxford: Oxford University Press, 2023.

[13] B. A. Swinburn and G. Sacks, Public health and obesity: Strategies for improving global health.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Cambridge: Cambridge University Press, 2023.
[14] R. Micha and F. Cudhea, Global nutrition and health: Emerging issues and solutions. Cham: Springer Nature, 2024.
[15] J. D. Stookey and S. N. Bleich, The global epidemic of obesity: Public health interventions and solutions. New York: Routledge, 2023.
[16] J. M. Harris and M. A. Clark, Healthy living: Principles, habits, and practices for a balanced life. Cham: Springer, 2023.
[17] R. Sinha and J. W. Langenbucher, Promoting health through lifestyle changes: A practical guide to healthy eating, exercise, and stress management. Amsterdam: Elsevier, 2023.
[18] P. R. Davidson and M. R. McMillan, Integrative approaches to healthy living: Diet, exercise, and mental health. Oxford: Wiley, 2024.
[19] U. Lundberg and G. Johansson, Work stress and health: Managing stress in the workplace. Cambridge: Cambridge University Press, 2023.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Analysis of the impact of emerging technologies and Fab Labs on higher education

Ng Corrales, Lisbeth del Carmen
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0001-7811-4647

Hernandez Korner, Mario Enrique
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
https://orcid.org/0000-0003-1900-3351

Abstract

The Industry 4.0 movement, driven by emerging technologies, offers new opportunities for knowledge transfer, fostering innovation and entrepreneurship. Fab Labs, exemplify this trend by promoting collaboration between learners and experts. In Latin America, the Fab Lab phenomenon manifests in diverse ways, providing platforms for skill development and problem-solving across various sectors. This article evaluates the impact of emerging technologies and Fab Labs in higher education, with a specific focus on Central and South America. Data was gathered from the Fab Foundation, along with a selected sample of Fab Labs across the region. The analysis examined installations, areas, equipment, purpose, and fabrication spaces. This diversity found reflects how Fab Labs adapt to the unique needs of their communities, contributing to the development of technical skills and boosting localized innovation. An impact model was developed to describe the contribution of Fab Labs to innovation, education, and entrepreneurship in Latin America.

Keywords: Fab Lab, emerging technologies, higher education, STEAM, Latin America, education

Resumen

El movimiento de la Industria 4.0, impulsado por tecnologías emergentes, abre nuevas oportunidades para la transferencia de conocimiento, fomentando la innovación y el emprendimiento. Los Fab Labs representan esta tendencia al facilitar la colaboración entre aprendices y expertos. En América Latina, los Fab Labs se adaptan a las necesidades locales, ofreciendo plataformas para desarrollar habilidades y resolver problemas en diversos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

sectores. Este artículo analiza el impacto de las tecnologías emergentes y los Fab Labs en la educación superior, centrado en América Central y del Sur. Se recopilaron datos de la Fab Foundation y de una muestra de Fab Labs regionales, examinando instalaciones, áreas, equipamiento y propósitos. Los resultados reflejan cómo estas iniciativas impulsan el desarrollo técnico y la innovación local. Además, se diseñó un modelo de impacto para explicar su contribución a la innovación, la educación y el emprendimiento en la región.

Palabras claves: Fab Lab, tecnologías emergentes, educación superior, STEAM, Latinoamérica, educación.

1. INTRODUCTION

Various technological sectors like 3D printing, robotics, and electronics included in a digital fabrication environment are game-changing in education. According to the Fab Foundation, a Fab Lab is a digital fabrication laboratory, the educational outreach of MIT's Center for Bits and Atoms[1]. A Fab Lab comprises, among other things, a technical prototype platform for innovation and entrepreneurship. Learners and instructors have a safe space to play, create, and invent. Nowadays, there is a global network of Fab Labs based on an international cooperation program that is established in around 100 countries and 24 different time zones [1]. Fab Academy provides support in technical and research investigations for applications in digital fabrication as an educational and training path for the network. There is a basic configuration for a formerly Fab Lab established by the Fab Foundation. However, depending on the project budget and work line there were various FabLab configurations including the size of the equipment, technical capabilities, purpose, and fabrication areas. The objective of this article is to evaluate the impact of emerging technologies and Fab Labs in higher education, with a particular focus on Central and South America. It seeks to identify how these tools and digital fabrication spaces influence the teaching process and how they have been incorporated into the educational environment. Likewise, the article aims to explore, through a state-of-the-art, the distribution of Fab Labs in universities, schools, and independent institutions, as well as the sections and services they offer.

2. MATERIALS AND METHODS

A systematic literature review was performed using the PRISMA statement to evaluate the implementation of emerging technologies in Fab Labs and their impact. The database selected was SCOPUS [2] due to the relevance to the scientific community and accesibility. The following terms were used for the search "TITLE-ABS-KEY("Fab Lab" OR "FabLab") AND ("digital fabrication") AND ("University")". It returned 196 results, after applying exclusion criteria 30 results were obtained and analyzed. Moreover, information was collected from

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

the Fab Foundation database. The analysis is centered on Fab Labs from countries in Central and South America. Fab Labs in Latin American countries were considered relevant in terms of turnover, investment, and independent financial support obtained from its operation [3]. A representative sample of 25% of the Fab Labs in each country was randomly selected to obtain a detailed overview of the facilities and equipment available. Data on installations, areas, equipment, purpose, and fabrication space were collected and analyzed from this sample. The classification of Fab Labs follows criteria used in previous studies in the field [4], [5], though not limited to them.

3. RESULTS

In Central and South America there are approximately 363 Fab Labs distributed in 20 countries. The geographic distribution of Fab Labs shows a concentration in major cities and metropolitan areas, reflecting the need for these spaces in environments with higher population density and economic activity. Table 1 shows the top 10 countries with the largest number of Fab Labs. Brazil stands out with a total of 179 Fab Labs, representing 49% of the total in the region, followed by Peru with 46 (13%), Chile and Colombia with 22 (6%).

Table 2. Top 10 countries with the highest number of fab labs instalments

N	Country	# FabLab	Percentage	N	Country	# FabLab	Percentage
1	Brazil	179	49,31%	6	Ecuador	15	4,13%
2	Peru	46	12,67%	7	Costa Rica	12	3,31%
3	Chile	22	6,06%	8	Panama	8	2,20%
4	Colombia	22	6,06%	9	Guatemala	7	1,93%
5	Argentina	21	5,79%	10	El Salvador	6	1,65%

Source: Data extracted from the Fab Foundation, 2024

The presence of Fab Labs in countries such as Brazil, Peru, Chile, Colombia, and Argentina are influenced by factors including economic and technological development, supportive public policies on innovation and entrepreneurship, and educational and societal demand. A 25% sample of laboratories in each country was analyzed to assess services provided, with many Fab Labs operating within universities and schools for educational purposes. However, service availability varies depending on each lab's focus. University-based Fab Labs stand out for their strong technological infrastructure that supports early design and prototyping activities [6]. The most common services include 3D printing (100%), laser cutting (98%), CNC routing (92%), and electronics (85%), highlighting their importance in

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

digital manufacturing, rapid prototyping, and IoT-related projects. Other services such as vinyl cutting (40%), embroidery (16%), and stamping (4%) reflect applications in textiles and crafts, while emerging tools like 3D scanning and drones show increasing adoption (Figure 1).

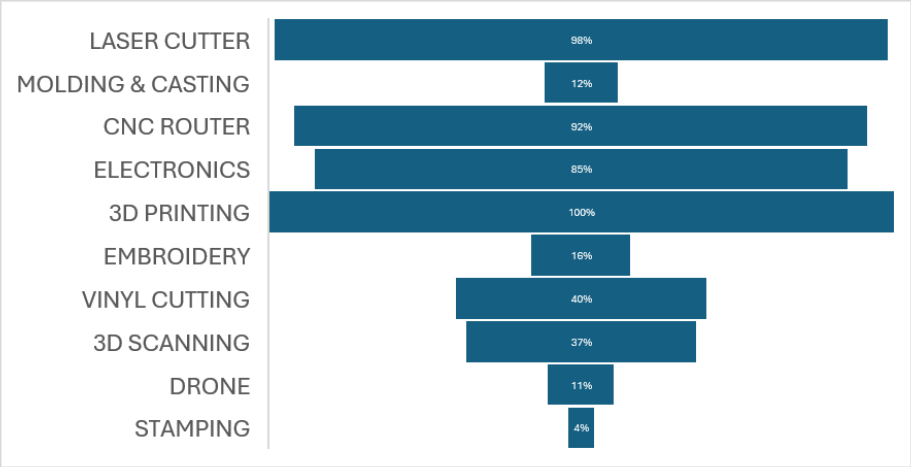


Figure 1. Sections and proportions between the Fab Lab examined. Sources: Data extracted from the Fab Foundation, 2024.

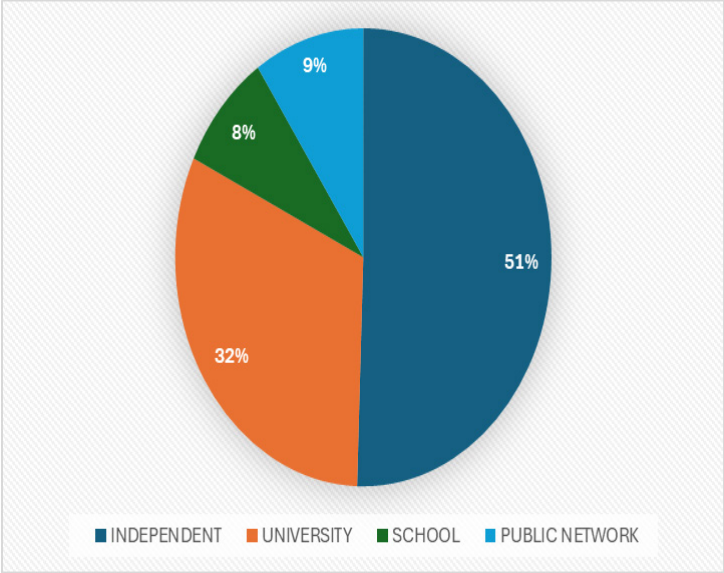


Figure 2. Percentage of Fab Labs by type of sponsoring institution. Source: Data extracted from the Fab Foundation, 2024

In Central and South America, Fab Labs play a vital role in higher education by fostering innovation and practical learning. Approximately 32% are sponsored by universities, 8% by schools, 51% operate independently, and 9% belong to public networks such as Brazil's (Figure 2). University Fab Labs promote research, technology transfer, and workforce training, while school-based labs enhance STEAM education. Independent and public Fab

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Labs contribute to social innovation, inclusion, and equitable access to technology across communities.

Generic model proposal for Fab Lab impact

Through the previously mentioned characteristics and the positive impact on knowledge transfer promoted by university-supported Fab Labs, we propose a generic model that illustrates the impact generated by a Fab Lab in these environments. Figure 3 shows a diagram that illustrates this model.

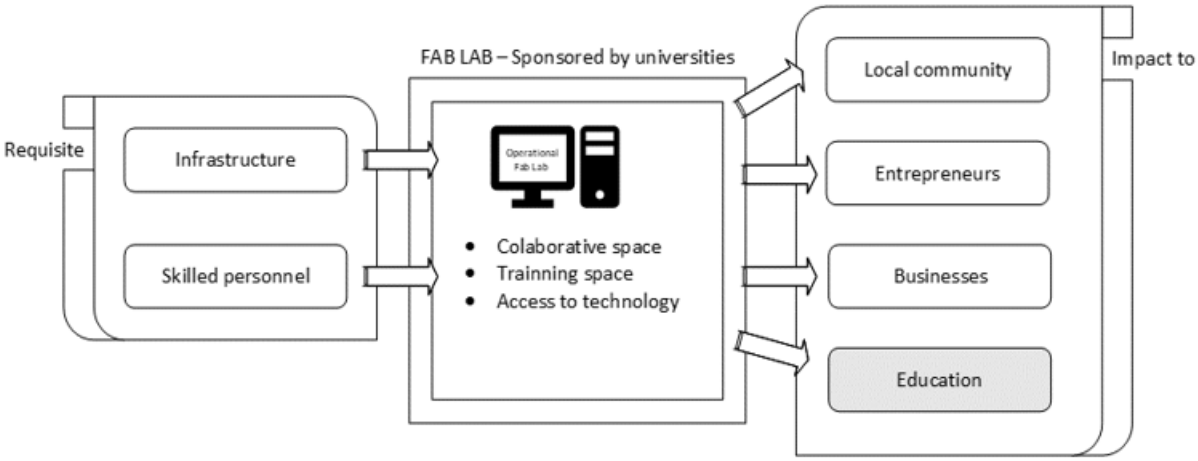


Figure 3. Generic diagram of the impact of university-supported Fab Lab

The model requires two inputs. The first one is the availability of an adequate infrastructure that includes both the physical space and the necessary equipment and tools. Concerning the physical space, it must be efficiently distributed, have adequate lighting, and ventilation to facilitate the development of collaborative activities. Although a FabLab requires minimal technological equipment, it is essential to consider the specific purpose of the laboratory to provide it with the equipment that meets that purpose. In a study performed by Ha Duc Ngoc et al. about the use of emerging technologies as educational tools in higher education. States that is important the participation and support of the institutional leaders [7] to obtain the infrastructure, necessary equipment, and encourage teachers in the use of these emerging technologies for education.

The second is to have human resources trained in the use of digital manufacturing technologies. It is necessary to have qualified personnel to coordinate the activities within the laboratory, specialized technicians to maintain and operate the equipment, as well as teachers to provide training to users.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

The primary objective of a university-promoted Fab Lab is to encourage activities such as collaborative spaces, hands-on learning, access to technologies, rapid prototyping, and R&D culture, as well as education and training for the entire student community. Additionally, advisory and consulting services can be offered to address community issues, promoting student participation in research.

Fab Labs produces a significant impact on education, which is reflected in companies, entrepreneurs, and the community. Businesses benefit from trained personnel and specialized services in product prototyping, design, and manufacturing. Similarly, entrepreneurs could prototype and design their products, in addition to having a collaborative space for managing their business ventures. Moreover, the community has a social benefit, gaining inclusion and access to technology, which can be used to solve community problems and improve the quality of life.

Finally, the proposed Fab Lab model effectively integrates the essential components of infrastructure, skilled human resources, and specialized services. By providing an environment that encourages collaboration, innovation, and technological development, Fab Labs not only enhances education and talent training, but also generates a positive impact on businesses, entrepreneurs, and the local community. This holistic approach ensures that the Fab Lab is a key tool for knowledge transfer, driving economic development, and social growth through inclusion and access to advanced technologies. In this way, Fab Labs consolidate themselves as catalysts for progress and sustainable development in their respective environments.

4. CONCLUSION

Fab Labs in Central and South America offers a wide range of services covering diverse digital manufacturing and technology education needs. The high prevalence of technologies such as 3D printing and laser cutters highlights their relevance and usefulness in the region. On the other hand, more specialized services such as embroidery, foundry, and drones suggest areas of growth and specialization in certain labs. The variability in the services offered reflects the adaptation of each FabLab to the specific needs and objectives of their communities, thus contributing to the development of technical skills and boosting local innovation.

Fab Labs are transforming higher education by providing students with access to advanced digital fabrication tools. These labs enable the practical application of theories, encouraging creativity and innovation. They also facilitate interdisciplinary collaboration, essential in training professionals capable of meeting the challenges of the 21st century [8].

With the highest number of Fab Labs in the region, Brazil has experienced a significant impact on its educational institutions. Several universities are integrating Fab Labs into their

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

engineering, architecture, and design programs, enhancing the educational experience, and preparing students for the job market. In addition, they are promoting the inclusion of these tools from early stages, allowing high school students to experience a maker environment in an integrated way with their curricular activities.

Fab Labs not only offers access to advanced tools but also provides a collaborative environment where individuals from diverse disciplines can work together on innovative, customized, and sustainable projects. Fab Labs have had a significant impact on various sectors, including business, local community, entrepreneurs, and education. This impact has driven economic growth, social inclusion, and the preparation of new generations to face the challenges of the future. These labs provide support through services such as rapid prototyping, innovation, talent training, access to technology, mentoring, and collaborative spaces, among others.

At a higher education level, it has demonstrated a positive impact on aspects such as: stimulating creativity and research, development of technical skills, collaborative and multidisciplinary work, problem-solving and critical thinking, preparation for the labor market.

The Fab Labs sponsored by higher education institutions is a growing trend that offers multiple benefits for students and institutions. It is important to continue promoting the creation and development of these spaces, ensuring their accessibility and the adequate training of teaching staff, which will be essential to maximize their educational potential and contribute to the sustainable development of the region.

The analysis of the impact of Fab Labs in university environments opens a range of possibilities for future studies that delve into various aspects of these initiatives and their transformative potential. It is suggested to evaluate the long-term impact of the use of Fab Labs on students learning, including their academic performance, transversal skills, employability, and professional development. A study may also be considered to analyze the role of Fab Labs in the development of an entrepreneurial ecosystem within universities, including the creation of startups, technology transfer, and innovation culture. Conducting these studies will allow optimizing the operation of these spaces, maximizing their transformative potential, and contributing to the integral development of universities and the surrounding communities.

References

[1] The Fab Foundation, “Getting Started with Fab Labs.” Accessed: Jul. 05, 2024. [Online]. Available: https://fabfoundation.org/getting-started/#fablabs-full

[2] A. Aghaei Chadegani et al., “A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases,” Asian Soc Sci, vol. 9, no. 5, pp. 18–26, 2013, doi: 10.5539/ass.v9n5p18.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[3] G. Santos, F. Murmura, and L. Bravi, “Fabrication laboratories: The development of new business models with new digital technologies,” Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 29, no. 8, pp. 1332–1357, 2018, doi: 10.1108/JMTM-03-2018-0072.
[4] M. Savastano, F. Bellini, F. D’Ascenzo, and E. Scornavacca, “FabLabs as Platforms for Digital Fabrication Services: A Literature Analysis,” in EXPLORING SERVICES SCIENCE, IESS 2017, Za, S and Dragoicea, M and Cavallari, M, Ed., in Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 279. GEWERBESTRASSE 11, CHAM, CH-6330, SWITZERLAND: SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING AG, 2017, pp. 24–37. doi: 10.1007/978-3-319-56925-3_3.
[5] M. E. García-Ruiz and F. J. Lena-Acebo, “FabLabs: The Road to Distributed and Sustainable Technological Training through Digital Manufacturing,” Sustainability (Switzerland), vol. 14, no. 7, 2022, doi: 10.3390/su14073938.
[6] V. J. Botleng, “Aligning cognitive processes with the design process in a University-based digital fabrication laboratory (Ub-Fablab) To cite this version : HAL Id : tel-02000670 DOCTEUR DE L ’ UNIVERSITÉ DE BORDEAUX Par Vomaranda Joy BOTLENG Aligning Cognitive process,” Theses, Université de Bordeaux, 2019. [Online]. Available: https://theses.hal.science/tel-02000670
[7] H. Ben Rejeb and B. Roussel, “Perspectives on the evolution of a fabrication laboratory in an emerging country: a comparative lexicometric study of European FabLabs,” Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 33, no. 2, pp. 399–422, 2022, doi: 10.1108/JMTM-01-2021-0007.
[8] L. Striukova and T. Rayna, “Fostering Skills for the 21st Century: The Role of Fab Labs and Makerspaces,” Academy of Management Proceedings, vol. 2019, no. 1, p. 16767, Aug. 2019, doi: 10.5465/AMBPP.2019.16767ABSTRACT.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

MESA REDONDA SOBRE EL CAMBIO DE PARADIGMA DENTRO DE LAS CIENCIAS DEL CONOCIMIENTO Y SU IMPORTANCIA PRACTICA EN LAS CIENCIAS JURIDICAS Y SOCIALES

COORDINADOR DE LA MESA REDONDA: Luis Antonio Toruño
MODERADORES DE LA MESA REDONDA: Prof. Víctor Hugo Chacón y Prof. Virginia Torres

Mesa 1

Toruño, Luis Antonio
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0005-1954-5910

Saavedra, Lenisel
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0002-4602-8597

Solano Ayarza, Elías Omar
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0000-1710-5659

Ivankovich L´Hoeste, Mónica Zulay
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0004-4724-5934

Lataste Vallarino, Akbar Khalil
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0005-5563-2106

Cornejo Madrigal, Natto
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0009-5948-4912

Rivera Mendoza, David Emanuel
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
dariveram@usma.com.pa

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tuñón Griffith, Reyes
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0001-6519-7823

Mesa 2

Ward Abrego, John Robert
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
jrwarda@usma.com.pa

Baloyes P., Leila
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
lbaloyesp@usma.com.pa
Quiel Carreira, Kathia Nadiuska
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0004-5888-3464

Montalvo D., Dinoska Y.
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
dmontalvod@usma.com.pa

Arias, David
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0008-2617-2608

Delgado, Darling
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0001-2696-5746

Núñez Cedeño, Manuel Alberto
USMA
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0008-9487-867x

Linton, José
Ciudad de Panamá, Panamá
0009-0006-3820-8183

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen Por Luis Antonio Toruño

Esta Mesa Redonda busca explorar, discutir y exponer cuáles son las investigaciones del Doctorado de la USMA con las que se plantea superar las inequidades y distorsiones en el Sistema Jurídico Panameño. Estas investigaciones tienen como base, el cambio del Paradigma Jurídico y la aplicación de nuevos criterios interpretativos o novedosos en cada área de investigación. La mesa permitirá intercambiar puntos con los que se pueda complementar cada una de las investigaciones en desarrollo.

Palabras claves: Epistemología, Antropología Jurídica, Filosofía del Derecho, Teoría del Estado, Derecho Constitucional.

ARGUMENTO Y MÉTODO:

Las investigaciones doctorales tienen como punto común el desarrollo de nuevo conocimiento jurídico con el que se pueda reflejar el "ethos" cultural del Panamá del siglo XXI. Esto conlleva realizar un giro hermenéutico en las Ciencias Sociales con el que se cambie el paradigma y los criterios interpretativos decimonónicos y se reemplace con nuevo métodos, paradigmas y esquemas de comprensión que nos ayuden como sociedad a superar los obstáculos que impiden el cumplimiento de los fines sociales del Estado, y nos lleven a una justicia actualizada y certera. Las investigaciones de la Mesa Redonda nos ayudan a visualizar cómo se pueden implementar nuevos criterios interpretativos.

Esta Mesa Redonda académica trajo a la palestra normas e instituciones jurídicas puntuales que deben implementarse para ayudar a la legitimidad, validez y eficacia del Sistema Jurídico Panameño como un todo. Se podrá explicar la coherencia, consistencia y completitud del sistema legal y sus necesidades, con el objetivo de comprender las causas, distorsiones e inequidades que serán superadas en cada una de las áreas de conocimiento jurídico, abarcadas en cada una de las investigaciones y tesis. En otras palabras, veremos en la práctica cómo cada indagación académica ayuda, mejora o implementa una nueva solución dentro de nuestro sistema jurídico, judicial y legal.

RETOS Y OPORTUNIDADES DEL CAMBIO DE PARADIGMA, APORTE DE CADA PARTICIPANTE

GRUPO I: DERECHOS FUNDAMENTALES

Akbar Lataste: aborda el tema de Responsabilidad médica en el Estado y daño moral. Señalando que, en el marco del Estado de derecho panameño, resulta imprescindible superar el iuspositivismo clásico. Utiliza al académico colombiano Carlos Bernal Pulido como referente para lograr este avance dentro de las ciencias jurídicas en Panamá. Se

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

plantea que la normatividad debe dialogar con la complejidad social. La propuesta concreta del investigador Akbar consiste en fortalecer un sistema de responsabilidad médica con compensación integral al afectado. Este aporte es crucial para Panamá porque asegura que la evolución jurídica no sea mera formalidad, sino un instrumento eficaz para proteger la dignidad humana y generar confianza en la inversión y la cohesión social.

Lenisell Saavedra: nos comenta sobre la dignidad humana y la de Reparación integral del daño moral a través de métodos alternos de solución de conflictos, más allá de la transacción judicial, señalando que, en el marco del Estado de derecho panameño, resulta imprescindible proteger a la persona de forma integral. Plantea una tabla de compensación con el que se reduce la discrecionalidad ante un daño moral y Menciona a Javier Tamayo Jaramillo como su base para lograr este avance. La propuesta concreta de Lenisell consiste en fortalecer un fondo estatal para reparación moral de modo que se tenga mayor certeza en la reparación del daño moral.

Elías Solano: interviene explicando como las Defensas legales y el abuso en la utilización de recursos legales en el proceso judicial es utilizado para pervertir el sistema legal y cómo son usados para demorarlas decisiones judiciales en casos de corrupción. Señala que, en el marco del Proceso Judicial panameño, resulta imprescindible llegar al iuspositivismo crítico de Ferrajoli. Solano enfatiza en fortalecer mecanismos procesales que sancionen el abuso de defensas dilatorias, de modo que se genere respuestas rápidas en los procesos judiciales con el debido respeto a las garantías constitucionales. Esto contribuye a la evolución jurídica y es un paso hacia adelante en la ciencia jurídica.

Mónica Ivankovich: sigue explicando la reducción de discrecionalidad desde el rango constitucional y señala que es necesario superar el el sistema actual de controles, a través de mejores relaciones entre los poderes del Estado. La propuesta concreta de Mónica Ivankovich consiste en fortalecer límites constitucionales claros que frenen arbitrariedades judiciales, de modo que el sistema legal se renueve con nuevas formas interpretativas que nos lleve a un desarrollo económico sostenible.

Luis Antonio Toruño: busca superar los Criterios interpretativos legales y constitucionales que limitan la Justicia y promueven la discrecionalidad en la toma de decisiones judiciales. Señala que estas prácticas interpretativas no permiten que el Derecho avance como ciencia y no brinda la protección de la dignidad humana ni de los derechos sociales. Explica cómo esto impacta negativamente en el desarrollo económico del país. A su vez, menciona los nuevos paradigmas jurídicos que podrían ayudar a mejorar esta realidad enfatizando en el paradigma discursivo de Habermas, en el paradigma consensual de Rawl y en el iuspositivismo crítico de Ferrajoli.

Nato Cornejo: nos expone que la implementación de medidas que protejan los derechos fundamentales ante casos de emergencias, epidemias o de pandemias a través de nuevas tecnologías con la que mantenga transparencia y eficacia del sistema legal. Explica con el

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

autor Robert Alexy como la ponderación de derechos logra esta finalidad. La propuesta concreta consiste en fortalecer la implementación de algoritmos transparentes para reducir la discrecionalidad estatal y se asegura de crear un instrumento legal efectivo para proteger la dignidad humana

David Rivera: toca el tema del deporte como derecho humano, señalando que en el marco constitucional es necesario establecer el deporte como un derecho efectivo de las personas. Esto implica que sea más que una política pública. En otras palabras, que el sistema legal reconozca el deporte como derecho fundamental con presupuesto garantizado y se logre una industrialización del mismo que genere nuevas formas de ingresos, nuevos puestos de trabajo e impuestos.

Reyes Tuñón: habla de la necesidad de una Constituyente para lograr eficacia del derecho y el desarrollo económico. Plantea que se requiere establecer de forma clara los contrapesos a los poderes constituidos y los poderes no constituidos como la prensa, etc, para lograr un verdadero Estado de Derecho en Panamá, para lograr que la economía de mercado funciones y nos lleve al primer mundo. Señala puntualmente los cambios en la Constitución y sus controles para fortalecer una Asamblea Constituyente que rediseñe los pesos y contrapesos constitucionales, de modo que se genere un equilibrio entre pesos y contrapesos constitucionales.

II GRUPO – Derecho Público / Privado

John Ward: nos toca el tema de Beneficiarios finales y responsabilidad de las personas jurídicas. Señala que, hay una necesidad urgente de establecer mejores controles jurídicos que permita llegar a la información de los beneficiarios finales. Nos habla del registro de beneficiarios finales y de nuevos instrumentos judiciales para lograr cumplir con la comunidad internacional. Esto nos permitiría salir de las listas negras y grises y nos llevaría hacia nuevas oportunidades de atracción de inversión en el foro nacional.

Leila Baloyes: siguiendo esta misma línea, profundiza el tema de las personas jurídicas y las sociedades anónimas y su desnaturalización. Nos dice que se debe actualizar la ley de sociedades o personas jurídicas desde su concepción, elementos constitutivos, derechos y obligaciones, así como su forma de conformarse y su forma de funcionamiento en el sistema legal y económico. Todo con el norte de llegar a una nueva concepción que llene los requisitos de la comunidad internacional y nos permita retomar, como país, nuestro sitio en esta industria.

Katia Quiel: aborda el tema de Corrupción privada y sus efectos. Recomienda individualizar cada una de las prácticas de corrupción y competencia desleal que impiden el Desarrollo económico y nos explica luego cómo combatir dichas formas de corrupción. Específicamente, toca las distorsiones o fallas del mercado que hay que superar y que dejan abierta las puertas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

a la corrupción, como los monopolios, oligopolios, monopsonio, carteles económicos y todas las prácticas que impiden el Desarrollo de una industria de primer mundo.

Dinoska Montalvo: por su parte, nos explica cómo la discrecionalidad del fiscal en derecho penal y de familia causa una discriminación hacia el hombre, a través del paradigma del Derecho del Enemigo entre hombre y mujer y cómo debe ser revalorada las formas de interpretación jurisdiccional que reduzcan esta discriminación. Menciona que Foucault nos recuerda que todo derecho también es un ejercicio de poder y que debe ser vigilado. Nos explica que esto debe realizarse dentro del marco del Debido Proceso que permita igualdad entre hombres y mujeres.

David Arias: nos habla del tema de Defensa legal en la jurisdicción de niñez y adolescencia, en donde pretende mejoras en los conceptos o criterios que se utilizan para la escogencia del defensor del niño. Busca un análisis cualitativo y cuantitativo del defensor del niño para llegar a establecer mejoras en jurisdicción juvenil que genere una protección integral de los menores en los procesos judiciales de la jurisdicción de niñez y adolescencia en la república de Panamá. Este estudio permitirá que se actualicen las formas interpretativas de las normas de niñez y adolescencia y debe generar nuevos controles que permitan una mayor protección de los menores en riesgo social.

Darling Delgado: siguiendo el marco del Derecho Administrativo o Derecho Penitenciario, nos habla de la discrecionalidad en las Juntas de Resocialización y de la responsabilidad del Estado de llegar a esta resocialización del individuo privado de libertad. Plantea la necesidad de mejora en los instrumentos de control de las salidas, una actualización de los criterios sociológicos para llegar a otorgar permisos de salidas de los centros penitenciarios y busca que estos nuevos paradigmas jurídicos reduzcan las discrecionalidades. Nos ofrece nuevos criterios de rotaciones de estas juntas de resocialización y desarrolla un marco de requisitos a cumplir para ser miembro de estás juntas de resocialización.

Manuel Nuñez: desarrolla sobre el Derecho de Minas y todo un nuevo marco regulatorio que permita un Desarrollo de la actividad minera con los controles adecuados para la conservación de la naturaleza y la protección a los derechos humanos. Este nuevo marco regulatorio tendrá un impacto en el desarrollo de la actividad minera y establece una serie de medidas de reparación del daño ecológico y de la conservación de las fuentes hídricas. A su vez, toca el tema de los presupuestos legales para los contratos y cuáles son los puntos necesarios en las servidumbres y en las concesiones mineras.

José Linton: presenta el tema de Responsabilidad estatal en servidumbres eléctricas. Busca establecer todo un nuevo marco regulatorio del derecho real de la servidumbre y las obligaciones de las mismas para con la comunidad y el Estado. Esto permite nuevas oportunidades para el desarrollo de las comunidades rurales, se enfoca en la protección de los derechos individuales e implementa nuevos controles que potencian el desarrollo económico.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

DATOS ABIERTOS:

a. El cambio de Paradigma es una herramienta y una finalidad a la vez. Requiere de datos y de mucha información de las instituciones y de los expertos de cada área.
b. El estudio del sistema legal y de las instituciones jurídicas a través de la recolección de datos y de intercambios de experiencia permite el desarrollo del Derecho como ciencia y es un conocimiento técnico que requiere la utilización de datos específicos.
c. La Ciencia es un instrumento para la transformación del sistema legal con el que se podría llegar a superar la incertidumbre en las decisiones jurídicas.
d. Es necesario compartir estos hallazgos para reducir los tiempos en los procesos judiciales con el fin de llegar a una sentencia de forma rápida.
e. El cambio de paradigma busca a su vez minimizar decisiones injustas o la desprotección de los más vulnerables en la sociedad.
f. En la Universidad Santa María la Antigua, un grupo de reconocidos juristas presentó algo que podría ser el punto de quiebre para un sistema legal que no ha sido eficaz a muchos panameños: la aplicación de las ciencias jurídicas como disciplina científica real, con el mismo rigor y método que usan los científicos para estudiar cualquier otro fenómeno. Es revolucionario.

DIFICULTADES:

a. Durante años, hemos aceptado como inevitable que los casos se estanquen sin explicación, que la ley se interprete de forma diferente según quién sea su juez, que el sistema proteja mejor a los poderosos que a los ciudadanos comunes, y que la "justicia" sea, en realidad, un acto de fe.
b. En Panamá, hay resistencia en aplicar el Derecho con una visión científica. Se ignora que puede aplicarse la misma precisión, transparencia y metodología que cualquier ciencia.
c. Muchos expertos jurídicos no aceptan el rigor científico en las ciencias jurídicas, y esto causa que la ley se vuelve discrecional.
d. Muchos expertos no aceptan el cambio de paradigma y viven resignados a sentencias inconsistentes e injustas.
e. Los académicos del Derecho en Panamá ignoran la Gnoseología, la Epistemología y la Filosofía del Derecho, y esto impide la certeza en las decisiones judiciales que afectan a la comunidad.
f. Sobreviven en el sistema legal panameño rastros del Historicismo, de la jurisprudencia de intereses, de la escuela libre de derecho y del iuspositivismo clásico, que mantienen alejado al derecho de la rigurosidad científica necesaria para lograr establecer una verdadera economía de mercado y estado de derecho real.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ACCIONES CONCRETAS:

a. Nuevos marcos regulatorios en materia de Derecho de Minas y de servidumbres.
b. Superar el concepto de sustracción de materia, tal como se utiliza hoy en el sistema legal.
c. Invocar el Derecho Humano siempre contra una norma jurídica.
d. Adicionar criterios de interpretacion constitucionales que protejan el derecho individual.
e. Propugnar una Constituyente que se enfoque en los controles al poder y en los contrapesos necesarios para que el engranaje estatal logre cumplir los objetivos para el desarrollo económico nacional.
f. Establecer comunicaciones con los operadores judiciales con el fin de que utilicen estas nuevas formas interpretativas.
g. Difundir masivamente la erradicación de cualquier forma interpretativa que cause la desprotección de los derechos individuales y de los derechos humanos.
h. Organizar foros de debate sobre la importancia de ver el Derecho como una ciencia.
i. Propagar la idea de que El Derecho está íntimamente ligado a la justicia real y efectiva. Hay que abandona la idea de que el proceso legal no tiene relación con la justicia.
j. Las propuestas presentadas son el inicio de algo más grande: construir una justicia basada en evidencia, no en favores; en método, no en conexiones; en ciencia, no en arbitrariedad. Esta es la Justicia que Panamá necesita. Esta es la Justicia que ahora es posible.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Sistema de visualización exacta en la medición de trazos en cintas métricas

González, Elia
Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Panamá, Panamá
egonzalez@cenamep.org
ORCID ID: 0009-0007-6557-2818

Quezada, Katherine
Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Panamá, Panamá
kquezada@cenamep.org
ORCID ID: 0009-0009-8433-7316

Abstract

In metrology, the calibration of measuring tapes is important for accurately and precisely determining the length associated with this instrument. At CENAMEP AIP, this process was performed manually with a digital camera, where the metrologist visually identified the center of each mark. Although this method was effective, it required several hours of work and was susceptible to human variation. This project seeks to reduce calibration time and improve repeatability by automating the detection of the center of the mark. To this end, a Python program was developed that evolved from ideal image processing to real-time operation at CENAMEP AIP's Secondary Interferometry Laboratory. The system, based on OpenCV, applies Gaussian filtering, inverse thresholding, and morphology to segment the traces, detect contours, and calculate the centers using bounding rectangles. As a result, it generates a processed image with the centers marked, allowing for faster analysis. This tool represents a step toward automating the calibration process, improving efficiency in metrology laboratories.

Keywords: Calibration, measuring tapes, laser interferometer, image processing, Python.

Resumen

En metrología, la calibración de cintas métricas es importante para determinar con exactitud y precisión la longitud asociada a este instrumento. En el CENAMEP AIP este proceso se realizaba manualmente con una cámara digital, donde el metrólogo identificaba

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

visualmente el centro de cada trazo. Aunque este método era efectivo, requería varias horas de trabajo y era susceptible a variaciones humanas. Este proyecto busca reducir el tiempo de calibración y mejorar la repetibilidad mediante la automatización en la detección del centro del trazo. Para ello, se desarrolló un programa en Python que evolucionó desde el procesamiento de imágenes ideales hasta operar en tiempo real en el Laboratorio Secundario de Interferometría del CENAMEP AIP. El sistema, basado en OpenCV, aplica filtrado gaussiano, umbralización inversa y morfología para segmentar los trazos, detectar contornos y calcular los centros mediante rectángulos delimitadores. Como resultado, genera una imagen procesada con los centros marcados, permitiendo un análisis más rápido. Esta herramienta representa un avance hacia la automatización del proceso de calibración, mejorando la eficiencia en los laboratorios de metrología.

Palabras claves: Calibración, cintas métricas, interferómetro láser, procesamiento de imágenes, Python.

1. INTRODUCCIÓN

La calibración de instrumentos de longitud, como las cintas métricas, es un componente esencial en los procesos de aseguramiento metrológico que respaldan la industria, la investigación y el comercio. Estos instrumentos poseen marcas o trazos distribuidos a lo largo de su superficie, cuyos centros deben ser identificados con exactitud para determinar el error de indicación en cada punto [1].

En el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) este procedimiento se realiza tradicionalmente mediante una cámara acoplada a un sistema de desplazamiento, el cual se mueve a lo largo de la cinta para medir distintos puntos [2, 3]. El metrólogo inspecciona visualmente cada trazo, localiza el centro y transfiere la lectura del interferómetro a una hoja de cálculo, repitiendo este proceso a lo largo de toda la cinta. Si bien este método es efectivo, presenta limitaciones inherentes al juicio visual humano y demanda largos tiempos de operación, especialmente en cintas de varios metros. Estas limitaciones motivaron el desarrollo de herramientas computacionales que permitan automatizar la detección del centro de los trazos.

En este proyecto, el objetivo fue desarrollar un programa en Python capaz de identificar automáticamente los centros de trazos de una cinta métrica utilizando una cámara CCD, basado en técnicas de procesamiento de imágenes con la biblioteca OpenCV, con el fin de establecer una metodología de medición exacta y confiable. El software evolucionó desde un entorno controlado, utilizando una imagen ideal y simétrica, hasta procesar imágenes

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

reales capturadas por la cámara del Laboratorio Secundario de Interferometría y constituye un paso hacia la automatización del proceso tradicional, facilitando la reproducibilidad, minimizando errores y reduciendo el tiempo de las calibraciones [4].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Hardware

En el Laboratorio Secundario de Interferometría se encuentran disponibles los siguientes instrumentos de medición:

- Cámara CCD de la marca FLIR: utilizada para observar los trazos a lo largo de la cinta métrica.
- Cinta métrica de alta exactitud: equipo bajo calibración utilizado durante las pruebas.
- Computadora con el programa en Python para la detección del centro del trazo.
- Interferómetro laser: patrón de referencia utilizado para realizar las mediciones.

Software

- Las librerías y programas utilizadas para la creación del programa:
- Python versión 3.11: lenguaje de programación utilizado.
- OpenCV (cv2): utilizado para el procesamiento que incluye filtrado, segmentación y detección de contornos.
- NumPy: librería para las operaciones matriciales de los filtros.
- PySide6: librería para el diseño y desarrollo de la interfaz gráfica.
- PySpin: librería para la captura en tiempo real desde la cámara.

Flujo del algoritmo desarrollado

- **Captura de imagen:** ocurre desde la cámara en tiempo real.
- **Preprocesamiento:** se convierte la imagen capturada a escala de grises, pasa por un filtro gaussiano y ocurre la binarización inversa para ver los trazos blancos sobre un fondo oscuro.
- **Segmentación:** se realizan las operaciones morfológicas con kernel y se detectan los contornos externos de los trazos de la cinta métrica.
- **Cálculo del centro del trazo:** se dibuja un rectángulo delimitador de color azul sobre los contornos de los trazos, se calcula su centro geométrico y se visualiza con una línea verde.
- **Cálculo de distancia entre trazos:** se miden las distancias en pixeles entre cada uno de los centros y se marcan con flechas magenta.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

- **Visualización:** permite al usuario observar los contornos resaltados, centros marcados, flechas y distancias. Además, permite guardar una captura de la imagen resultante.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de este programa atravesó varias etapas consecutivas, cada una diseñada para incrementar el nivel de complejidad de las imágenes a analizar. Este enfoque permitió validar de manera progresiva la robustez y eficacia del algoritmo antes de su integración con la cámara.

Etapa 1: Detección del centro del trazo en una imagen ideal

Durante la primera fase del proyecto se utilizó una imagen ideal, limpia, simétrica y sin ruido, tal como muestra en la Figura 1. El algoritmo fue desarrollado para identificar los contornos y el centro del trazo, estableciendo la estructura base del programa y ofreciendo una referencia visual para comparar con los resultados de las etapas posteriores.

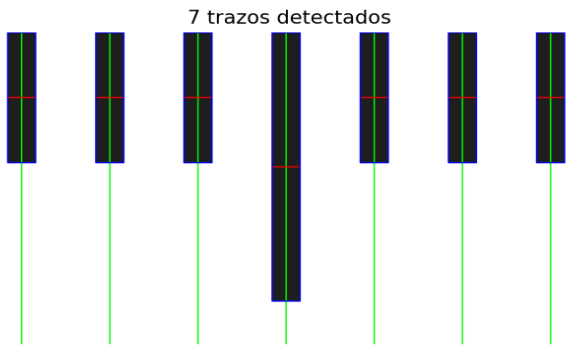


Figura 1. Imagen ideal utilizada en la primera versión del algoritmo.

Etapa 2: Imagen burda con ruido

La segunda etapa consistió en adaptar el algoritmo para analizar una imagen burda, de baja calidad y bordes irregulares. En esta fase se empleó una cinta métrica de menor exactitud, cuyos trazos carecen de simetría. Como se observa en la Figura 2, los principales retos fueron las sombras y variaciones bruscas de intensidad en diferentes puntos de la imagen. Por esta razón, fue necesario ajustar el valor del filtro gaussiano para lograr un mayor nivel de suavizado, así como modificar los parámetros morfológicos para asegurar un funcionamiento adecuado.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

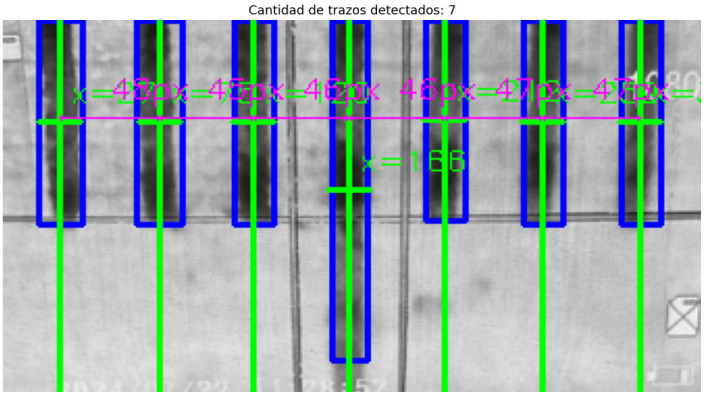


Figura 2. Imagen real con ruido utilizada para una prueba intermedia.

Etapa 3: Imagen capturada en el laboratorio

En esta etapa, se utilizó una imagen que fue capturada de la vieja cámara digital del Laboratorio Secundario de Interferometría. Esta imagen presentó ruido real, incluyendo: reflejos metálicos, iluminación irregular y trazos con desgaste real. Además, requirió cambiar el kernel morfológico, los umbrales, filtros gaussiano y bilateral para mejorar la estabilidad de los contornos. En la Figura 3, se muestra la detección del centro de los trazos en estas condiciones. A su vez, se estableció la configuración base para las siguientes fases en condiciones reales.

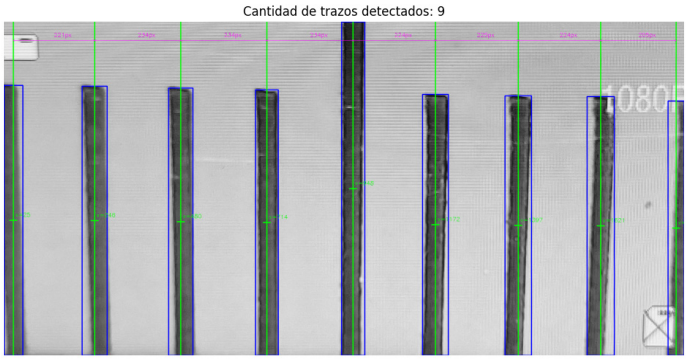


Figura 3. Imagen captada en el laboratorio.

Etapa 4: Detección en video en el laboratorio secundario de interferometría

Se adaptó el algoritmo de imágenes estáticas para que procesara un video capturado en el laboratorio. En esta etapa se introdujeron retos como: vibraciones al tomar el video, movimiento de la cinta, desenfoques temporales y fluctuaciones de brillo. En la Figura 4, se evidencia una detección parcial ante movimiento, demostrando que el sistema podría manejar un análisis en datos continuos de los trazos que detecte.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

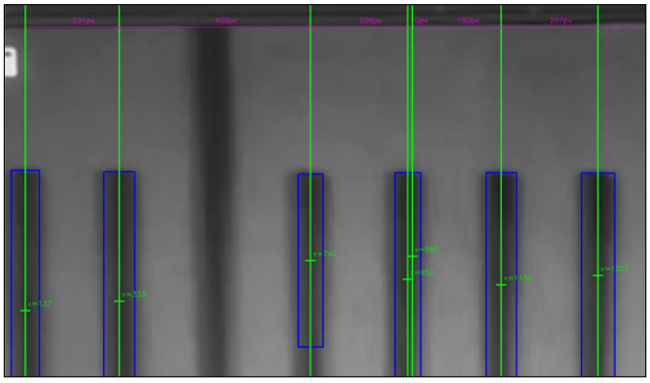


Figura 4. Fotograma del video para validar detección con movimiento

Etapa 5: Funcionamiento con cámara CCD en tiempo real

Durante la etapa final se integró el programa creado con una cámara CCD mediante la librería PySpin. En la Figura 5 se muestra el sistema implementado, capaz de procesar imágenes en tiempo real. Asimismo, se incorporaron parámetros ajustables desde la interfaz gráfica, sin necesidad de modificar el código. Esta versión final permitió detectar variaciones mínimas en la posición del centro ante el movimiento y operar de manera estable en tiempo real.

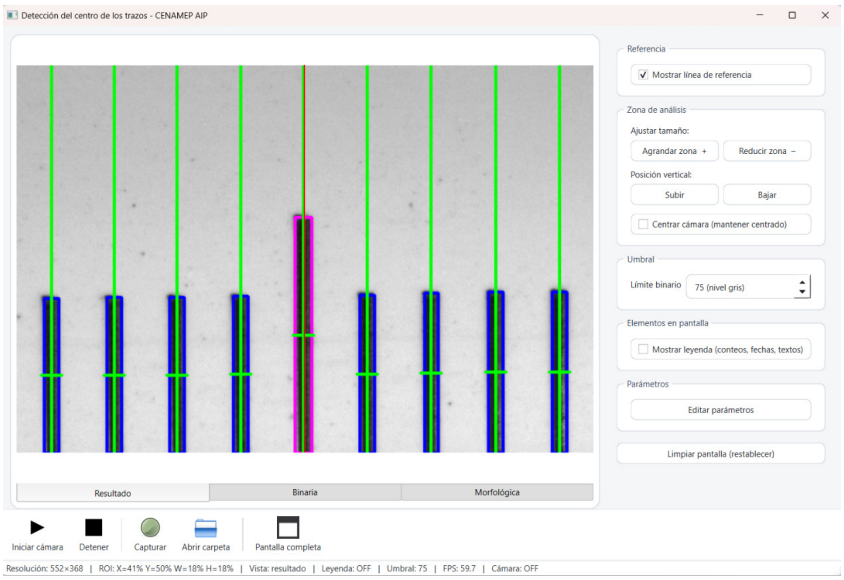


Figura 5. Programa final con la cámara en tiempo real en la interfaz gráfica.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

El proyecto cumplió el objetivo de implementar un sistema en Python capaz de detectar de manera automática los centros de los trazos en cintas métricas. El sistema evolucionó desde pruebas con imágenes ideales hasta alcanzar un funcionamiento robusto en tiempo real mediante su integración con la cámara CCD. La combinación de filtros, umbralización y operaciones morfológicas permitió obtener detecciones consistentes, reduciendo la subjetividad inherente al método manual utilizado previamente por el metrólogo.

La interfaz desarrollada en PySide6 facilitó la modificación de los parámetros de procesamiento y permitió visualizar de forma clara las detecciones mediante superposiciones como contornos, centros y líneas. Además, el sistema demostró estabilidad durante su operación continua y contribuyó a disminuir el tiempo de calibración. Como futuras mejoras, se propone integrar el registro automático sincronizado con las lecturas del interferómetro láser y añadir una función de marcado en tiempo real que permita registrar puntos directamente sobre la imagen al momento de cada medición.

Referencias

[1] P. J. de Groot, “A review of selected topics in interferometric optical metrology”, Rep. Prog. Phys., vol. 82, n.º 5, p. 056101. Abril de 2019.

[2] J. García-Márquez, N. Alcalá, M. Montoya, C. Pérez, M. Gutiérrez, and J. Moya, “Calibración de un interferómetro Fizeau: cálculo de incertidumbres,” Revista Mexicana de Física, vol. 51, no. 1, pp. 114–120. Febrero de 2005.

[3] G. Silva Pineda and L. Ferrer Argote, “Interferometría láser y análisis de incertidumbres aplicados en vibraciones mecánicas,” in VI Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Colima, México, Oct. 2000

[4] C. Galván and H. González, “Sistema interferométrico para la calibración de reglas graduadas mediante un sistema de visión,” in Simposio de Metrología 2004, Querétaro, México. Octubre de 2004.

Agradecimientos

Este proyecto fue posible gracias al apoyo del Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), a través de su Programa de Pasantías Metrológicas – Ciclo 2025 a 2026. Se agradece y reconoce el cofinanciamiento de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), mediante el Contrato de Subsidio Económico DDCCT N.º 144-2024 suscrito entre la SENACYT y el CENAMEP AIP. Se agradece a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), por la orientación académica brindada.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en acceso abierto (open access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en este artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Automatización del sistema de ajuste del menisco en instrumentos volumétricos de vidrio en el CENAMEP AIP

Núñez, Marta
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
mnunez@cenamep.org.pa y ORCID: 0009-0009-3351-655X

Espinosa, Eyleen
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
eespinosa@cenamep.org.pa y ORCID: 0000-0001-9407-1237

Espinosa, Johanna
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
jespinosa@cenamep.org.pa y ORCID: 0000-0001-7131-6692

Abstract

The Secondary Volume Laboratory at CENAMEP AIP uses the gravimetric method for the calibration of glassware volumetric instruments. In this process, the meniscus adjustment represents the main source of uncertainty. As part of an internship program, an automated system based on the use of microcontrollers and computer vision techniques was developed, with the aim of optimising the method to reduce the error margin. The system is applicable to flasks ranging from 50 mL to 500 mL. For its development, a model was trained to detect the gauge line and the lower edge of the meniscus. The results led to the creation of a program capable of operating in real time. In conclusion, this project represents a significant advance in improving the accuracy of the measurement process, reducing errors and upgrading volumetric measurements, with potential for replication in other laboratories, impacting industrial and scientific research sectors.

Keywords: Capacity, calibration, Python, neural network, computer vision.

Resumen

El Laboratorio Secundario de Volumen del CENAMEP AIP utiliza el método gravimétrico para la calibración de instrumentos volumétricos de vidrio. En este proceso, el ajuste del menisco representa la principal fuente de incertidumbre. Como parte de un programa de pasantías,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

se desarrolló un sistema automatizado basado en el uso de microcontroladores y técnicas de visión artificial, con el objetivo de optimizar el método para reducir el margen de error. El sistema es aplicable a matraces de 50 mL hasta 500 mL. Para su desarrollo, se entrenó un modelo para detectar la línea de aforo y el borde inferior del menisco. Los resultados implicaron la creación de un programa capaz de operar en tiempo real. En conclusión, este proyecto representa un avance significativo en la mejora de la exactitud del proceso de medición, reducción de errores y la modernización de las mediciones volumétricas, con potencial de replicación en otros laboratorios impactando en sectores industriales y de investigación científica.

Palabras claves: Aforo, calibración, Python, red neuronal, visión artificial.

1. INTRODUCCIÓN

El método gravimétrico constituye el procedimiento de mayor exactitud en la calibración de instrumentos volumétricos de vidrio [1], ya que permite alcanzar las menores incertidumbres posibles en la medición de volúmenes. Dentro de este proceso, el error por ajuste del menisco representa la principal fuente de incertidumbre [2] con hasta un 70 % de la incertidumbre total. El menisco es la curvatura que se forma en la superficie del agua cuando entra en contacto con las paredes del instrumento.

En el Laboratorio Secundario de Volumen en Cristalería del Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP), el ajuste del menisco se realiza mediante técnicas tradicionales, es decir, de manera visual con apoyo de una lupa. Este procedimiento, aunque aceptado y utilizado en la mayoría de los laboratorios de calibración; y, el sector industrial y de investigación científica del país y la región, constituye una de las principales limitaciones del método, ya que depende de la habilidad del operador y afecta tanto la repetibilidad como la eficiencia de la medición.

Con el propósito de atender esta problemática y fortalecer las capacidades metrológicas nacionales en el área de volumen, se desarrolló un sistema automatizado de visión y control de llenado y vaciado orientado a optimizar el sistema de ajuste del menisco. Este sistema integrado es aplicable específicamente a la calibración de matraces volumétricos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

La automatización del sistema de ajuste del menisco se desarrolló mediante la integración de hardware y software para alinear tangencialmente el borde inferior del menisco con el

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

borde superior de la línea de aforo. Para ello se emplearon equipos electrónicos como: una microcomputadora Raspberry Pi 4, una pantalla táctil de 5” como contraste y una cámara IMX500 compatible con la Raspberry Pi.

Para el sistema de control de llenado y vaciado se implementó un controlador L298N junto a un motor reductor. En la Fig. 1 se presentan los equipos y materiales utilizados para el desarrollo de ambos sistemas. Además, las pruebas se realizaron utilizando matraces volumétricos con capacidades nominales de 50 mL, 100 mL, 250 mL y 500 mL.

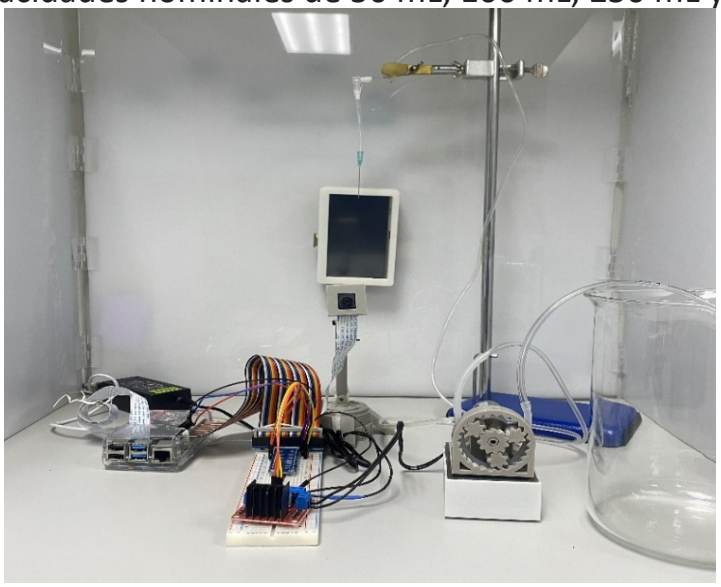


Fig. 1. Prototipo de una estación de ajuste del menisco para matraces.

B. Métodos

La automatización se ejecutó en dos etapas: desarrollo del sistema de visión y desarrollo del sistema de llenado y vaciado. Para programar el código fuente se utilizó el software Python (3.11) [3], por ser de acceso libre y ofrecer alta capacidad de procesamiento. Además, se utilizaron librerías de visión artificial como YOLOv11 para el entrenamiento del modelo [4], mientras que para el control de llenado y vaciado se realizó con la librería Rpi.GPIO. Para la ejecución del sistema de visión se realizaron los pasos descritos en la Fig. 2. Una vez programados ambos sistemas, se procedió con la integración de ambos en una interfaz gráfica utilizando la librería PySide6, de manera tal que se posibilite el funcionamiento de todo el sistema integrado.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

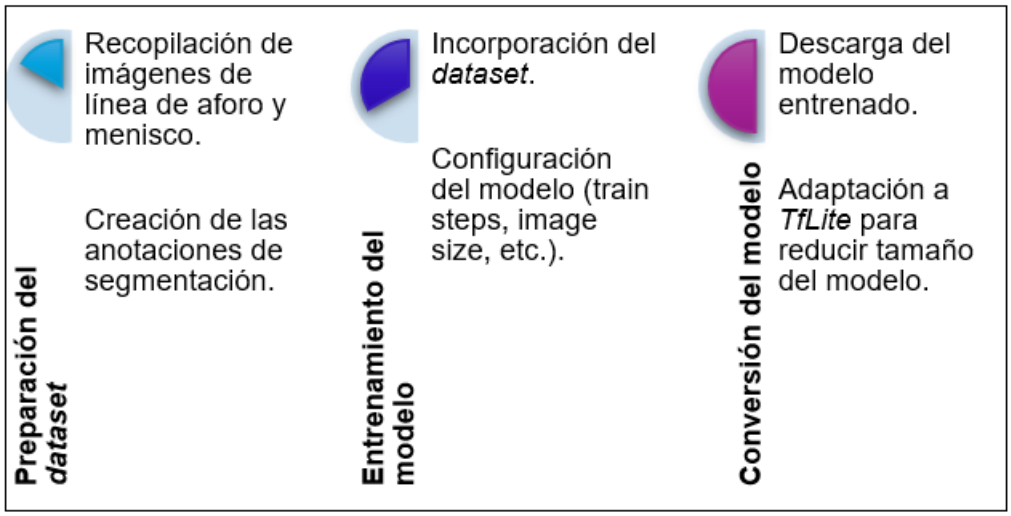


Fig. 2. Proceso de construcción del sistema de visión artificial.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Funcionamiento del sistema integrado

A. Para el correcto funcionamiento del sistema fue fundamental realizar un entrenamiento del modelo adecuado. En la Tabla 1 se presentan algunos parámetros obtenidos durante este proceso para evaluar y validar la efectividad del modelo.

Tabla 1. Parámetros obtenidos durante el entrenamiento.

Parámetros	Modelo de segmentación
Librería utilizada	YOLOv11
Tamaño del *dataset* (imágenes)	482
Precisión promedio alcanzada (mAP@50) (%)	70
Pasos	252
Tiempo de entrenamiento (h)	1

La integración de ambos sistemas permite la detección y segmentación, así como el llenado y vaciado del matraz hasta la alineación tangencial del menisco con la línea de aforo. En la Fig. 3 (a) se presentan los resultados obtenidos en tiempo real con la cámara de Raspberry Pi, donde se observa un nivel de segmentación con precisión de 44 % para la línea de aforo y de 84 % para el menisco. Estos resultados se acercan al esquema ideal del modelo, considerando las variaciones existentes debido a la toma de datos en tiempo real.

En la Fig. 3 (b) se presenta la interfaz gráfica en funcionamiento durante el ajuste del menisco en un matraz de 50 mL.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

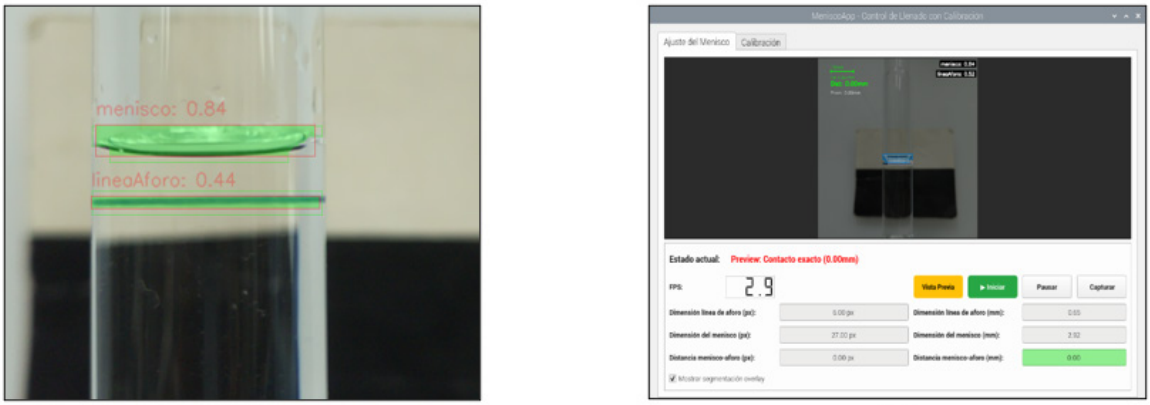


Fig. 3. Resultados obtenidos en cuanto a la segmentación del menisco y línea de aforo. (a) Segmentación del modelo en tiempo real. (b) Interfaz gráfica en funcionamiento.

En este sentido, la Tabla 2 muestra los resultados promedios de la segmentación del menisco y línea de aforo, para cada uno de los matraces ensayados los cuales fueron impresos por la interfaz.

Tabla 2. **Dimensiones de la caja delimitadora de la segmentación.**

Parámetro	Volumen Nominal del Matraz			
	50 mL	100 mL	250 mL	500 mL
Segmentación del menisco (mm)	2.89	3.18	2.67	3.65
Segmentación de línea de aforo (mm)	0.69	0.63	0.63	0.71

B. Diseño de interfaz gráfica

Finalmente, se diseñó una interfaz gráfica para la visualización en tiempo real de los diferentes parámetros involucrados y así, permitir a los metrólogos en el CENAMEP AIP controlar el sistema de manera simplificada y sencilla. En este sentido, en la Fig. 4 se muestra la interfaz gráfica creada con botones capaces de controlar funciones de inicio, pausa, captura y salida del sistema de ajuste automatizado. A su vez, dicha interfaz permite imprimir las dimensiones de las cajas delimitadoras de la línea de aforo y bordes del menisco a través de medidas en pixeles, así como su correspondiente conversión a mm.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

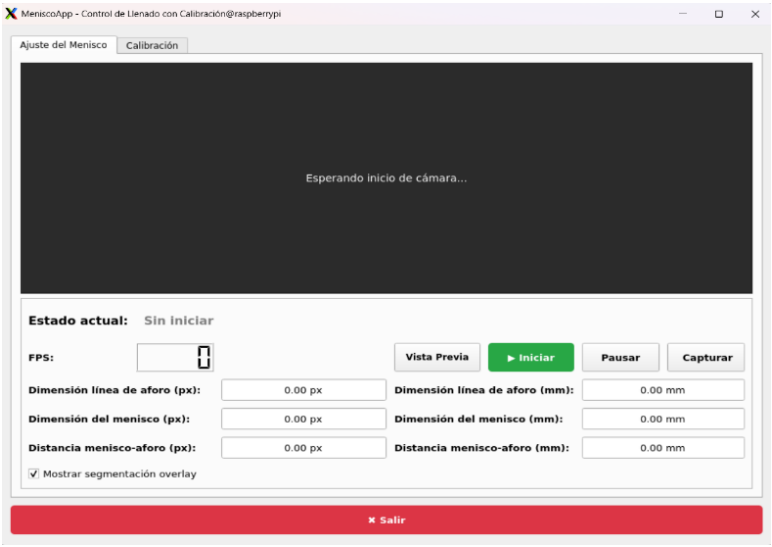


Fig. 4. Interfaz gráfica para controlar el sistema de ajuste del menisco.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema automatizado para el ajuste del menisco en la calibración de matraces volumétricos representa un avance significativo en las mediciones que se realizan en el CENAMEP AIP y por consiguiente en el país. Este enfoque reduce el contacto directo con el instrumento, evitando alteraciones de temperatura que afectan el volumen. También, permite optimizar los tiempos de calibración y mejorar significativamente la precisión al disminuir errores de paralaje.

Los datos que proporciona la interfaz gráfica creada, con respecto a las delimitaciones de la línea de aforo y del menisco, serán datos claves para la posterior validación del sistema y su implementación en el sistema de calidad del servicio de calibración de matraces de vidrio. Durante las pruebas realizadas, estas delimitaciones proporcionadas por el sistema automatizado son comparables con las delimitaciones medidas en el laboratorio de forma manual. Esto último muestra la funcionalidad adecuada del sistema y por consiguiente, la optimización del método de medición.

Se prevé la replicabilidad de este sistema automatizado en distintos laboratorios secundarios del país que realizan mediciones volumétricas, así como en otros Institutos Nacionales de Metrología (INM), con el fin de optimizar sus procesos. Por último, este proyecto sienta las bases para el desarrollo de un sistema de medición volumétrica totalmente automatizado que integre el registro de datos de los equipos que se utilizan para llevar a cabo la calibración.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] ISO 4787. Laboratory glass and plastic ware - Volumetric instruments - Methods for testing of Capacity and for use. Third Edition, 2021-11.
[2] E. Espinosa. Volume in glass instruments: study of the normality using the Montecarlo Method. NCSL International / CPEM Workshop & Symposium, Denver, Colorado USA. 2024. https://ncsli.org/store/viewproduct.aspx?id=24414105.
[3] Python Software Foundation, “Python Programming Language”, Python.org. URL. https://www.python.org/.
[4] Ultralytics, YOLO11 Tutorial [Cuaderno de Google Colab], Reino Unido, 2025. URL. https://colab.research.google.com/github/ultralytics/blog/main/examples/tutorial.ipynb.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENAYT, Panamá) por cofinanciar el “Programa de Pasantías Metrológicas - Ciclo 2025 a 2026” (Contrato de Subsidio Económico DDCCT No. 144-2024), que permitió llevar a cabo este proyecto. Asimismo, se agradece al CENAMEP AIP y a la Universidad Tecnológica de Panamá por su apoyo técnico y científico en la ejecución de este proyecto.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en acceso abierto (open access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en este artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Medición de las tasas de infiltración en los suelos de la microcuenca de la quebrada La Zanguenga (Canal de Panamá)

Vergara, Falconeris
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
falconeris.vergara@utp.ac.pa
https://orcid.org/0009-0002-5081-2704

Arcia, Manuel
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de La Chorrera, Panamá
manuel.arcia@utp.ac.pa
https://orcid.org/0000-0003-4229-0846

Esquivel-López, Alexander
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
alexander.esquivel@utp.ac.pa
https://orcid.org/0000-0003-4782-1335

Abstract

The study of water infiltration in soils is essential for understanding water dynamics and their impact on natural resource management. The micro-watershed of La Zanguenga Creek, located in western Panama, is home to various agricultural activities that can influence infiltration variability. This study seeks to compare three in situ measurement methods: the Mini Disk, the Turf-Tec, and the double ring infiltrometer.

The study considers soil characteristics, land use (agriculture, livestock, forest), and spatial variability. Seventeen strategic monitoring points have been selected, with sampling carried out on scheduled tours twice a month for one year. Measurements will be adjusted according to each piece of equipment's manuals, ensuring replicability and accuracy of the data.

The methodology includes the collection of preliminary information, the digging of test pits for soil characterization, and statistical analysis of the results. Tools such as Excel and OriginPro will be used for data processing and the generation of graphs to visualize trends. In addition, a map with infiltration rate isolines will be created, providing valuable

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

information for producers and water resource managers in the region.
The results obtained for the different types of land use indicate that the highest infiltration rates occur in forests due to their structure, while the lowest rates to date are found in soils used for grazing, with values ranging from 0.3188 cm/min to 0.0003 cm/min, respectively.

Keywords: Infiltration, Infiltration Rates, Infiltrometer, Micro-basin, Land Use.

Resumen

El estudio de la infiltración del agua en suelos es esencial para comprender la dinámica hídrica y su impacto en la gestión de recursos naturales. La microcuenca de la quebrada La Zanguenga, ubicada en Panamá Oeste, presenta diversas actividades agropecuarias que pueden influir en la variabilidad de la infiltración. Este trabajo busca comparar tres métodos de medición in situ: el Mini Disk, el Turf-Tec y el infiltrómetro de doble anillo.
El estudio considera las características del suelo, el tipo de uso (agricultura, ganadería, bosque) y la variabilidad espacial. Se han seleccionado 17 puntos de monitoreo estratégicos, con muestreos realizados en giras programadas dos veces al mes durante un año. Las mediciones se ajustarán a los manuales de cada equipo, garantizando replicabilidad y precisión en los datos.
La metodología incluye la recopilación de información previa, el levantamiento de calicatas para la caracterización del suelo y el análisis estadístico de los resultados. Se utilizarán herramientas como Excel y OriginPro para el procesamiento de datos y la generación de gráficos que permitan visualizar tendencias. Además, se confeccionará un mapa con isolíneas de tasas de infiltración, proporcionando información valiosa para productores y gestores de recursos hídricos en la región.
Los resultados obtenidos en los diferentes tipos de uso de suelo nos indican que las mayores tasas de infiltración se presentan en los bosques debido a su estructura y las tasas más bajas hasta el momento la presentan los suelos utilizados al pastoreo donde se presentan valores desde 0.3188 cm/min hasta 0.0003 cm/min respectivamente.

Palabras claves: Infiltración, Tasas de infiltración, Infiltrómetro, Microcuenca, Uso del Suelo.

1. INTRODUCCIÓN

La infiltración es una etapa clave dentro del ciclo hidrológico, definida como el ingreso del agua al perfil del suelo mediante la acción de la gravedad o por mecanismos capilares. Esta capacidad está determinada por características físicas del suelo, tales como el contenido de materia orgánica, la porosidad, la densidad aparente, además de factores climáticos y ambientales como el volumen de precipitación (mm) [1].

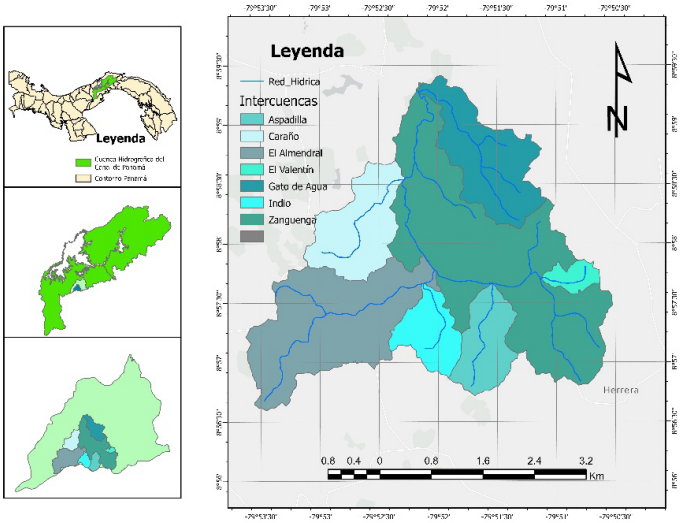
https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

El estudio de la infiltración del agua en el suelo resulta esencial para la planificación estratégica de las actividades agropecuarias. Permite diseñar sistemas productivos sostenibles, optimizar el uso del agua, mejorar el drenaje, prevenir la erosión y reducir la contaminación de cuerpos hídricos [2],[3].

Se seleccionaron sitios de muestreo en función de los diferentes tipos de uso del suelo, abarcando zonas de bosque, agrícolas, urbanas y áreas con vegetación densa. Esta estrategia permitió analizar la influencia de las propiedades del suelo y las prácticas de manejo sobre el comportamiento infiltrativo. En cada punto se emplearon instrumentos específicos según las características del terreno: los infiltrómetros doble anillo y turf tec fueron utilizados en superficies desnudas o con escasa cobertura vegetal para medir la infiltración bajo saturación; el Mini Disk se aplicó en suelos colocando una pequeña cama de arena, facilitando mediciones rápidas y eficientes.

El área de estudio corresponde a la microcuenca de la quebrada La Zanguenga, localizada en el corregimiento de Herrera, al noroeste del distrito de La Chorrera, provincia de Panamá Oeste. Esta microcuenca forma parte de la subcuenca del río Caño Quebrado, dentro de la cuenca No.115 del río Chagres, que pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP). Su superficie total es de 172.37 km², abarcando seis corregimientos: Amador, Mendoza, Iturralde, Hurtado, Herrera y La Represa [4].

Fig.1 Ubicación del área de estudio.



https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MÉTODO

A. Doble Anillos

Determinan la capacidad de infiltración del agua en el suelo de forma sencilla, expresando la tasa como volumen de agua por unidad de tiempo y superficie. Se aplica a la mayoría de los suelos, excepto aquellos con exceso de piedras o raíces grandes. La capacidad de infiltración disminuye con el tiempo a medida que el suelo se satura, hasta estabilizarse cerca del valor de la conductividad hidráulica saturada. Se mide la velocidad de infiltración del agua dentro de un anillo metálico insertado en el suelo, rodeado por un anillo exterior lleno de agua que evita la expansión lateral del flujo [5].

B. Mini Disk

Funciona midiendo la disminución del nivel de agua dentro del equipo, lo que refleja el avance de la infiltración. Su principal característica es la capacidad de mantener constante la tensión aplicada, permitiendo mediciones bajo succión o tensión negativa. Para su uso, se llenan dos cámaras con agua, se sellan herméticamente, y se coloca verticalmente sobre el suelo. Se emplea un anillo de plástico de 2 mm de grosor relleno de arena para asegurar un buen contacto hidráulico entre el infiltrómetro y el suelo [6].

C. Turf Tec

Es una herramienta eficaz para medir la velocidad de infiltración del agua en el suelo, de manera rápida y precisa, útil para determinar cómo el agua fluye a través del césped y el suelo. Se puede utilizar en: Agricultura, Paisajismo, Proyectos de construcción e Investigaciones ambientales. Determina la tasa de infiltración en tan solo quince (15) minutos y también permite correlacionar el tiempo de riego con la tasa de infiltración del césped [7].

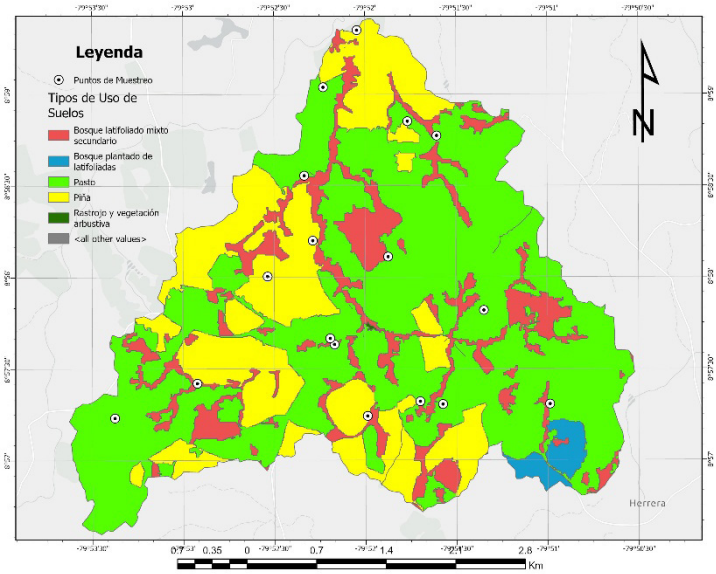
3. RESULTADOS

A. Tipos de uso de suelos

Los puntos de muestreos fueron seleccionados dependiendo de los tipos de uso de suelo, los mismos fueron: pastura, cultivos de piña y bosques secundarios los cuales se observan en el siguiente mapa.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig.2 Ubicación de los sitios de muestreo por tipo de uso de suelo.



B. Comparación de Resultados.

Tabla 1. Tasa de Infiltración (cm/min).

Uso de suelo	Tasa de Infiltración (cm/min) Mini Disk	Tuf Tec	Doble Anillos
Bosque	0.3592	0.1957	0.3188
Piña	0.1353	0.1768	0.0033
Pastura	0.0305	0.0725	0.0003

Tabla 2. Clases de infiltración

Velocidad de Infiltración (cm/min)	Clase de Infiltración
> 0.8467	Muy Rápida
0.2540 – 0.8467	Rápida
0.08467 – 0.254	Moderadamente Rápida
0.0254 – 0.08467	Moderada
0.00847 – 0.0254	Moderadamente lenta
0.00254 – 0.00847	Lenta
0.0000635 – 0.00254	Muy lenta
< 0.0000635	Impermeable

Fuente [8].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

En las áreas de pastura se evidencian signos de deterioro físico, probablemente asociados al pisoteo del ganado o a un manejo intensivo, lo que disminuye notablemente la capacidad de infiltración.

Los suelos de bosque y piña, medidos con Mini Disk y Turf Tec, se ubican dentro del rango de infiltración moderada o ligeramente superior, lo que indica un buen drenaje natural.

Los valores obtenidos por el método de Doble Anillos en piña y pastura se clasifican como muy lentos, mostrando una baja capacidad de absorción del agua.

El bosque, en cambio, mantiene una infiltración mucho más eficiente en todos los métodos, lo que demuestra su función en la regulación hídrica y recarga de acuíferos.

Referencias

[1] L. V. Hernández Saldaña y D. A. Meneses Padilla, “Patrones de infiltración de agua en suelos de uso forestal, pecuario y agrícola en Málaga Santander”, Tesis, Universidad Industrial de Santander, Málaga, 2024. Consultado: el 11 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/8354066a-54e4-4333-901c-d5189717f14a/contentJ. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.

[2] E. P. AMANCHA VERA, “DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS BASADOS EN LA METODOLOGÍA DEL INFILTRÓMETRO DE MINI DISCO EN LA ZONA DE YANAHURCO, NAPO.”, TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO , UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR , QUITO, 2015. Consultado: el 11 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: file:///C:/Users/hp%20430%20g8/Downloads/T-UCE-0004-05.pdfS. M. Gómez Aparicio y V. Y. Ortiz Espinosa, “MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y CÁLCULO DEL CAUDAL SÓLIDO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA ZANGUENGA (ÁREA PIÑERA)”, Tesis, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2025.

[3] A. Navarro Bravo, B. Figueroa Sandoval, V. M. Ordaz Chaparro, y F. V. González Cossio, “EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE LA ESTRUCTURA DEL SUELO, LA GERMINACION Y EL DESARROLLO DEL MAIZ Y FRIJOL ”, Chapingo, pp. 61–69, 2000. Consultado: el 11 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/573/57318107.pdY. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].

[4] S. M. Gómez Aparicio y V. Y. Ortiz Espinosa, “MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y CÁLCULO DEL CAUDAL SÓLIDO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA ZANGUENGA (ÁREA PIÑERA)”, Tesis, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2025.

[5] S. Ibañez Asensio, H. Moreno Ramón, y J. M. Blanquer, “CARACTERÍSTICAS DEL INFITRÓMETRO DE DOBLE ANILLO (ANILLOS DE MUNZ)”, Valencia. Consultado: el 13 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/6e362130-6edf-4567-8daf-785fe5159e02/content

[6] Br. R. A. Enríquez Juárez y O. A. Orozco Gómez, “CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN DIFERENTES

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

SUELOS DEL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DE LOS REMATES", UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA , Managua, 2011. Consultado: el 13 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.una.edu.ni/2173/1/tnp33e59c.pdf

[7] R. Bragado, "Infiltrometro portátil. Tiloom", Infiltrometro portátil. Tiloom. Consultado: el 13 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.tiloom.com/producto/infiltrometro-portatil/

[8] U.S. Department of Agriculture, Soil infiltration rate classification table, USDA, 1999.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Caracterización de Mediciones al Femtosegundo en el Análisis de Patrones Atómicos

Solís Betancur, Raúl Fernando
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID 0000-0003-1043-4294

Abstract

Time and frequency references are fundamental to synchronization in telecommunications systems, electrical power generation and transmission, testing and calibration laboratories, and for maintaining the time based on Coordinated Universal Time (UTC). These systems exhibit variability of a couple of picoseconds per month. Therefore, it is crucial to perform measurements below these ranges to ensure accurate information on the performance of these systems. Our main objective is to demonstrate the progress that CENAMEP has made in improving its femtosecond-level measurement capabilities to adequately characterize atomic clocks and the time transfer systems used in remote calibrations employing GPS locally. For this purpose, the methodology includes presenting the laboratory work that has developed in terms of improving measurement capabilities, using time interval measurement systems and phase difference measurement systems by the double-mixing method, with their associated uncertainties, including characterization of cable delay, the accuracy of the measurement systems used, and the reference signals employed. As a result, we show the measurements made in the characterizations of the atomic clocks and the GPS receivers, with which we conclude that we have measurement capabilities with uncertainties inherent to the measurement system in the femtoseconds.

Keywords: UTC(CNMP), calibration, atomic clocks, metrology, uncertainty.

Resumen

Las referencias de tiempo y frecuencia son fundamentales en la sincronización en sistemas de telecomunicaciones, en la producción y transmisión de la energía eléctrica, en los laboratorios de ensayo y calibración y para el mantenimiento de la hora basada en el Tiempo Universal Coordinado (UTC). Estos sistemas tienen variabilidades un par de picosegundos al mes. Por ello es de suma importancia realizar mediciones por debajo de esos rangos, para asegurar la correcta información del desenvolvimiento de estos sistemas. Por ello,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

nuestro objetivo principal es mostrar los avances que ha tenido el CENAMEP en mejorar sus capacidades de medición al nivel del femtosegundo para poder caracterizar adecuadamente relojes atómicos de manera local y los sistemas de transferencia de tiempo empleados en la realización de calibraciones remotas empleando GPS. Para ello, la metodología incluye la realización de los trabajos que el laboratorio desarrolló en términos de mejoras en las capacidades de medición, empleando sistemas de medición de intervalos de tiempo y sistemas de medición de diferencia de fase por el método de doble mezclado, con sus incertidumbres asociadas, incluyendo caracterización de retraso de los cables, la exactitud de los sistemas de medida empleados y las señales de referencia utilizadas. Como resultado mostramos las mediciones realizadas en las caracterizaciones de los relojes atómicos y el receptor GPS, con la cual concluimos tener capacidades de medición con incertidumbres propias del sistema de medición en los femtosegundos.

Palabras claves: UTC(CNMP), calibración, relojes atómicos, metrología, incertidumbre.

1. INTRODUCCIÓN

Las referencias de tiempo y frecuencia vienen de distinto origen (cuarzo, rubidio, cesio y hasta ópticos) y tienen dispersiones muy variadas, en las cuales algunas van desde ±1E-9 Hz/Hz hasta valores de ±1E-14 Hz/Hz, lo que se traduce en variaciones de tiempo de nanosegundos por día hasta décimas de picosegundo al mes. Por ello, para una buena caracterización del desempeño de estas referencias, es de suma importancia realizar mediciones por debajo de esos rangos y con sus ventanas de observación empleadas, para obtener la correcta información del desenvolvimiento de estos sistemas, que son los corazones de nuestra tecnología actual.

Por ello, y como parte del deber del Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) de ser el custodio de los patrones nacionales de medida, se desarrolló una serie de trabajos por el Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia (LPTF), encargado de la realización y el mantenimiento del UTC(CNMP), para mejorar sus capacidades de medición al nivel del femtosegundo, con el propósito de poder caracterizar adecuadamente referencias de tiempo y frecuencia de manera local y caracterizar sistemas de transferencia de tiempo empleando GPS adecuadamente, que son también empleados en la realización de calibraciones remotas. También se busca con las actividades desarrolladas robustecer las capacidades técnicas y abrir el espacio de nuevas Capacidades de Medición y Calibración [1] para cuando la industria y los entes de regulación lo necesiten.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MÉTODO

El proceso de caracterizar sistemas de referencia en Metrología de Tiempo y Frecuencia (MTF) conlleva a analizar cada uno de los sistemas involucrados para identificar sus errores sistemáticos y sus variabilidades, en diferentes ventanas de observación. Por ello se debe analizar los equipos que miden como los equipos de referencia, con aproximaciones parecidas (mediciones de tiempo o de frecuencia) pero tomando en cuenta los elementos fundamentales de cada sistema analizado.

A. Análisis del equipamiento involucrado

Los sistemas empleados para validar que las mediciones son correctas, son los que se ha conocido sus variaciones (tanto en su repetibilidad como en su reproducibilidad) en corto, mediano y largo plazo. Estos equipos de referencia son los siguientes:

- Reloj Atómico (RA, Microchip 5071A): Es un Patrón Atómico de Tiempo y Frecuencia de Cesio 133 de desempeño estándar bien caracterizado (más de 10 años de mediciones).
- Generador de Desvíos de Fase (GDF, SpectraDynamics HROG-10RM): Este es un sistema que, en base a la señal de referencia de un Reloj Atómico, genera señales de igual estabilidad que el Reloj Atómico de referencia, pero que puede modificarse sus salidas de frecuencia y fase sin afectar la estabilidad o predictibilidad del Reloj Atómico (según fabricante: ajustes de fase de 24E-17 s y de frecuencia de 5E-19 Hz/Hz).
- Oscilador Disciplinado por GPS (GPSDO, Microchip S650): Es una referencia de tiempo y frecuencia que su exactitud depende del arreglo de oscilador interno y las señales GPS.

El conjunto del RA y el GDF generan el UTC(CNMP) que tienen estabilidades de ±6E-14 Hz/Hz por día hasta ±2E-14 Hz/Hz en 5 días. Los equipamientos de medición por lo regular son de muy buena exactitud, pero elementos generales como: conexiones, cables, condiciones ambientales, manipulación y método de medición pueden afectar su desempeño. Por ello, se caracterizará los sistemas empleados para realizar las mediciones los cuales son:

- MMS (Multichannel Measurement System, Timming Solutions TSC 12030-110): Sistema que usa la técnica de doble mezclado de frecuencia para obtener la diferencia de tiempo entre señales senoidales.
- MTC (Multichannel Time Counter, PikTime MTC108): Sistema que emplea un contador de intervalos de tiempo para obtener la diferencia de tiempo entre señales pulsantes.

El MMS emplea dos señales de 10 MHz para aplicar la técnica de doble mezclado de señales (la de referencia y la bajo caracterización), con la que se pueden conseguir resoluciones con un valor de 1E-15 Hz/Hz desde ventanas de observación de 1 segundo. Mientras que el MTC emplea un sistema de medición de diferencia de tiempo mediante un contador de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

intervalos de tiempo (señal de inicio de referencia y señal de parada bajo caracterización), con lo que se pueden lograr resoluciones de hasta 1E-15 s, pero en ventanas de observación arriba de 150 segundos. Para caracterizar ambos sistemas y los cables que los conectan, emplearemos las señales de referencia del mismo RA y el GDF.

B. Proceso de caracterización

Para realizar el proceso de caracterización de las medidas al femtosegundo (mostrado en la Figura 1), primero se realizaron los procesos de caracterización y ajuste de tanto el MMS como el MTC. Esto con el objetivo de tener el sistema afinado para realizar después mediciones durante 12 meses (ventanas de observación desde 1 segundo hasta 2 592 000 segundos o 30 días [2]). Para ello, se realizaron los siguientes pasos: I) Se caracterizan los cables empleados tanto para medir como transferir señales empleando contadores, MMS y MTC. II) Se caracteriza las mediciones el MMS y el MTC, empleando el GDF y los RA. III) Se repite el paso I y II de manera iterativa hasta que se eliminen todos los retrasos y errores sistemáticos. IV) Se valida las mediciones empleando un RA (el más estable y con menos pendiente de corrimiento de tiempo) y el GPSDO. V) Se transfieren las exactitudes a las mediciones del laboratorio. VI) Se transfieren las nuevas exactitudes a todos los servicios que dependen del LPTF.

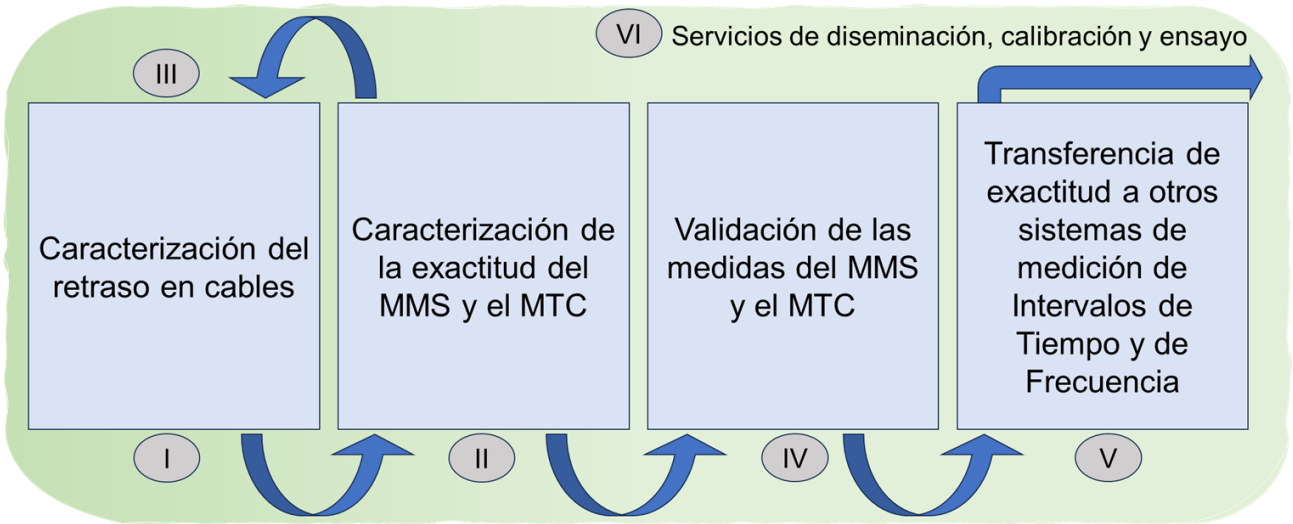


Figura 1. Proceso de establecer más mediciones al nivel del femtosegundo y su transferencia a los demás sistemas dentro de los laboratorios de MTF.

3. RESULTADOS

Con respecto a la caracterización de los retrasos en los cables, se lograron mediciones de retrasos de cables con dispersiones de aproximadamente ±3E-15 s, todo esto tomando un

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

dato cada 300 segundos y tomando 10 datos por cada cable. Estos resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores resultantes de la caracterización de los cables empleados para realizar las mediciones.

Cable	Tipo de conector	Cantidad	Retraso (ns)
Empleados para conectar los RA y el MMS y el MTC	SMA – SMA	5	10,034 325
Empleado para conectar el GDF al MMS y MTC	SMA – SMA	1	54,627 394
Empleado para conectar el RA al GDF	SMA – SMA	1	7,500 189
Empleado para conectar el GPSDO	BNC – BNC	1	19,106 894

Una vez se tenía los cables caracterizados, se procede a encontrar los valores de exactitud encontrados para cada equipo, el cual se obtiene al combinarlos cuadráticamente con los valores de dispersión del análisis de los retrasos de los cables empleando un factor de cobertura de k = 2. Estos resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores resultantes de la caracterización del MMS y el MTC, los cuales son empleados como valores de referencia para realizar los procesos de medición y caracterización de los RA y el GPSDO.

Ventana de observación (s)	Valor de exactitud del MMS (s)	Valor de exactitud del MTC (s)
1	1,6E-12	2,3E-11
10	1,4E-13	2,3E-12
60	2,5E-14	3,9E-13
100	1,5E-14	2,4E-13
300	7,7E-15	7,8E-14
600	6,5E-15	4,0E-14
900	6,2E-15	2,8E-14
1 000	6,2E-15	2,4E-14
1 200	6,1E-15	2,0E-14
1 800	6,1E-15	1,5E-14
3 600	6,0E-15	8,8E-15
7 200	6,0E-15	7,1E-15
10 800	6,0E-15	6,5E-15
36 000	6,0E-15	6,0E-15
86 400	6,0E-15	6,0E-15
432 000	6,0E-15	6,0E-15
2 592 000	6,0E-15	6,0E-15

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Se encontró que los procesos de ruido dominantes para ambos equipos son el Fliker Phase Modulation y el White Phase Modulation, ambos ruidos se asocian a los mecanismos de resonancia tanto de los RA como del GDF, lo que es básicamente la forma en cómo se realizan los ajustes de diferencia de tiempo en la escala de tiempo UTC(CNMP) y su influencia en las mediciones. En la Figura 2 muestra que los valores reales del RA están por debajo de lo indicado por el fabricante. También ocurre para el GPSDO que sus valores son mejores que lo declarado, ya que el fabricante indica exactitud menor a la de 1E-12 s al día y no más de ±15 ns RMS con respecto a UTC.

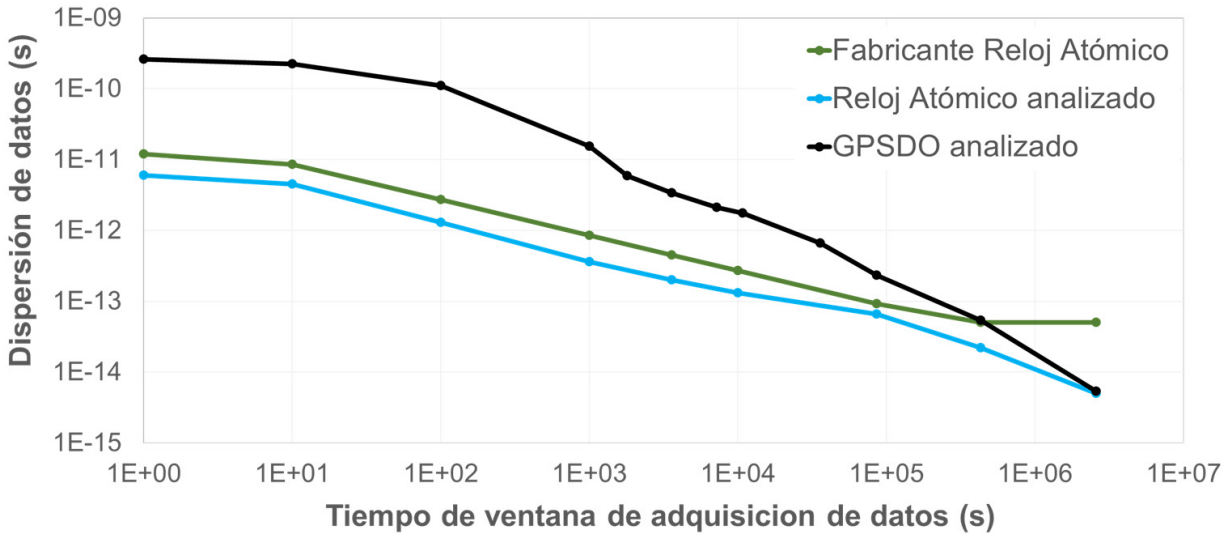


Figura 2. Valores de la caracterización del RA, lo indicado por el fabricante y el GPSDO.

Con el resultado de la validación nos permite realizar una transferencia de exactitud a los servicios, siendo el más beneficiado el servicio de Calibración de Osciladores, pasando de una incertidumbre (k = 2, publicada en el Buró Internacional de Pesas y Medidas) desde ±6E-13 Hz/Hz hasta ±2E-13 Hz/Hz, con ventanas de observación de 86 400 segundos (un día), representando una mejora del 300 por ciento, sin cambiar los equipos actualmente empleados.

4. CONCLUSIONES

Esta caracterización comprobó que tanto el MMS como el MTC pueden realizar mediciones con exactitudes al nivel del femtosegundo, pero deben tomarse en cuenta elementos como las condiciones ambientales, la exactitud de los Patrones Atómicos y la ventana de observación empleada para realizar una toma de datos adecuada. A nivel de aplicación, se comprueba que se pueden realizar calibraciones de Patrones Atómicos y Osciladores Disciplinados por GPS con el equipamiento actual, pero hasta ventanas de observación

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de 5 días (432 000 segundos). También se muestra todavía hay espacio para mejoras en las cualidades de la escala de tiempo UTC(CNMP) si se mejora la exactitud de los PA y el algoritmo de predicción y control del GDF, para así optimizar el UTC(CNMP).

Referencias

[1] R. F. Solís Betancur, Propuestas de Nuevas Capacidades de Medición y Calibración en Tiempo y Frecuencia, APANAC, pp. 141-147, sep. 2023.

[2] J. E. Gray and D. W. Allan, "A Method for Estimating the Frequency Stability of an Individual Oscillator," Proceedings of the 1974 Frequency Control Symposium, pp. 243-246, May 1974.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC 2025 a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Estado de la Detección de Interferencias en el Arreglo de Antenas GNSS del CENAMEP AIP

Solis Betancur, Raúl Fernando
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-1043-4294

Abstract

Nowadays we rely on satellite and terrestrial systems to perform Positioning, Navigation and Timing, but this reference infrastructure is beginning to be attacked using interference on GPS signal. Because of that the CENAMEP AIP Primary Time and Frequency Laboratory has begun working on detecting these interference signals, using atomic clocks, GNSS equipment and developing software to help in detecting and perform mitigation actions. Upon completion of this work, we can detect and identify the types of interference received, leading to the implementation of mitigation measures, so we can conclude that the continuity of UTC(CNMP) can be ensured in the face of these types of events.

Keywords: UTC(CNMP), interferences, timing, cybersecurity, GPS.

Resumen

Actualmente dependemos de sistemas satelitales y terrestres que nos permitan desarrollar Posicionamiento, Navegación y Temporización, pero esta infraestructura de referencia está comenzando a ser atacada empleando interferencia en las señales de GPS. Por ello el Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia del CENAMEP AIP ha comenzado a trabajar en la detección de estas señales empleando relojes atómicos equipamiento GNSS y desarrollando programas que ayuden a detectar y realizar acciones de mitigación. Al terminar el trabajo, pudimos detectar e identificar los tipos de interferencias recibidas conduciendo a la implementación de medidas de mitigación, con lo que pudimos concluir que se puede asegurar la continuidad del UTC(CNMP) frente a este tipo de eventos.

Palabras claves: UTC(CNMP), interferencias, sincronización, ciberseguridad, GPS.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

El auge del consumo de tecnologías basadas en Posicionamiento, Navegación y Temporización (PTN) empleando GNSS (Global Navigation Satellite System) como el GPS ha traído como consecuencia, la exploración de formas de interferir estos sistemas, causando problemas en acceso, afectando la sincronización de sistemas o la seguridad en los aeropuertos [1]. En Panamá, desde el año 2022 ha existido un incremento sustancialmente peligroso de estas interferencias [2], sin que se haya logrado establecer políticas nacionales de control o mitigación de estos problemas, algo que pudiese estar causando afectaciones en el desarrollo de servicios avanzados [3]. En la Figura 1, se muestra un ejemplo de estos eventos interferencias y su efecto. En la Figura 1, a la izquierda se muestra el evento a partir de datos abiertos de aviones, y procesada en la página https://gpsjam.org/. A la derecha se muestra un salto en las mediciones de tiempo en las señales L1 y L2 de GPS con respecto al UTC(CNMP), para las mismas fechas.

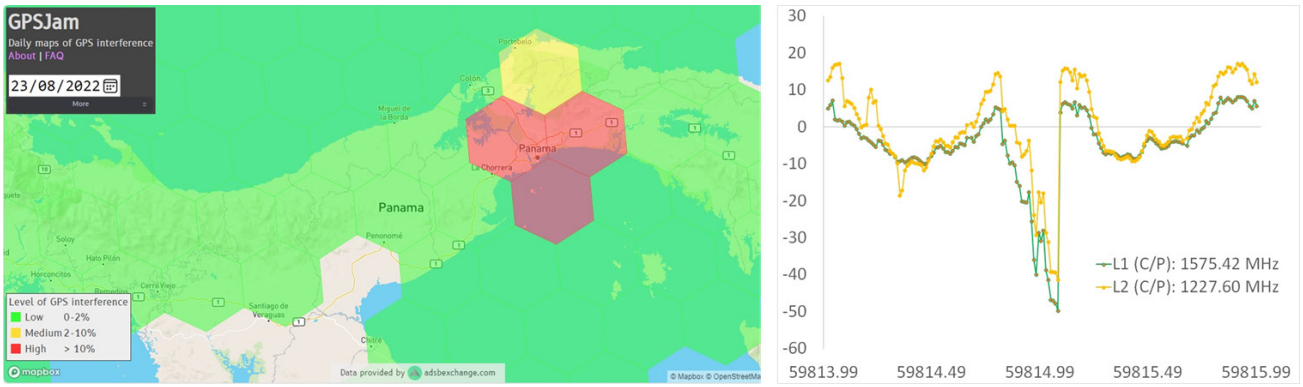


Figura 1. Vista de los eventos registrados para el 22 de agosto de 2022 donde se registra una exposición a interferencia.

Y estas interferencias motivaron una serie de investigaciones en términos de análisis y la mitigación del impacto que estas interferencias causarían a los procesos de comparación entre laboratorios y la supervisión de señales GPS realizadas en el Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia (LPTF), el cual es el encargado de la realización del UTC(CNMP), empleando la técnica de vista común, basada en mediciones GPS como medio de comparación [4], con ello se podrá mitigar su impacto, asegurando una realización y diseminación del UTC(CNMP) confiable para Panamá.

2. MÉTODO

A. Qué tipo de interferencias se piensan buscar

Como se está trabajando en detectar señales que pudieran causar interferencia (de manera

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

accidental o de manera intencionada) se decidió trabajar, desde el punto de intencionalidad, en dos posiciones: 1) Señales de origen no intencional: Señales que podrían afectarnos, pero su naturaleza no intencional, comparten otras frecuencias y no tienden a repetirse en el tiempo. 2) Señales de origen intencional: Señales que podrían afectarnos, pero por su naturaleza intencional, están enfocada en señales GNSS y tienden a repetirse en el tiempo. Ahora, desde el punto de vista de interferencias, trabajamos directamente en dos temas: 1) Detección de posibles señales de Jamming: Detección de señales que tienen afectación directa sobre la relación portadora y ruido (C/No), por satélite o por grupo completo, realizando un incremento de potencia en banda ancha (MHz) o en banda estrecha (kHz), y 2) Detección de posibles señales de Spoofing: Detección de señales que tienen afectación directa en la determinación de la ubicación empleando un satélite o por grupo completo.

B. Equipamiento empleado para detectar interferencias

Para realizar el proceso de detección, el recurso empleado para realizar las mediciones, análisis y detección es el siguiente:

- Relojes Atómicos (Microchip 5071A): Con ellas se evita que el receptor se discipline al tiempo de GPS, permitiendo analizar las perturbaciones provenientes de las señales GPS.
- Receptores Satelitales (PikTime TTS-5, Septentrio PolaRx5TR y SIMRV): son receptores satelitales optimizados para trabajar realizando mediciones entre 30 segundos a 2 minutos midiendo señales de las constelaciones GPS (Estados Unidos), GLONASS (Rusia), GALILEO (Unión Europea) y BeiDou (China), y disciplinados a los Relojes Atómicos.
- Programas especializados locales (TTSMon y Supervisor Interferencias): programas desarrollados localmente en C# los cuales se mejoraron para incluir la detección de interferencias empleando datos provenientes de los receptores satelitales.
- Licencia BlueSky (Microchip): para el receptor Microchip S650 que permite detectar situaciones de Jamming o Spoofing solo en señales GPS.

C. Metodología empleada para detectar las interferencias

Se empleó una metodología de tres fases para aprender, desarrollar e implementar los procesos necesarios para detectar y responder a las posibles interferencias: Fase de Aprendizaje: Fase donde se implementa y emplea la licencia BlueSky para captar datos, observar que es “normal” en este tipo de mediciones, y establecer valores de referencia. Fase de Adecuación: Fase donde se adecua el programa TTSMon para obtener datos de mediciones GNSS a través del archivo CGGTTS [5] y el SIMRV. Además, se desarrolla el programa “Supervisor Interferencias” que emplea cURL para extraer datos del BlueSky para analizar, formatearlos y que otros programas los empleen también. Y Fase de validación e implementación: En esta fase, mediante la Gestión del Conocimiento adquirido, se procede

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

a implementar las medidas y adecuar los procedimientos para que, al detectar interferencia intencional y no intencional, se pueda actuar pertinentemente al escenario establecido

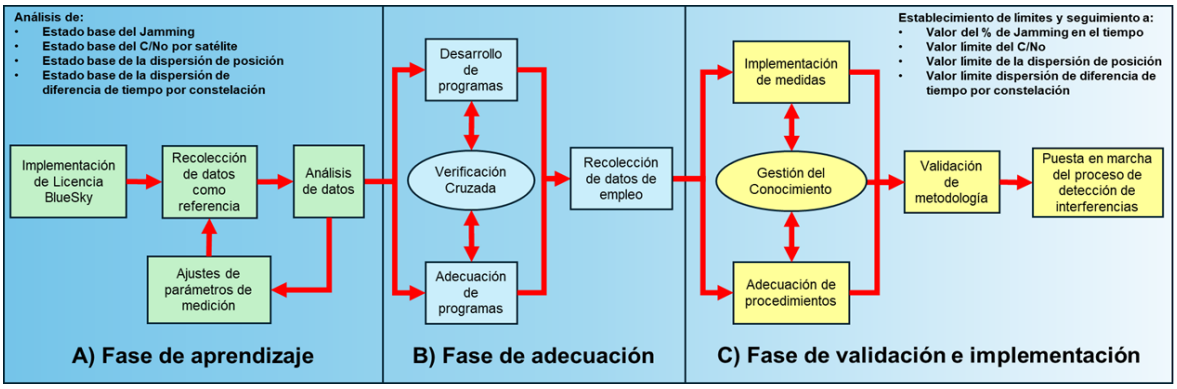


Figura 2. El proceso de desarrollo del sistema de detección de interferencias se realizó en 3 fases que abarcaron casi 14 meses. Todo esto con el objetivo de detectar y clasificar las interferencias.

3. RESULTADOS

A. Mejoras en las técnicas de detección

Se logro implementar mejoras en la detección de interferencias. El programa TTSMon se actualizó para darle, inicialmente, seguimiento a cada satélite y distintas frecuencias de GPS y analizar individualmente su comportamiento. Se desarrollo y validó el programa Supervisor Interferencias para monitorear los datos del Microchip S650 con BlueSky, y obteniendo los datos de Jamming, Dispersión de la Posición y el C/No con periodos más cortos y de manera automatizada. Se logró mejorar los protocolos internos, ya que una vez que los programas detectan automáticamente anomalías, se puede ir inmediatamente al análisis de espectro del PolaRx5TR a verificar que está pasando.

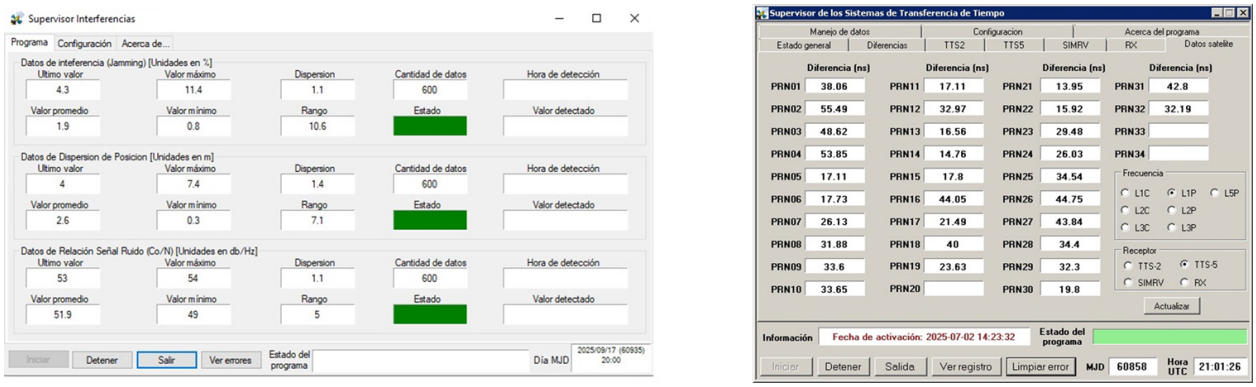


Figura 2. Programas desarrollados y actualizados en el LPTF permiten mejorar los análisis y detecciones de posibles interferencias o posibles fallos individuales de satélites.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Y se adecuaron los receptores para brindar información concerniente en términos de trabajo y estabilidades. También se activó la herramienta OSNMA para autentificar satélites GALILEO y evitar Spoofing (mostrado en la Figura 3, imagen de la izquierda).

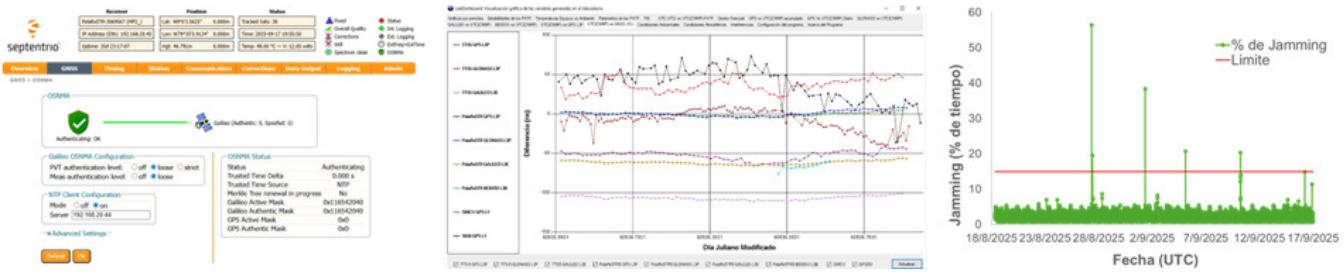


Figura 3. Vista del trabajo desarrollado para implementar técnicas de detección y mitigación.

En la Figura 3, la imagen del centro muestra el seguimiento a las diferencias de tiempo en base a los receptores y las constelaciones GNSS analizadas en el día. Mientras que la imagen de la derecha muestra con espacio de 2 minutos datos medidos de intensidad en Jamming (tomando en cuenta el espectro inicial considerado como limpio y normal).

B. Tipos de interferencias detectadas en el arreglo de antenas del CENAMEP AIP

Las medidas implementadas no solo permitieron detectar interferencia, sino que permitieron clasificarlas en tres tipos principales de interferencias incidentes sobre el arreglo de antenas GNSS: 1) Interferencias de barrido: Son señales de interferencia que cambian el ancho de banda, pero se mueven a lo largo del espectro de señales de GPS. En la Figura 4, la imagen de la izquierda muestra un ejemplo de ello. 2) Interferencias de banda estrecha: Son señales de interferencia con anchos de banda muy estrechos (posiblemente no superan los kHz) y tienen duraciones de tiempo desde algunos segundos hasta algunos minutos. En la Figura 4, la imagen del centro muestra un ejemplo de ello. 3) Interferencias de banda ancha: Son señales de interferencia que tienen un ancho de banda de cerca del MHz y tienen duraciones de segundos. En la Figura 4, la imagen de la derecha muestra un ejemplo de ello.
Con respecto a las posibles interferencias tipo Spoofing, no se pudo detectar directamente y de manera repetitiva una interferencia de este tipo, pero se puede detectar su influencia en los cambios en la dispersión de la posición. En la Figura 4 se puede apreciar que el receptor PolaRx5TR posee un analizador de espectro que muestra en tiempo real sus medidas, en la banda analizada. Con ello podemos ir identificando frecuencias, intensidades y mecanismos de interferencias tipo Jamming.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

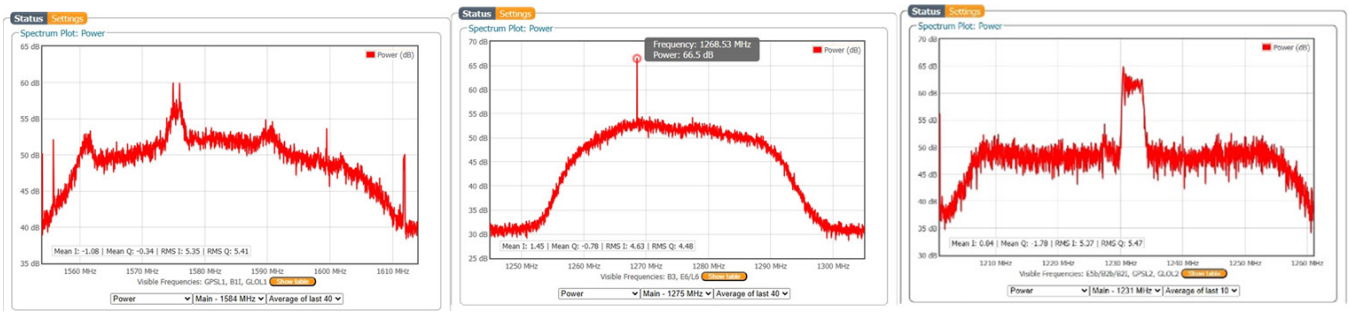


Figura 4. Vista del analizador de espectro del receptor PolaRx5TR.

C. Estrategias adoptadas frente a posibles interferencias

Las estrategias adoptadas para mitigar interferencias: 1) Descartar constelaciones GNSS o satélites puntualmente, 2) Mejorar los filtros Notch (si se localiza incrementos de señales por encima de 55 dB, se emplea esta información para aplicar un sistema de mitigación empleando amplificadores y así mantener la integridad de las mediciones) para potencias, 3) Incrementar el Mask Angle (ángulo empleado como límite de horizonte) para descartar la posición de la fuente, 4) Desconectar la antena físicamente en caso de que las potencias de interferencia fuesen extremas y 5) Llevar registro mediante los archivos RINEX y CGGTTS, con lo cual se podrán tomar más acciones y controles.

4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo, el LPTF adquiere valiosas herramientas para mantener en control sus procesos y optimizarlos, ya que al saber si hay interferencia o no, se puede descartar si los receptores están teniendo algún tipo de problemas como desperfectos o situaciones anómalas en equipos auxiliares (conectores, cables, etc.), algo que antes se les podría atribuir a los receptores porque se desconocía del impacto directo de las interferencias en las mediciones. Ahora, al conocer el tipo impacto, podemos actuar de manera cónsona para mantener la seguridad del UTC(CNMP) como del equipamiento GNSS del CENAMEP. Todo esto para preservar la integridad y robustecer las capacidades del LPTF.

Referencias

[1] C. Clausnitzer. “GPS/GNSS Jamming/Spoofing”. Federal Aviation Administration. Accedido el 14 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/acf/media/Presentations/24-01-GPS-Interference.pdf

[2] J. Wiseman. “GPSJAM GPS/GNSS Interference Map”. GPSJAM GPS/GNSS Interference Map. Accedido el 14 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible: https://gpsjam.org/

[3] R. F. Solís Betancur, Propuestas de Nuevas Capacidades de Medición y Calibración en Tiempo y Frecuencia, APANAC, pp. 141-147, sep. 2023.

[4] R. F. Solís Betancur, Calibración de receptores GNSS multicanal, APANAC, pp. 313-318, sep. 2023.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[5] P. Defraigne y G. Petit, “CGGTTS-Version 2E : an extended standard for GNSS Time Transfer”, Metrologia, vol. 52, n.º 6, p. G1, octubre de 2015. Accedido el 14 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1088/0026-1394/52/6/g1

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Hallazgos en la Enseñanza de la Metrología: Un Análisis de 10 Años

Solis Betancur, Raúl Fernando
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-1043-4294

Abstract

Metrology as a discipline is based on a solid understanding of scientific and industrial instrumentation, and fundamental statistics that allow for the mathematical description of what occurs in the measurement process. Therefore, training in instrumentation along with descriptive and inferential statistics enables metrologists to perform measurements, from the physical phenomenon occurring within the unit to the verification of compliance with technical specifications, national and international standards, and legal frameworks. CENAMEP AIP, as the National Metrology Institute of Panama, has the duty to maintain and safeguard the national measurement standards and disseminate metrological knowledge. Therefore, one of its functions is to provide specialized metrology courses to those who need them. It is because of these courses that some deficiencies have been observed in recent years. Therefore, the objective is to determine the level of metrological knowledge using a methodology that includes analyzing the results of participants in the courses offered (especially those related to estimating measurement uncertainty) and comparing them with surveys conducted at the regional level. The results show that education in instrumentation and statistical concepts compared to the Americas is deficient, concluding that this may affect the culture of quality of goods and services in Panama.

Keywords: Metrology, education, uncertainty, GUM, calibration.

Resumen

La Metrología como disciplina está fundamentada en un conocimiento sólido de instrumentación científica e industrial, y de estadística fundamental que permita describir matemáticamente que está pasando en el fenómeno de la medición. Por ello, una educación en instrumentación junto con estadística descriptiva e inferencial le permite al metrólogo realizar mediciones desde el fenómeno físico que realiza la unidad hasta la verificación

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de cumplimiento con especificaciones técnicas y normas nacionales e internacionales y marcos legales. El CENAMEP AIP, al ser el Instituto Nacional de Metrología de Panamá, tiene el deber de mantener y custodiar los patrones nacionales de medida y diseminar el conocimiento metrológico, por lo que dentro de sus funciones es la de brindar cursos metrológicos especializados al grupo que lo necesite. Y es por esos cursos dados, que se ha visto en los últimos años algunas deficiencias. Por ello, se tiene como objetivo conocer el nivel del conocimiento metrológico empleando una metodología que incluyó el analizar los resultados de los participantes de los cursos brindados (especialmente de estimación de la incertidumbre de medida) y compararlos con encuestas realizadas a nivel regional. Se tiene como resultado que la educación en conceptos de instrumentación y estadística comparado con las Américas es deficiente, concluyendo que esto puede generar afectaciones en la cultura de la calidad de bienes y servicios en Panamá.

Palabras claves: Metrología, educación, incertidumbre, GUM, calibración.

1. INTRODUCCIÓN

Panamá es un paso obligado para transporte de bienes desde la época de la conquista española, haciendo que nos volviéramos en un país dependiente del desarrollo científico e industrial de otras naciones (porque es más barato adquirir que desarrollar localmente). Y es este tipo de situaciones ha generado confusiones en las personas al momento de establecer criterios técnicos, científicos, industriales y comerciales al momento de adoptar normas internacionales cuando localmente no se emplean las mismas unidades (longitudes con metro y pie, masas con libras y kilos, volúmenes con galones y litros, etc.). Adicionalmente, el proceso de desarrollo educativo nacional ha quedado rezagado en terminología estadística con la que, aun teniendo las mejores intenciones de parte de los involucrados, crean huecos en el plano legal o espacios de mala interpretación en entornos técnicos y científicos. Uno de los ejemplos más observados en metrología es la mala interpretación de las especificaciones técnicas de equipos, sistemas o los insumos y las incertidumbres asociadas a las medidas al momento que la industria busca lograr la acreditación de sus procesos frente a normas como la ISO (internacional) y la ANSI/ASTM (Estados Unidos) las cuales manejan regularmente dos sistemas de unidades diferentes: el Sistema Internacional (S.I.) y el Sistema Ingles.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 1. Las diferentes ramas de la metrología y sus requisitos de conocimiento.

Como se muestra en la Figura 1, la metrología es una ciencia de influencia transversal que va desde un conocimiento científico y técnico muy sólido, hasta el desarrollo de un conocimiento más de índole legal y humanista. En términos de la metrología científica e industrial, la especialización requerida se basa fuertemente en el área de conocimiento a desarrollar en conjunto con conocimientos profundos de estadística (importante para describir matemáticamente qué está pasando) y conocimientos profundos en la tecnología de sensores empleada (como se mide el fenómeno a analizar y con qué nivel de exactitud se mide realmente).

Desde que el CENAMEP empezó a brindar cursos a la industria (cerca del año 2006), se ha necesitado ir reformando algunos cursos fundamentales, para incluir cada vez más temas de nivel formativo como es el caso de conceptos metrológicos (conceptos sobre medición, instrumentos, sensores, fuentes, incertidumbre, etc.) y estadísticos básicos (aplicación de herramientas de caracterización de la dispersión de datos, interpretación de formas de distribución, métodos de normalización, modelado estadístico, interpolación, proyecciones, etc.), para que los participantes pudieran leer, entender y desarrollar la Guía para la Estimación de la Incertidumbre de la Medida (GUM) [1], con el objetivo de poder ellos el desarrollar procesos de calibración y verificación en sus laboratorios y poder acreditarse.

En Panamá, aunque se indica que a nivel superior los docentes manejan conocimientos de estadística [2], en la práctica, los participantes de los cursos demuestran desconocimientos en conceptos y su empleo a un nivel que obliga a realizar entrenamiento en esas áreas. Y este tipo de situaciones motivó la realización de este trabajo, donde decidimos analizar

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

los últimos 10 años (periodo 2014 – 2024) de los datos obtenidos a través de los cursos brindados por el CENAMEP en sus diferentes especialidades metrológicas, en la introducción a la metrología y en la estimación de la incertidumbre de medida, en conjunto con los resultados de encuestas y estudios a nivel del Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

2. METODOLOGÍA

La adquisición de los datos se basó mediante un enfoque de Investigación Cualitativa [3], con el objetivo de normalizar las respuestas de parte de los encuestados con impacto directo en la industria panameña, principalmente de las áreas de ingenierías, física, química, biología, higiene y seguridad ocupacional, y medio ambiente. También se realizó un análisis de los planes de estudio de las Universidades donde los encuestados nacionales obtuvieron sus títulos, en temas como:

- Menciones explicitas sobre metrología: Indicación directa y clara de educación sobre metrología en su plan de estudio.
- Menciones explicitas sobre instrumentación o sensores: Indicación directa sobre estudios sobre instrumentación o tecnología de sensores.
- Menciones explicitas sobre estadística: Indicación sobre materias dedicadas a estadística o análisis estadístico.
- Menciones explicitas sobre calidad, estándares o normativa: indicación sobre normativas nacionales, internacionales o gestión de la calidad en sistemas industriales.

Para la comparativa a nivel del SIM, se empleó datos obtenidos de encuestas realizadas por el Grupo de Trabajo de Estadística e Incertidumbre del SIM (GTEI), y de estudios realizados por el SIM con respecto a la implementación de la Metrología 4.0 [4], en sus distintas subregiones: NORAMET (América del Norte), CAMET (Centroamérica), CARIMET (Caribe), ANDIMET (Comunidad Andina) y SURAMET (Mercosur). Hasta el 2024 se tenían registrado 59 laboratorios nacionales de referencia, tanto como Institutos Nacionales como Institutos Designados.

3. RESULTADOS

Los datos analizados muestran que las personas involucradas en procesos industriales que han tomado nuestros cursos en este periodo de tiempo iniciaron con deficiencias en conceptos técnicos básicos y acordados nacionalmente para implementar sistemas de calidad acreditados para producir bienes y brindar servicios certificados. Se analizaron 203 participantes de nivel educativo universitario o superior (se descartan los participantes sin estudios universitarios), analizándose los planes de las carreras de licenciatura de los participantes y los resultados se muestran en la Tabla 1.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Análisis de los planes de carreras de universidades de los participantes en cursos en el CENAMEP AIP en el periodo bajo análisis.

Universidad	Planes analizados	Menciones explicitas sobre metrología	Menciones explicitas sobre instrumentación o sensores	Menciones explicitas sobre estadística	Menciones explicitas sobre calidad, estándares o normativa
UP	6	3	4	3	1
UTP	6	0	3	6	4
Latina	4	2	1	4	3
USMA	2	0	2	2	1
Total	**18**	**5**	**10**	**15**	**9**

Tabla 2. Nivel de conocimiento evaluado de los participantes de las capacitaciones dadas.

Nivel de los participantes en cursos	Participantes	Sobre metrología (S.I.)	Sobre instrumentación (sensores y fuentes)	Sobre estadística descriptiva e inferencial	Sobre estándares o sistemas de calidad
Maestría	3	Regular	Bueno	Regular	Bueno
Ingeniería / Licenciatura	125	Regular	Regular	Regular	Bueno
Técnico	75	Regular	Regular	Bajo	Bueno

De la Tabla 2, definimos que: es Bueno cuando demuestran que tienen conocimiento completo del área (conceptos y aplicación). Es Regular cuando demuestran que tienen conocimiento parcial del área (conceptos y aplicación) y Es Bajo cuando demuestran que tienen conocimiento suficiente del área (conceptos y aplicación). También cabe destacar que, a nivel regional, Panamá no está muy alejado de los resultados de los demás países de la región CAMET y CARIMET.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 3. Comparación de resultados de las encuestas realizadas a nivel del GTEI a nivel SIM sobre el nivel de conocimiento en las distintas áreas analizadas en el periodo de análisis.

Área de SIM	Sobre metrología (S.I.)	Sobre instrumentación (sensores y fuentes)	Sobre estadística descriptiva e inferencial	Sobre estándares o sistemas de calidad
NORAMET	Alto	Alto	Alto	Alto
SURAMET	Alto	Alto	Bueno	Alto
ANDIMET	Alto	Bueno	Bueno	Alto
CAMET	Bueno	Bajo	Bajo	Medio
CARIMET	Bueno	Bajo	Bajo	Alto
Panamá	**Medio**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

De la tabla 3, definimos que: Alto significa que tienen conocimientos completos en las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y por lo general lideran desarrollos, nuevas tecnologías y comparaciones del más alto nivel de exactitud posible en el área. Bueno significa que tienen conocimientos eficaces en las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y regularmente son de los mejores implementando servicios y desarrollos industriales, participan en comparaciones internacionales, y lideran comparaciones a nivel regional con niveles de exactitud por lo general por encima de lo que requiere la industria local. Medio significa que tienen conocimientos parciales en las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y normalmente solo implementan lo que otros laboratorios ya han desarrollado, con modificaciones para adaptarlos a las necesidades de sus comunidades o industrias y solo participan en comparaciones internacionales para lograr el reconocimiento en el área y poder demostrar aptitud técnica. Bajo significa que tienen conocimientos suficientes de las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y regularmente son los laboratorios que solo implementan algo normado (reglamentos técnicos internacionales o reglamentos técnicos nacionales adaptados de reglamentos internacionales) y sin desarrollos propios, no tienden a participar en comparaciones internacionales y solo buscan demostrar aptitud para certificarse frente a sus organismos regulatorios.

4. CONCLUSIONES

En la región CAMET (la cual pertenece Panamá) es una región bastante desigual, en la cual se prefiere aplicar e implementar métodos de medición normalizados, pero algunos tienen altos niveles de regulación para importar y comercializar productos. También se desarrollan métodos propios para algunas áreas de medición, como es el caso de Costa Rica (altamente regulado en muchas áreas técnicas con desarrollos avanzados en metrología química) y Panamá (orientado a una economía de servicios con regulaciones de más de 20 años sin

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

actualizar y con deficiencias regulatorias en áreas nuevas o emergentes) y en la que se lideran algunas comparaciones internacionales, principalmente bajo proyectos o intereses puntuales.

A pesar de que la Metrología como ciencia es bastante madura (Tratado del Metro del 20 de mayo de 1875), en Panamá no ha avanzado adecuadamente en la adopción de ella en el marco científico, industrial y legal continuando, por ejemplo, el empleo incorrecto de la nomenclatura de las unidades del S.I. (separador decimal y de miles, expresión de unidades y empleo de unidades fuera del S.I.), la falencias en los análisis estadísticos y las expresiones numéricas asociadas a la lectura de las especificaciones técnicas, y el desconocimiento en la definición de las herramientas estadísticas que necesitan. Todo esto impulsa una afectación negativa a la cultura de la calidad en el desarrollo de productos y la prestación de servicios, la salvaguarda de la seguridad y la salud humana, protección del ambiente y el comercio justo.

Referencias

[1] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, y OIML. “Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement”. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008. doi:10.59161/JCGM100-2008E.

[2] E. Matus, L. Matus, D. T. Svetlana, and L. Rodríguez, “Estructura Psicométrica de la Escalada de Actitudes ante la Estadística (EAE-2020),” 2023. https://repositorio.ciedupanama.org/handle/123456789/412

[3] R. Q. Lecanda y C. M. C. Garrido. “Introducción a la metodología de investigación cualitativa. Revista de Psicodidactica”. Volumen 14, núммero 14, pp. 5–40, 2002, [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17501402

[4] Valqui, A., Casaburi, G., & Suaznabar, C. (2019). “Metrología 4.0: Desafíos de la transformación digital para la metrología de América Latina y el Caribe”. https://doi.org/10.18235/0001917

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

EVALUACIÓN DE LA CIBERSEGURIDAD EN LA METROLOGÍA: ANALIZANDO LA RESILIENCIA ANTE AMENAZAS DIGITALES

González, Edwin
Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0009-8216-5055

Carrión, Alfonso
Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-6099-8744

Abstract

The increase in cyber incidents demonstrates that metrology laboratories are also exposed to risks that can compromise the reliability of their measurements. Consequently, this study assessed the cybersecurity maturity of CENAMEP AIP and secondary laboratories, as well as the knowledge level of their staff. The objective of this project was to identify gaps in policies, best practices and incident response plans, as well as to strengthen the security posture through training and simulations. A diagnostic assessment was carried out, using CSF 2.0–based interviews (i.e. a cybernetic security framework); in addition, training activities and controlled phishing simulations were implemented using Smartfense. The findings revealed that 68% of the staff had not received prior training and that most organizations lacked a formal incident response plan. The simulations indicated an initial reduction in risky behavior, followed by monthly variations linked to awareness levels and threat detection capability. In conclusion, significant deficiencies in security management were identified, which can be mitigated through basic policies, clear procedures and continuous awareness programs, reaffirming that the human factor remains the most vulnerable component in institutional cybersecurity.

Keywords: awareness, cybersecurity, simulations, phishing, Smartfense.

Resumen

El aumento de incidentes cibernéticos demuestra que los laboratorios metrológicos también están expuestos a riesgos que pueden afectar la confiabilidad de sus mediciones; por ello,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

este estudio evaluó la madurez en ciberseguridad del CENAMEP AIP y de laboratorios secundarios, así como el nivel de conocimiento de su personal sobre este tema. El objetivo de este proyecto fue identificar brechas en políticas, buenas prácticas y en los planes de respuesta a incidentes (PRI), así como fortalecer la postura de seguridad mediante capacitación y simulaciones. Se aplicó una prueba diagnóstica inicial; luego, se realizaron entrevistas basadas en la herramienta CSF 2.0 (marco de seguridad cibernética, por sus siglas en inglés) y se desarrollaron actividades formativas y campañas de phishing controladas a través de la plataforma Smartfense. Los resultados mostraron que el 68% del personal no contaba con capacitación previa y que la mayoría de las organizaciones carecía de un plan formal de respuesta a incidentes. Las simulaciones evidenciaron una reducción inicial del comportamiento riesgoso, seguida de variaciones mensuales asociadas al nivel de atención y detección de amenazas. En conclusión, se identificaron deficiencias importantes en la gestión de la seguridad que pueden mitigarse mediante políticas básicas, procedimientos claros y programas continuos de sensibilización, reafirmando que el factor humano sigue siendo el elemento más vulnerable dentro de la ciberseguridad institucional.

Palabras claves: concientización, ciberseguridad, simulaciones, phishing, Smartfense.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los reportes de incidentes cibernéticos han ido en aumento, evidenciando que ninguna organización está libre de estos riesgos digitales, incluyendo las empresas dedicadas a la metrología científica, legal e industrial. La metrología se encuentra inmersa en un cambio de paradigma, debido al proceso de transformación digital en la industria y sociedad. Hoy en día, es tarea de los laboratorios digitalizar las mediciones, transmitirlas y automatizar los procesos de entrega de la información al cliente, evitando el error humano [1].

Muchas de estas organizaciones carecen de políticas robustas de seguridad informática o de planes de respuesta a incidentes (PRI) bien definidos, lo que deja vulnerable su infraestructura a ataques que podrían comprometer la confiabilidad de los datos metrológicos y - en consecuencia - afectar la credibilidad técnica y operativa de los sistemas de medición implementados por ellos. Adicionalmente, es posible afirmar que el factor humano continúa siendo uno de los principales puntos de debilidad en materia de ciberseguridad. Más aún, la limitada capacitación y/o la concientización del personal facilita el éxito de ataques por parte de ciberdelincuentes.

Ante esta realidad, surge la necesidad de evaluar el nivel de madurez en ciberseguridad

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

del CENAMEP AIP y los laboratorios secundarios en Panamá, con el fin de detectar vulnerabilidades, fortalecer las capacidades del personal, establecer estrategias preventivas y correctivas que garanticen la continuidad y confidencialidad de los servicios metrológicos en el país. Junto a esto se busca fortalecer la ciberseguridad institucional mediante la capacitación de los colaboradores empleando, entre otras herramientas, la plataforma comercial Smartfense para evaluar y mejorar el conocimiento en ciberseguridad a través de actividades interactivas como videos, simulaciones y pruebas.

2. METODOLOGÍA

Análisis del conocimiento en ciberseguridad, buenas prácticas y efectividad del plan de respuesta a incidentes (PRI)

Se realizó un análisis de conocimiento sobre ciberseguridad para evaluar cuántos colaboradores han recibido capacitación previamente. Esto se realizó aplicando una prueba diagnóstica en un formulario virtual (con la gran mayoría de preguntas en modalidad cerrada), que consultó sobre la terminología básica asociada a ciberseguridad y casos cotidianos a nivel personal y profesional, en los que se debe tomar decisiones enfatizando la seguridad cibernética.

Posteriormente, en reuniones presenciales junto al encargado de tecnología o representante de la organización de las entidades participantes, se identificaron carencias o limitaciones en la implementación de políticas de seguridad, buenas prácticas y si éstas cuentan con un plan de respuesta de incidentes (PRI) formalizado. Para esta actividad se tomó como base el Marco de Seguridad Cibernética (CSF) 2.0. Éste está diseñado para ayudar a las organizaciones de todos los tamaños y sectores (que incluye a la industria, el gobierno, la academia y las organizaciones sin fines de lucro), para gestionar y reducir sus riesgos de seguridad cibernética [2]. Con ayuda de este marco de trabajo se identificaron categorías para el análisis, moldeadas a las necesidades o situaciones presentes en las entidades metrológicas.

La Figura 1 muestra las funciones de la herramienta CSF como una rueda continua, pues todos sus componentes y funciones se relacionan entre sí. Por ejemplo, una organización categorizará los activos en “Identificar” y tomará medidas para asegurar esos activos en “Proteger”.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 1. Funciones de la herramienta CSF.

Mejora de la postura de seguridad cibernética

Como propuesta de mejora, se asignaron actividades de aprendizaje para aumentar el conocimiento de ciberseguridad de los participantes; estas actividades se desarrollaron en la plataforma Smartfense (Figura 2) que fue provista por el CENAMEP AIP, desde junio del año 2025. Adicionalmente, se implementaron simulaciones de ataques de phishing, utilizando una herramienta de simulación controlada, proporcionada por la misma plataforma, con el fin de analizar las acciones y el comportamiento de los colaboradores en esos incidentes (agosto a noviembre de 2025). Se trata de una instancia que los equipos fuera del departamento de tecnologías de la información (TI) no sienten como necesaria, o bien, son de poca comprensión. Esta "desconexión" representa un riesgo para la organización, ya que compromete dos de sus recursos intangibles más importantes: la información y las personas [3].

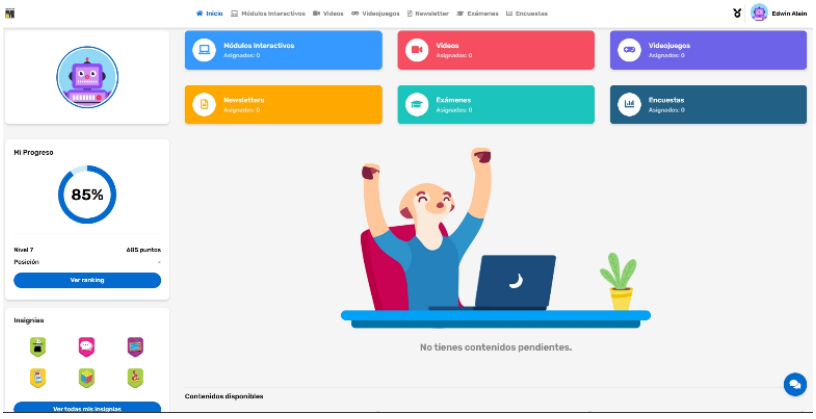


Figura 2. Vista principal de la plataforma Smartfense.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de conocimiento en ciberseguridad, buenas prácticas y efectividad del PRI

En esta fase del estudio se observaron y compararon las respuestas de los participantes al diagnóstico inicial realizado. Los datos se presentan en términos de porcentaje para aquellas preguntas que se consideraron más relevantes en el contexto de la ciberseguridad en la metrología en Panamá. Los hallazgos más destacados se presentan a continuación.

Como resultado del estudio realizado a los participantes, se muestra en la Figura 3 que el 68% (24 participantes) no han recibido capacitación previa sobre temas de ciberseguridad, lo cual es indicativo de que este proyecto sea una valiosa "puerta de entrada" para conocer y sensibilizar más sobre ciberseguridad. El restante 32% (11 participantes) ha recibido capacitación anteriormente; sin embargo, mantenerse actualizado en este tema es importante, lo cual representó una gran oportunidad para este estudio.

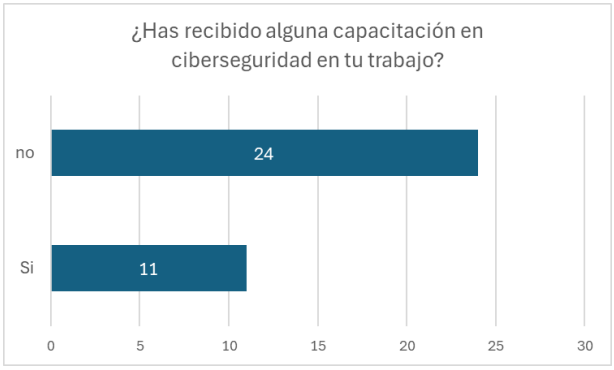


Figura 3. Resumen de los resultados de las acciones de capacitación previa en ciberseguridad.

Por otro lado, se realizaron consultas a cuatro organizaciones (CENAMEP AIP y tres laboratorios secundarios en Panamá, a los que se les asignó un código al azar "Lab. Sec."), en el aspecto de identificación de buenas prácticas. Dentro de los hallazgos destacables (Figura 4), se observa que el CENAMEP y el Lab. Sec. 3 obtuvieron los puntajes más altos, demostrando que ambas entidades sí aplican buenas prácticas dentro de sus procesos e infraestructura. En contraste, los participantes Lab. Sec. 1 y 2 presentan deficiencias en ciberseguridad en sus entornos tecnológicos, las mismas que representan oportunidades de mejora.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

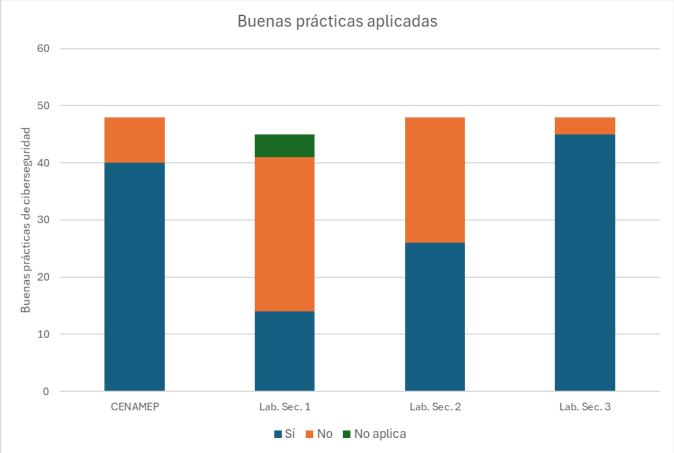


Figura 4. Resultados del formulario de identificación de buenas prácticas en metrología.

Por otro lado, para realizar las consultas a los encargados de tecnología y/o a los representantes de las entidades participantes, se realizó una prueba de la efectividad del PRI, teniendo en cuenta que dicho plan existiese de manera formal en las políticas de la organización, o bien, que haya un procedimiento ya establecido que detalle la acción de cada persona (o sección) involucrada en el plan. En este sentido, la Figura 5 muestra que tres de las cuatro organizaciones no contaban con dicho plan previamente establecido; esto evidencia un limitado planeamiento para afrontar incidentes cibernéticos que pueden detener la operabilidad de la empresa. La organización que sí contaba con un PRI establecido no decidió continuar con las pruebas de eficiencia y organización, para ejecutar acciones de simulacro del plan.

Figura 5. Presencia o ausencia de un plan de respuesta a incidentes (PRI).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Sobre la mejra de la postura de seguridad cibernética

En esta etapa se hicieron evaluaciones del rendimiento del personal en las actividades asignadas de la capacitación y el comportamiento en simulaciones de phishing (Figura 6).

Se observa que, en los primeros meses del estudio, hubo una mayor acción de los participantes de la capacitación. Esto indica que, aunque no hubiese un conocimiento completo de los contenidos de toda la plataforma, los participantes mostraron un compromiso creciente, al participar del proyecto, demostrando interés y disponibilidad a las distintas actividades (o tareas) asignadas.

En contraste, para los últimos meses del estudio se observa una disminución en la participación (Figura 6). Esto puede deberse a saturación del tiempo de los participantes (por la carga de trabajo frente al cierre del año calendario), o bien, por prioridad laboral frente a otras asignaciones y la proximidad del cierre administrativo de este proyecto en ciberseguridad en metrología.

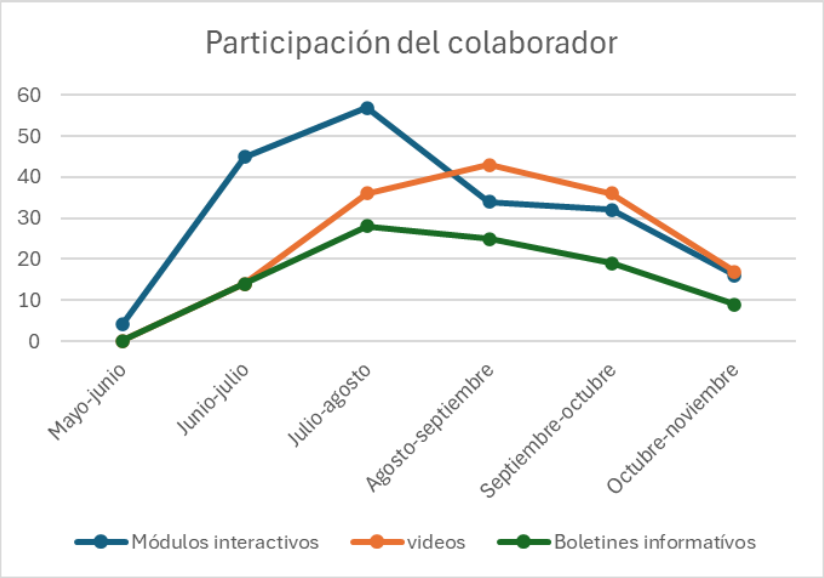


Figura 6. Participación de los colaboradores en las actividades de la plataforma Smartfense.

Finalmente, el comportamiento de los participantes frente a las simulaciones se presenta en la Figura 7. Es destacable indicar que durante cuatro campañas de simulación de phishing que desarrolló este proyecto, se observaron variaciones en el comportamiento de los participantes.

En la primera campaña de simulación, en agosto de 2025 (Figura 7), se registró el mayor nivel de interacción riesgosa, con 16 correos electrónicos abiertos, 10 descargas de archivos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

sospechosos y cinco ingresos de datos en portales web. En septiembre, por su parte, se evidenció una disminución notable en todas las categorías, alcanzando valores de cinco correos electrónicos abiertos, cero descargas y cero ingresos de datos en portales web.

Sin embargo, en octubre se observó un repunte parcial, con 10 correos electrónicos abiertos, tres descargas y dos ingresos de datos en portales (Figura 7). Esta instancia sugiere fluctuaciones en la atención del usuario, o en su capacidad de detección de amenazas, ya que en esa campaña la simulación tenía mayor trabajo de preparación para convencer al usuario. Por último, en noviembre de 2025 se mostró un comportamiento similar al mes de septiembre; este cambio pudo ser porque la campaña no fue tan personalizada como la de octubre. Estas variaciones permiten identificar patrones de riesgo y niveles de madurez en la concientización del personal.

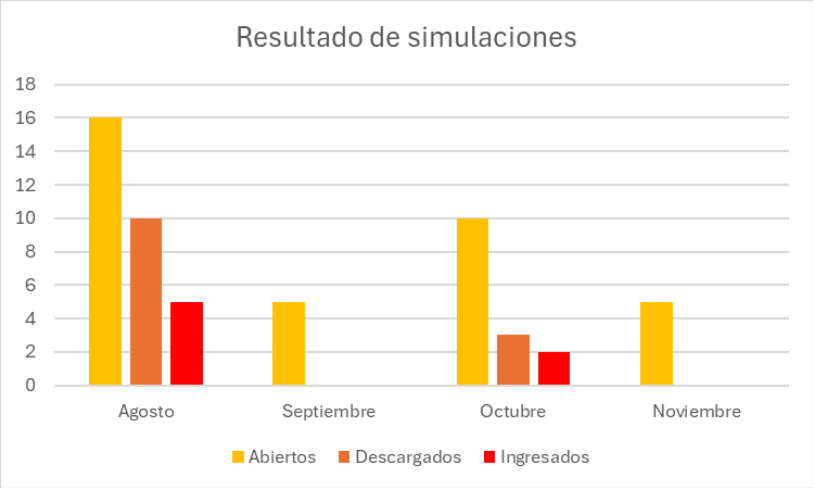


Figura 7. Resultados del comportamiento de los usuarios durante las simulaciones.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio permitió analizar el nivel de madurez en ciberseguridad del CENAMEP AIP y de algunos laboratorios secundarios en Panamá, evidenciando buenas prácticas pero también falencias relevantes. Aunque los laboratorios secundarios sean empresas pequeñas, muchas de las mejoras no requieren grandes inversiones, sino acciones para establecer y cumplir políticas y procedimientos básicos de seguridad. Ante los datos presentados (ver Sección 3, “Simulaciones”), esta indicación aplica también al CENAMEP AIP.

Los resultados de las simulaciones demostraron que, si bien hubo una reducción inicial del comportamiento riesgoso, la reincidencia observada (en noviembre) confirma que la concientización en ciberseguridad no es un proceso lineal ni permanente. Se requiere atención constante. Estas variaciones refuerzan la necesidad de mantener programas continuos de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

capacitación y refuerzo, especialmente considerando que el factor humano sigue siendo la vulnerabilidad más crítica.

Se recomienda formalizar y aplicar un conjunto de políticas y procedimientos que regulen aspectos clave de la seguridad informática, como por ejemplo, la asignación de roles, la segmentación de datos, el uso de contraseñas robustas y la planificación de la continuidad del negocio/empresa en el ambiente de la ciberseguridad. Todas estas prácticas pueden implementarse sin costo significativo y con un alto impacto en la protección institucional. Asimismo, es esencial mantener procesos de sensibilización continua para que el personal reconozca su rol como pilar fundamental de la ciberseguridad en la organización. En este marco, este proyecto abre una ventana importante: es necesario continuar este tipo de estudios y actividades para la constante protección del patrimonio informático del CENAMEP AIP, los laboratorios secundarios de metrología y otras empresas a nivel nacional.

Referencias

[1] I. Aguiar Guillermo, R. Sosa Vera y G. Fuentes Estévez, “Transformación digital de la información documentada en los laboratorios de ensayo y calibración”. Mem. Calid. UH, no. 1, noviembre de 2024.

[2] Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, “El Marco de Seguridad Cibernética (CSF) 2.0 del NIST”. NIST Cybersecurity White Paper, NIST CSWP 29 spa., 2024. [Online]. Disponible en: https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29.spa.

[3] S. M. Martínez, Beltrán, “Todos seguros: una nueva cultura de cuidado de la información”. Proyecto de grado, Universidad del Bosque, Bogotá, 2025. Accedido el 12 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12495/18057.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT, Panamá) por cofinanciar el “Programa de Pasantías Metrológicas - Ciclo 2025 a 2026” (Contrato de Subsidio Económico DDCCT No. 144-2024), que permitió llevar a cabo este proyecto. Asimismo, se agradece a todo el personal del CENAMEP AIP, a los laboratorios secundarios por el tiempo y el interés en este proyecto y a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), por su apoyo técnico y científico en la ejecución de este estudio.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en acceso abierto (open access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos, bajo la licencia Creative Commons CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en este artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

¿ERES MI COMPAÑERO DE COLONIA? Experiencia basada en compañeros de nido en obreras de Atta colombica

Orribarra, Vivian Sara
Universidad Autónoma de Chiriquí
David, Panamá
vivian.orribarra@utp.ac.pa
ORCID: 0009-0000-4307-0111

Amador-Vargas, Sabrina
Smithsonian Tropical Research Institute
Panamá, Panamá
amadors@si.edu
ORCID: 0000-0001-8738-4876

Rodríguez, Angelica
Museo de Peces de Agua Dulce e Invertebrados (MUPADI), Facultad de Ciencias Naturales y Exactas,
Universidad Autónoma de Chiriquí
David, Panamá

Abstract

Ants use chemical and physical signals. Through contact with the antennae the ants send messages to obtain food and defense the colony from intruders. The antennae detect signals in the cuticle (cuticular hydrocarbons) and pheromones released by glands within the body, and each colony presumably shares a colony odour the enables workers to recognize each other. However, it is still unknown how recently emerged workers know their colony odour. Here, we assessed whether experience influences the recognition of Atta colombica nestmate. We established two groups of focal ants based on their experience with foreign ants: experienced and unexperienced ants. Experienced ants were exposed to a foreign stimulus ant, while unexperienced ants were exposed to the smell of other nestmates, and never to a foreign. Four to seven hours after initial training, focal ants were exposed to group of foreign stimulus ants, and the behaviors of each focal ant were recorded. The different behaviors were combined in an aggression index, and we also calculated the total interaction time of each of the two ant groups. Experienced ants were less aggressive and interacted for longer with stimulus ants than unexperienced ants. The experienced ants were able to quickly identify ants from the same colony, while there was no difference in how they treated foreign ants and field ants. The most common behavior in

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

experienced and unexperienced ants was fighting. The unexperienced ants showed greater aggressiveness, and their interaction time was shorter compared to the experimented ants towards foreign ants and the most common behaviors were fighting, C-position, and biting. In sum experimentally demonstrate that experienced ants recognize nestmates, foreign, and field ants.

Keywords: recognition, aggression, communication, leaf-cutter ants, nestmates, experienced.

Resumen

Las hormigas utilizan señales químicas y físicas. A través del contacto con las antenas, las hormigas envían mensajes para obtener alimento y defender la colonia de intrusos. Las antenas detectan señales en la cutícula (hidrocarburos cuticulares) y feromonas liberadas por las glándulas dentro del cuerpo, y presumiblemente cada colonia comparte un olor de colonia que permite a los trabajadores reconocerse entre sí. Sin embargo, todavía se desconoce cómo los obreros recién emergidos conocen el olor de su colonia. Aquí evaluamos si la experiencia influye en el reconocimiento de la compañera de nido de Atta colombica. Establecimos dos grupos de hormigas focales basándonos en su experiencia con hormigas extranjeras: hormigas con experiencia (Exp) y sin experiencia (Non-exp). Las hormigas Exp fueron expuestas a una hormiga estímulo extranjera, mientras que las hormigas Non-Exp fueron expuestas al olor de otros compañeros de nido, y nunca a una extraña. Cuatro a siete horas después del entrenamiento inicial, las hormigas focales fueron expuestas a un grupo de hormigas estímulo extranjeras, y se registraron los comportamientos de cada una. Los diferentes comportamientos se combinaron en un índice de agresión, y también calculamos el tiempo total de interacción de cada uno de los dos grupos de hormigas. Las hormigas Exp eran menos agresivas e interactuaban durante más tiempo con las hormigas estímulo que las Non-Exp. Las hormigas Exp podían identificar rápidamente a las hormigas de la misma colonia, mientras que no había diferencia en cómo trataban a las hormigas extranjeras y a las hormigas de campo. El comportamiento más común en hormigas Exp y Non-Exp era la pelea. Las hormigas Non-Exp mostraron mayor agresividad y su tiempo de interacción fue más corto en comparación con las hormigas Exp hacia hormigas extranjeras, siendo los comportamientos más comunes pelea, posición C y mordiscos. En resumen, se demostró experimentalmente que las hormigas Exp reconocen compañeras de nido, forasteras y hormigas de campo.

Palabras claves: reconocimiento, agresividad, comunicación, hormigas cortadoras de hojas, compañeros de nido.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Los insectos sociales se caracterizan por una organización compleja basada en la cooperación entre individuos, lo que les permite realizar de manera eficiente tareas esenciales como la obtención de recursos, el cuidado de la descendencia y la defensa del nido. Sin embargo, la vida en sociedades numerosas también implica el riesgo de interacción con individuos ajenos al grupo, lo que ha favorecido la evolución de mecanismos de reconocimiento capaces de discriminar entre compañeros de colonia y foráneos. Estos sistemas de reconocimiento son fundamentales para mantener la cohesión social y la integridad de la colonia, ya que permiten restringir los comportamientos cooperativos a los miembros del grupo y desencadenar respuestas defensivas frente a intrusos, optimizando así el funcionamiento del sistema social [8], [9].

En las hormigas, el reconocimiento social se basa principalmente en señales químicas, particularmente en los hidrocarburos cuticulares que conforman el denominado “olor de colonia”, un perfil químico específico generado por las propias obreras y continuamente homogenizado mediante interacciones sociales como el acicalamiento y la trofalaxia. Este mecanismo permite distinguir eficazmente entre compañeras de nidos y no compañeras de nido, evitando conflictos innecesarios con individuos de la misma colonia y facilitando la defensa frente a colonias vecinas [9], [10]. En especies del género Atta, cuyas colonias pueden albergar millones de obreras altamente interconectadas, el reconocimiento químico resulta especialmente crítico. Estudios previos han demostrado que las obreras de Atta discriminan a los individuos foráneos en función de señales cuticulares, desencadenando respuestas agresivas variables [11]. No obstante, aún se conoce poco sobre el papel de la experiencia individual en estos procesos de reconocimiento. Por ello, el objetivo de este estudio es evaluar cómo la experiencia influye en el reconocimiento entre compañeras y foráneas mediante experimentos controlados en laboratorio. Comprender si este comportamiento es estrictamente innato o modulable por aprendizaje permitirá esclarecer el grado de flexibilidad del sistema de reconocimiento frente a variaciones temporales en los perfiles químicos, contribuyendo al entendimiento de la organización social y la plasticidad conductual en hormigas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Colecta de las colonias y Adaptación de las colonias

El muestreo se llevó a cabo en el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales en Gamboa, Panamá. Entre abril y junio del 2019, se recolectaron 10 colonias de hormigas. Las colonias fueron recolectadas, preferentemente de tamaño pequeño a mediano, con una a tres entradas. Para extraer cada una de las colonias, primero se localizó la entrada y

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

posteriormente se introdujo una varilla de madera que permitió medir la profundidad del orificio; y así estimar la profundidad a la cual se debía excavar (H. Marti, com. pers.). En cada colonia, se eligió una de las entradas y se midieron 10 cm en todas las direcciones desde la entrada. Lo anterior para excavar un área de forma cuadrada hasta encontrar el primer jardín del hongo con la reina. En julio de 2019, las colonias fueron adaptadas a sus nuevos hábitats; para lo cual, se procedió a colocarlas en un contenedor tipo Tupperware.

B. Fase de aprendizaje o entrenamiento

En agosto, el estudio consistió en dos fases: aprendizaje y prueba. Utilizamos 10 colonias originales y se extrajo una porción del jardín de hongos en 10 subcolonias. Formamos tres grupos de cuatro hormigas; a este grupo lo denominamos “hormigas con experiencia” (Exp). Asimismo, utilizamos otros tres grupos de cuatro hormigas que denominamos “hormigas sin experiencia” (Non-exp); estas son las ‘hormigas focales’ que aprenden los olores de las hormigas instructoras. Los dos grupos de hormigas fueron entrenados con un tercer grupo de hormigas que denominamos ‘hormigas estímulo’; estas hormigas tienen la función de enseñar los diferentes olores a las hormigas focales. Utilizamos hormigas de la misma colonia y de campo para los entrenamientos. Para evitar confundirlas, marcamos las hormigas focales y esperamos de 4 a 7 horas para realizar los ensayos.

En la fase de prueba, utilizamos primero las hormigas Non-exp y luego las Exp. Para las hormigas estímulo en el ensayo, utilizamos tres tipos de hormigas: de la misma colonia, de campo, y otras hormigas de la colonia ubicada en el laboratorio. Después de la prueba de entrenamiento, ninguna hormiga regresó a su colonia de origen [1]. Grabamos videos de cinco minutos y registramos el tiempo; posteriormente extrajimos la frecuencia de los comportamientos utilizando el software BORIS.

Los comportamientos que consideramos como variables fueron específicamente: antenas, mandíbula abierta, postura en C, mordedura y pelea [ver fig.1], a los cuales asignamos una puntuación de 1 a 5 para cada hormiga focal (Exp y Non-exp), y luego normalizamos la suma de los tres valores resultantes con el tiempo total de interacción, es decir, el tiempo de contacto físico ([1]).

$$\text{IA} = \frac{\text{puntuación} \times \text{t. de cada hormiga (seg)}}{\text{Tiempo Total de la interacción}}$$

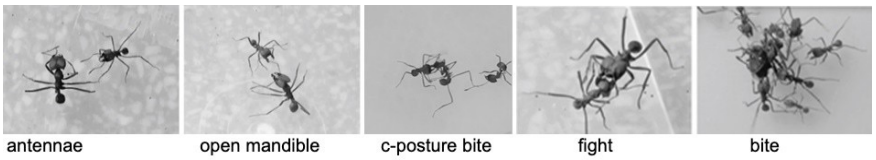


Figura. 1 Comportamientos que se registraron en hormigas focales inexpertas y experimentadas en hormigas cortadoras de hojas (A. colombica).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

C. Análisis estadístico de los datos

Para el procesamiento y análisis de datos, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad del índice de agresión y el tiempo total de interacción de las hormigas, la cual indicó que el conjunto de datos no presentaba una distribución normal. Posteriormente, se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para comparar la tasa de agresión entre hormigas Exp y Non-exp. Como lo realizaron [1], los datos de agresión y el tiempo total de interacción de hormigas experimentadas e inexpertas fueron analizados mediante modelos lineales generalizados (GLM), con el índice de agresión transformado por raíz cuadrada como variable dependiente y la experiencia como variable independiente. Para este propósito, se utilizó el software RStudio Team 2015.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las hormigas Non-exp presentaron un índice medio de agresión significativamente mayor (0,038) que las hormigas Exp (0,006), lo que indica que la experiencia previa reduce de forma general los comportamientos agresivos. Este patrón sugiere que el entrenamiento influye en el aumento de conductas pasivas y en una mejor capacidad para reconocer señales químicas emitidas por las hormigas estímulo. Las hormigas Non-exp, al no estar familiarizadas con los perfiles de hidrocarburos cuticulares de individuos foráneos, reaccionaron de manera más rápida y agresiva, probablemente debido a las diferencias químicas con respecto a sus compañeras de colonia, tal como se ha documentado en otros sistemas de hormigas donde la agresividad aumenta ante señales no familiares [2], [3]

A pesar de que las hormigas Exp invirtieron más tiempo total en interacción con las hormigas estímulo, estas interacciones fueron menos agresivas en comparación con las de las hormigas Non-exp, las cuales identificaron más rápidamente a las hormigas estímulo, pero respondieron con mayor agresividad. El tiempo total de interacción disminuyó significativamente con el nivel de experiencia, particularmente en las interacciones con congéneres de la misma colonia, lo que sugiere una mayor eficiencia en el proceso de reconocimiento. Este resultado es consistente con estudios que muestran que la experiencia mejora la precisión del reconocimiento químico y reduce la necesidad de respuestas defensivas intensas [4],[5].

El repertorio conductual también difirió entre grupos: las hormigas Non-exp mostraron con mayor frecuencia mordeduras, peleas y posturas defensivas, mientras que las hormigas Exp exhibieron un conjunto más limitado y controlado de comportamientos. La ausencia de agresión hacia semejantes de la misma colonia en hormigas Exp refuerza la importancia de la familiaridad con el olor de colonia, el cual se construye y mantiene mediante interacciones sociales como el acicalamiento. Estudios previos en especies del género Atta han demostrado que los hidrocarburos cuticulares permiten discriminar entre compañeros

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de colonia, colonias vecinas e incluso especies cercanas, y que estos perfiles pueden verse modulados por factores ambientales como el sustrato foliar [6],[7].

En conjunto, los resultados indican que la experiencia mejora la discriminación entre compañeras y foráneas, disminuye la agresividad y aumenta la flexibilidad del sistema de reconocimiento. La exposición temprana y repetida a olores no familiares parece permitir la habituación y el aprendizaje de señales químicas externas, lo que concuerda con la idea de que el reconocimiento social en hormigas no es exclusivamente innato, sino parcialmente dependiente del aprendizaje. Esta plasticidad conductual podría explicar la reducción de la agresividad observada en hormigas con experiencia frente a hormigas extranjeras y de otras colonias, y contribuye a una mejor comprensión de los mecanismos que regulan la organización social en Atta [2],[5].

4. CONCLUSIONES

La experiencia de las hormigas Atta colombica impacta significativamente en tareas como la búsqueda de recursos, el cuidado de la cría y el reconocimiento de parejas e intrusos. La evidencia experimental sugiere que las hormigas con experiencia son mejores distinguiendo entre miembros de la colonia, intrusos y colonias vecinas. Este reconocimiento olfativo beneficia a la colonia al potenciar actividades como el intercambio de alimentos y el acicalado. El estudio revela que la experiencia y el reconocimiento están interrelacionados, lo que sugiere investigaciones adicionales sobre esta capacidad en otras especies de Atta y en la familia más amplia de las Formicidae para comprender mejor el aprendizaje y las respuestas agresivas en estas hormigas.

Además, tras la eclosión, las hormigas pasan por un periodo de aprendizaje para reconocer los olores de la colonia, minimizando los conflictos innecesarios con sus compañeros de nido. Las futuras investigaciones se centrarán en examinar los compuestos químicos en las cutículas tanto de hormigas con experiencia como sin experiencia para observar diferencias en la respuesta a las hormigas estímulo. Además de cuánto tiempo duran los efectos de la experiencia a lo largo del tiempo, si la agresividad disminuye, se mantiene estable o aumenta, y si las hormigas pueden aprender a reconocer los olores no propios de la colonia. Esto podría explicar cómo algunos organismos conviven con colonias de hormigas sin ser atacados

Referencias

[1] [1] J. Larsen, B. Fouks, N. Bos, P. d'Ettorre y V. Nehring, "Variation in nestmate recognition ability among polymorphic leaf-cutting ant workers", J. Insect Physiol., vol. 70, pp. 59–66, noviembre de 2014. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.09.002

[2] [2] R. D. Dimarco, A. G. Farji-Brener y A. C. Premoli, "Dear enemy phenomenon in the leaf-cutting ant Acromyrmex lobicornis: Behavioral and genetic evidence", Behav. Ecol., vol. 21, n.º 2, pp. 304–

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

310, 2010. Disponible: https://doi.org/10.1093/beheco/arp190
[3] [3] G. Zorzal et al., “The dear enemy effect drives conspecific aggressiveness in an Azteca-Cecropia system”, Scientific Rep., vol. 11, n.º 1, marzo de 2021. Disponible: https://doi.org/10.1038/s41598-021-85070-3
[4] [4] N. Stroeymeyt, F. J. Guerrieri, J. S. van Zweden y P. d›Ettorre, “Rapid Decision-Making with Side-Specific Perceptual Discrimination in Ants”, PLoS ONE, vol. 5, n.º 8, agosto de 2010, art. n.º e12377.]. Disponible: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012377
[5] [5] D. Baracchi, M. Giurfa y P. d’Ettorre, “Formic acid modulates latency and accuracy of nestmate recognition in carpenter ants”, J. Exp. Biol., vol. 224, n.º 20, octubre de 2021. Disponible: https://doi.org/10.1242/jeb.242784
[6] [6] J. V. Hernández et al., “Leaf-cutter ant species (Hymenoptera: Atta) differ in the types of cues used to differentiate between self and others”, Anim. Behav., vol. 71, n.º 4, pp. 945–952, abril de 2006. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.09.004
[7] [7] L Valadares, D. Nascimento y F. Nascimento, “Foliar substrate affects cuticular hydrocarbon profiles and intraspecific aggression in the leafcutter ant atta sexdens”, Insects, vol. 6, n.º 1, pp. 141–151, febrero de 2015. Disponible: https://doi.org/10.3390/insects6010141
[8] [8] E. O. Wilson y B. Hölldobler The Ants. Cambridge: Belknap Press Harvard Univ. Press., 1990.
[9] [9] E. O. Wilson, The Insect Societies, 5a ed. Cambridge: Belknap Press Harvard Univ. Press, 1971.
[10] [10] P. d’Ettorre y A. Lenoir, “Nestmate recognition”, en Ant Ecology. Oxford Univ. Press, 2009, pp. 194–209. Disponible: https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199544639.003.0011
[11] [11] C. R. Currie, J. A. Scott, R. C. Summerbell y D. Malloch, “Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites”, Nature, vol. 398, n.º 6729, pp. 701–704, abril de 1999. Disponible: https://doi.org/10.1038/19519

Agradecimientos

Al Laboratorio de Ecología de Comportamiento Tropical (Sabrina Amador, Yorlenis González, Rosannette Quesada, Dumas Gálvez y demás colaboradores); Hannah Marti y William Wcislo por sus consejos, aportes y la donación de colonias de hormigas; Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales por el espacio y equipos facilitados y comité asesor por su apoyo, conocimientos y colaboración durante esta investigación.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Punto del hielo para el seguimiento de termómetros: análisis comparativo de su realización utilizando agua destilada, filtrada y de grifo

Acevedo, Héctor
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-3878-1298

Prado, Ebony
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-1614-5410

Castro, Fanny
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-7181-8203

Abstract

Platinum resistance thermometers are verified through measurements taken at the triple point of water (0.01 °C) or at the freezing point of ice (0 °C) [1], [2]. Once the thermometer's reference value has been established, either at the triple point of water or at the melting point of ice, the measurements must be compared with the previous value and be within the limits set by the user. Control charts are then drawn up to determine the derive of the thermometers over time [3]. In preparing this study, 30 measurements were taken to determine the temperature differences in the ice point using different types of water: distilled water, tap water, and filtered tap water [4]. The aim was to generate information that would be useful for secondary laboratories, study centers, and industry in general that use RTD or IPRT temperature sensors in their processes and need to carry out control and monitoring to ensure the quality of the results [5].

Keywords: Distilled water, derive, freezing point, triple point of water, platinum resistance thermometer.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

Los termómetros de resistencia de platino se verifican a través de mediciones realizadas en el punto triple del agua (0,01 °C) o en el punto del hielo (0 °C) [1], [2]. Una vez establecido el valor de referencia del termómetro, ya sea en el punto triple del agua o en el punto de fusión del hielo, las mediciones deben ser comparadas con el valor anterior y estar dentro de los límites establecidos por el usuario, y de esta forma se elaboran las cartas de control para determinar la deriva de los termómetros a lo largo del tiempo. En la elaboración de este estudio se tomaron 30 mediciones buscando determinar las diferencias de temperatura en la realización del punto del hielo empleando diferentes tipos de agua: destilada, agua de grifo y agua de grifo filtrada. Esto con el objetivo de generar información que sea de utilidad para los laboratorios secundarios, centros de estudios e industria en general que utilizan dentro de sus procesos sensores de temperatura de tipo RTD o IPRT y deban realizar control y seguimiento como aseguramiento de la calidad de los resultados.

Palabras claves: Agua destilada, deriva, punto del hielo, punto triple del agua, termómetro de resistencia de platino.

1. INTRODUCCIÓN

El punto de fusión del agua es una referencia de temperatura muy sencilla, eficaz y barata. La realización del punto del hielo con agua pura a una presión atmosférica de 101 325 Pa es cercano a 0,0024 °C. Sin embargo, éste no es el punto de hielo tal y como se utiliza como referencia de temperatura. El punto de hielo práctico es la temperatura de equilibrio del hielo y el agua saturada de aire, que se produce a una presión de 101 325 kPa a la temperatura inferior de 0 °. La diferencia de 0,0024 °C se debe al aire disuelto en el agua y el hielo [3].

Históricamente, el punto de hielo era el punto que definía muchas escalas de temperatura hasta que desarrollaron las celdas de triple punto del agua, más precisas. Sigue desempeñando un papel importante en termometría, ya que es un punto fijo que puede obtenerse fácilmente en casi cualquier laboratorio con un coste mínimo. Si los requisitos de precisión son de ±0,01 °C o superior, se debe utilizar el punto triple del agua [4].

La verificación en el punto del hielo de los termómetros de resistencia de platino es útil para comprobar su estabilidad y deriva en el tiempo, lo que puede servir para establecer periodos de calibración y su comprobación entre calibraciones, sobre todo cuando es sometido a altos rangos de temperatura [5].Los Institutos Nacionales de Metrología (INM)

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

por recomendaciones de normas internacionales como ASTM E563 y guías técnicas utilizan agua destilada por ser libre de contaminantes, como minerales, bacterias, metales pesados y pesticidas para realizar el punto de fusión del agua. Existe una diferencia al realizar el punto del hielo con otros tipos de agua, este estudio pretendía determinar cuánto es esa diferencia de temperatura al usar agua filtrada y de grifo respecto a las variaciones que se dan utilizando agua destilada. Esto con el objetivo de generar información que sea de utilidad para otros laboratorios secundarios, la industria en general, instituciones de educación superior, entre otros que utilizan dentro de sus procesos sensores de temperatura, y deban realizar control y seguimiento como aseguramiento de la calidad de los resultados.

2. MÉTODO

A. Realización del punto del hielo

Para la realización del punto del hielo el laboratorio debe encontrarse a una temperatura ambiente de 23 °C ± 5 °C y una humedad relativa menor de 65 % sin condensación [6]. Todos los materiales usados en la preparación deben estar limpios y utilizar guantes si se considera necesario para no contaminar la mezcla.

Primero se debe llenar el recipiente Dewar con el hielo finamente triturado y agua fría hasta lograr una mezcla homogénea, debe compactarse en el frasco tanto hielo como sea posible y extraer el agua acumulada en el fondo de ser necesario. Además, se utiliza un atomizador para controlar la cantidad de agua que se le agrega a la mezcla y de esta manera lograr la repetibilidad del fenómeno [5]. Posteriormente se perfora un pozo en el baño de hielo con la ayuda de una varilla de diámetro similar al termómetro a utilizar, luego insertar el termómetro en el pozo, se debe tomar en cuenta la profundidad de inmersión del termómetro y una vez que llegue al fondo hay que sacarlo al menos 2 cm para que no toque el agua del fondo y esté completamente inmerso en el baño de hielo (Figura 1) [1]. Se deja estabilizar el sistema, dejando reposar el termómetro alrededor de 20 minutos, antes de realizar la toma de datos. Una vez completado el tiempo se procede a realizar la toma de aproximadamente 50 datos, se registran las condiciones ambientales y se analizan los datos para determinar cuál fue la variación de temperatura de las realizaciones del punto del hielo usando diferentes aguas ya sea filtrada o de grifo, respecto al agua destilada.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

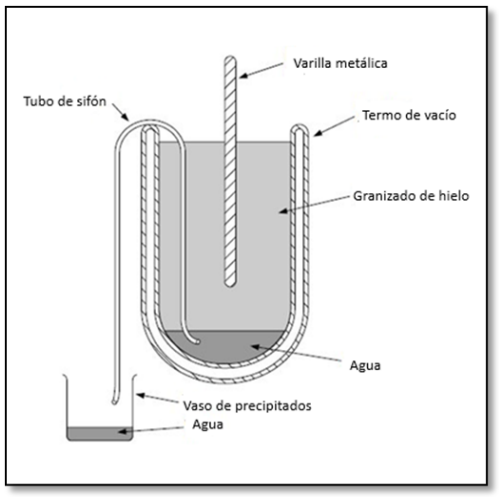


Figura 1. Esquema del punto del hielo

3. RESULTADOS

A. VALIDACIÓN DEL PUNTO DEL HIELO EN EL LABORATORIO SECUNDARIO DE TEMPERATURA DE CENAMEP AIP

Cabe señalar que la temperatura del punto triple del agua es 0,01 °C (273,16 K), mientras que la del punto del hielo es 0 °C (273,15 K). En otras palabras, existe una diferencia de 10 mK (0,01 °C) entre ambos puntos. Por lo tanto, para validar que el sensor utilizado realmente alcanza la temperatura correspondiente al punto de fusión del hielo, debe observarse una diferencia cercana a 0,01 °C respecto al valor del punto triple. Aclarado lo anterior (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3) se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio para las tres condiciones evaluadas: agua destilada, agua filtrada y agua de grifo respectivamente. En las tablas se incluyó las fechas de realización, cinco de las diez mediciones promedio para cada tipo de agua, la variación de resistencia representada por el símbolo ΔR que corresponde a la diferencia entre la resistencia obtenida en cada punto y la resistencia base establecida como cero (100,0158 Ω), así como el ΔR expresado en milikelvin (mK). Asimismo, se incorpora el delta de temperatura, definido como la diferencia entre el valor del punto triple del agua medido con el sensor y el valor obtenido en cada realización, también expresado en mK.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1: Resultados del agua destilada.

Fecha	Promedio	ΔR [Ω]	ΔT [mK]	ΔR [Ω] PTA-Hielo	ΔT [mK] hielo-pta	Etiqueta
2024-05-22	100,0158		0,00	0,0046	11,59	AguaDest-01
2024-05-23	100,0157	-0,00004391	-0,11	0,0047	11,70	AguaDest-02
2024-06-19	100,0159	0,00015130	0,38	0,0045	11,21	AguaDest-03
2024-06-20	100,0157	-0,00005870	-0,15	0,0047	11,74	AguaDest-04
2024-07-17	100,0159	0,00010089	0,25	0,0045	11,34	AguaDest-05

Tabla 2: Resultados del agua filtrada.

Fecha	Promedio	ΔR [Ω]	ΔT [mK]	ΔR [Ω] PTA-Hielo	ΔT [mK] hielo-pta	Etiqueta
2024-06-17	99,9616	-0,05414078	-135,35	0,0588	146,94	AguaFiltrada-01
2024-06-17	99,9845	-0,03127703	-78,19	0,0359	89,78	AguaFiltrada-02
2024-07-15	99,9934	-0,02237703	-55,94	0,0270	67,53	AguaFiltrada-03
2024-07-27	99,9969	-0,01893745	-47,34	0,0236	58,93	AguaFiltrada-04
2024-09-02	99,9943	-0,02146161	-53,65	0,0261	65,24	AguaFiltrada-05

Tabla 3: Resultados del agua de grifo.

Fecha	Promedio	ΔR [Ω]	ΔT [mK]	ΔR [Ω] PTA-Hielo	ΔT [mK] hielo-pta	Etiqueta
2024-06-18	99,9989	-0,01685703	-42,14	0,0215	53,73	Agua-01
2024-06-17	99,9987	-0,01706911	-42,67	0,0217	54,26	Agua-02
2024-07-13	100,0016	-0,01420286	-35,51	0,0188	47,10	Agua-03
2024-09-03	100,0014	-0,01442265	-36,06	0,0191	47,64	Agua-04
2024-09-04	100,0060	-0,00980120	-24,50	0,0144	36,09	Agua-05

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Se graficó la variación de temperatura (Figura 2) obtenida en las realizaciones del punto del hielo para el sensor IPRT-21, utilizando tres tipos de agua: destilada, filtrada y de grifo. Se observó que las mediciones con agua destilada registraron la menor desviación respecto al valor de referencia, manteniéndose cercanas a 0 mK. En contraste, el uso de agua filtrada y de grifo generó una mayor dispersión y desviaciones negativas, alcanzando valores por debajo de 100 mK en algunos casos, lo que evidenció una menor cercanía térmica y una mayor influencia de impurezas o diferencias en la compactación del hielo. Estos resultados permitieron visualizar cómo la calidad del agua empleada afectó la reproducibilidad del punto del hielo y, en consecuencia, la confiabilidad en la verificación de sensores de temperatura.

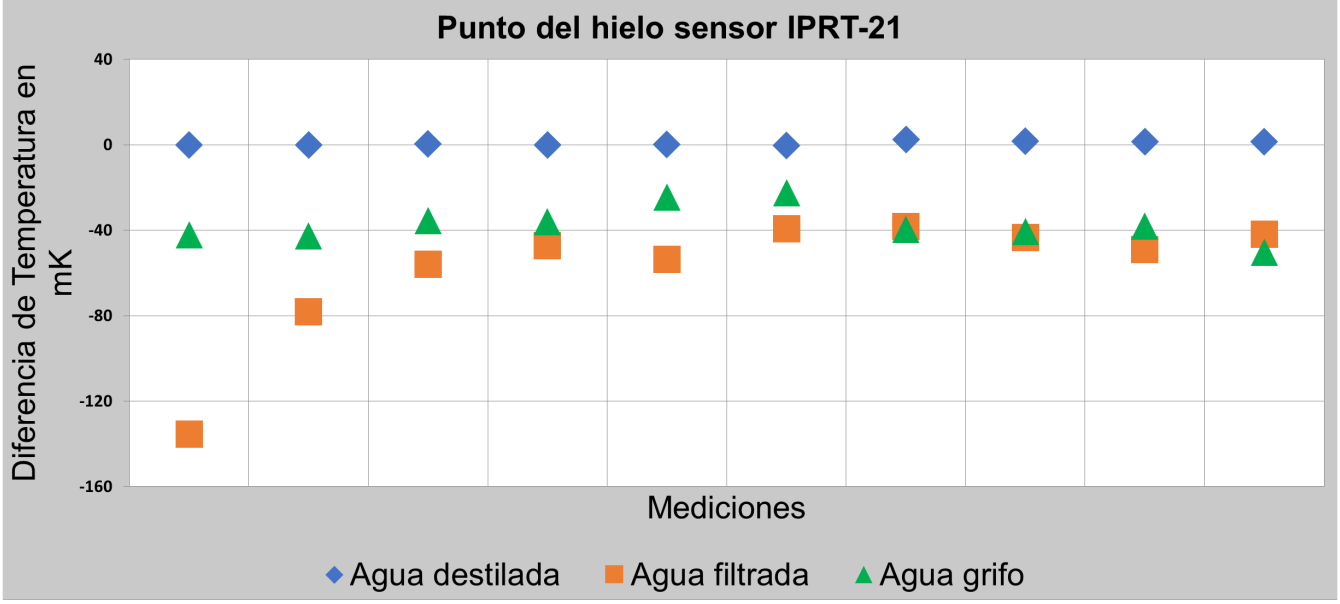


Figura 2. Resultados de la realización de los hielos del sensor IPRT-21.

4. CONCLUSIONES

Durante las pruebas, las realizaciones con agua de grifo presentaron mayor estabilidad y valores cercanos al punto teórico del hielo, por lo cual es una alternativa económica para verificar los termómetros siempre y cuando no se utilice en aplicaciones que requieran gran exactitud y se adapte a las necesidades del operador.

Las mayores diferencias de los resultados de agua filtrada coinciden con las fechas del cambio del filtro del dispensador de agua, esto pudo alterar la concentración de minerales en la muestra de agua. Se debe prestar especial cuidado al momento de realizar el punto del hielo porque se puede ver afectado por las impurezas del agua.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] BIPM, The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), Sèvres, Francia: Bureau International des Poids et Mesures, 1990.
[2] JCGM, Evaluation of Measurement Data — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Joint Committee for Guides in Metrology, 2008.
[3] Consultative Committee for Thermometry, Report of the Meeting, 2022.
[4] J. V. Nicholas and D. R. White, Traceable Temperatures, 2nd ed., Wiley, 2001.
[5] Centro Español de Metrología (CEM), “Guía técnica para la verificación de termómetros de resistencia de platino en el punto del hielo”, 2020.
[6] ISO/IEC 17025, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, International Organization for Standardization, 2017.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Diseño y Construcción de un Sistema Portátil para la Verificación en Sitio de Medidores de Energía Eléctrica a Nivel Residencial

Deng Guan, Hector Javier
Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0004-0161-6322

Ruiz Agrazal, Isaac Eliecer
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-2207-2673

Abstract

This work presents progress in the design and construction of a portable, low-cost system for on-site verification of residential electric meters. The device integrates a 1200 VA resistive load and an energy and power measurement system, with the goal of partially complying with standards such as DGNTI-COPANIT 70:2004, ANSI C12.1-2024, and IEC 62052-11:2020. The development included a comparative analysis of commercial equipment, modular design, and laboratory tests using calibrated reference instruments to ensure traceability. Results show maximum errors of ±0,5 % in voltage, current, and power measurements, confirming linear behavior across the entire operating range. In addition, automatic safety functions and a web interface were implemented to enable multi-platform interaction, improving accessibility and reducing development time. Although the system does not fully meet the ±0,2 % target, improvements in ground loop management were identified during testing. This prototype represents a reliable tool for partial verification of electric meters and lays the foundation for future optimizations.

Keywords: verification, energy meters, power control, portable system, metrology.

Resumen

Este trabajo presenta el avance en el diseño y construcción de un sistema portátil y de bajo costo para la verificación en sitio de medidores eléctricos residenciales. El dispositivo integra una carga resistiva de 1200 VA y un sistema de medición de energía y potencia eléctrica, con el objetivo de cumplir de manera parcial con normativas como DGNTI-COPANIT 70:2004,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ANSI C12.1-2024 e IEC 62052-11:2020. El desarrollo incluyó un análisis comparativo de equipos comerciales, diseño modular y pruebas en laboratorio con equipos patrones calibrados para garantizar trazabilidad. Los resultados muestran errores máximos de ±0,5 % en mediciones de tensión, corriente y potencia, confirmando un comportamiento lineal en todo el rango operativo. Además, se implementaron funciones de seguridad automática y una interfaz web que permite interacción multiplataforma, mejorando accesibilidad y reduciendo tiempos de desarrollo. Aunque el sistema no cumple plenamente el objetivo de ±0,2 %, durante las pruebas se identificaron mejoras en el manejo de lazos de tierra. Este prototipo constituye una herramienta confiable para la verificación parcial de medidores eléctricos y sienta las bases para futuras optimizaciones.

Palabras claves: verificación, medidor de energía, control de potencia, sistema portable, metrología.

1.INTRODUCCIÓN

Este trabajo muestra los avances en el diseño y construcción de un sistema portátil y de bajo costo, para la verificación de medidores eléctricos residenciales, conformado por una carga resistiva (1200 VA) y un sistema de medición de energía y potencia eléctrica, con el objetivo que apoye en la actividad de verificación que se rige por un marco normativo y resoluciones específicas dispuesto por las autoridades reguladoras. El objetivo de este proyecto es brinda de una herramienta con rigor metrológico para la verificación de medidores eléctricos, que pueda ser utilizado por las autoridades verificadoras.

Se implementan en el prototipo elementos de seguridad automática, como control de corriente, verificación de fases, monitoreo de temperatura y accionamiento de parada automática ante condiciones anómalas de funcionamiento. Este prototipo se diseña esperando que pueda realizar de manera parcial pruebas según lo descrito en la norma DIGENTI – COPANIT 70:2004 [4] y según los ensayos requeridos por la construcción del medidor ya sean según las normas ANSI 12.1-2024 [1] o la IEC 62052-11:2020 [2].

2. METODOLOGÍA

En el desarrollo del proyecto se realizó una investigación inicial sobre los métodos constructivos de placas de circuito impreso (PCB) que pudieran implementarse en el CENAMEP AIP. Se llevó a cabo un estudio comparativo de diferentes productos comerciales dedicados a la verificación de medidores eléctricos. Este análisis permitió identificar las características más relevantes y se definieron los requisitos para el desarrollo del dispositivo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

El diseño del sistema se realizó siguiendo un enfoque modular, orientado a garantizar escalabilidad, facilidad de mantenimiento y la posibilidad de incorporar funciones futuras. Las pruebas de funcionalidad (Figura 1) se realizaron en el laboratorio del CENAMEP AIP, utilizando equipos patrones de precisión calibrados para garantizar la trazabilidad de las mediciones. Para cada prueba, se determinó el error comparando los valores medidos con los valores nominales del fabricante; además se incluyó las estimaciones de incertidumbre en las medidas realizadas. Cada prueba se replicó al menos tres veces para garantizar la repetibilidad y confiabilidad de los resultados. Se realizaron ajustes en componentes que no cumplían con los valores nominales, como la adecuación del shunt. Además, se optimizó la disposición de los elementos para reducir el retardo y el ruido eléctrico.

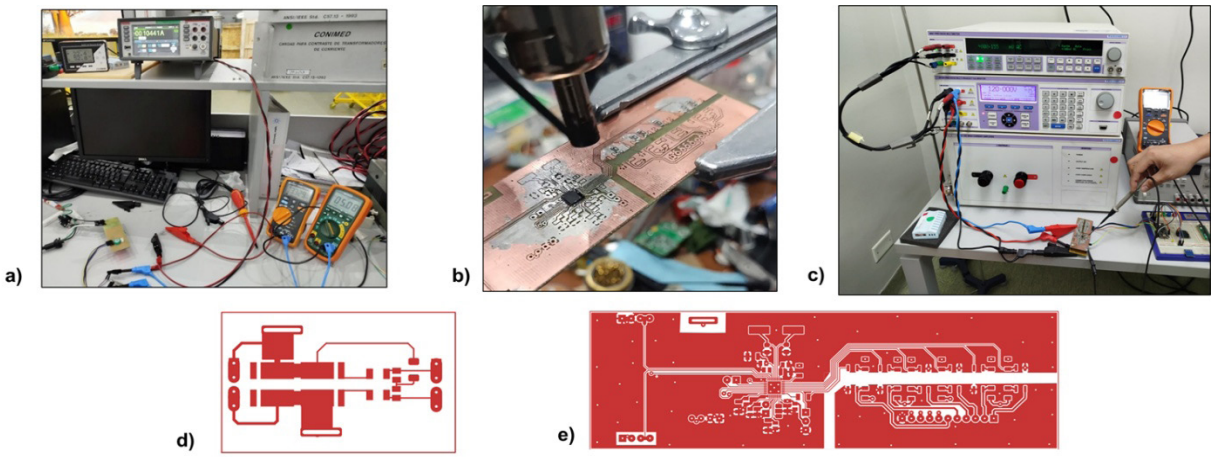


Figura 1. a) Ambiente de pruebas con multímetro de 6 ½ y de mano; b) Montaje de componentes superficiales en la tarjeta de circuito. Nótese el circuito integrado de medición 5,0 X 5,0 mm; c) Prueba en los laboratorios de multifunción del CENAMEP AIP; d) Diseño PCB del resistor de medición de corriente; e) Diseño PCB doble capa del circuito de medición de variables eléctricas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha completado la construcción de las tarjetas de circuitos (Figura 2) encargadas de: unidad de poder principal, la fuente no aislada y el circuito de medición de potencia y energía. Se desarrollaron pruebas que validaron el desempeño de cada etapa; la medición de las tensiones de salida (Tabla 1) buscaban comprobar que los valores estuvieran por debajo de los errores máximos permitidos del 10% [3] con resultados de 0,2 % con respecto al valor nominal. Además de pruebas en aplicando carga que demuestren la estabilidad de las tensiones (Tabla 2).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

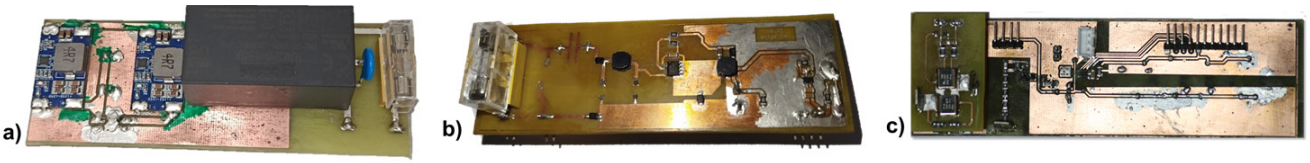


Figura 2. PCB: a) Unidad de poder principal aislada con salida de +3,3 V, +5 V y +15 V. Potencia máxima 20 W. b) Fuente de poder no aislada de precisión de +3,3 V. c) Vista de tarjeta doble capa del circuito medición de potencia y energía, detalle con el arreglo de shunt sensor de corriente, segmento izquierdo de la tarjeta.

Tabla 1. Medición en tensión directa de la fuente no aislada.

Valor indicado (V)	Valor generado (V)	Error (V)	Error (%)	U(k=2) (V)
3,300	3,307	0,007	0,212	0,057

Tabla 2. Resultados aplicando una carga del 90% a la fuente de poder principal.

Salida nominal 3.3 V			Salida nominal 5 V			Tensión principal 15 V	
Resistor (Ω)	Consumo (A)	Tensión (V)	Resistor (Ω)	Consumo (A)	Tensión (V)	Tensión (V)	Error (%)
1,71	1,815	3,297	1,997	2,408	5,056	14,81	-1,267
Carga aplicada (W)			Carga aplicada (W)			Carga (W)	Porcentaje (%)
5,98			12,16			18,14	90,7

Se desarrolló una interfaz web utilizando PHP y la base de datos MySQL para el sistema, con el objetivo de dar mayor accesibilidad y flexibilidad (Figura 3), ya que los usuarios pueden interactuar con el sistema desde cualquier dispositivo que se conecte al dispositivo por medio de Wi-Fi. Además, se reduce los tiempos de desarrollo al permitir utilizar la misma interfaz en una pantalla táctil del dispositivo.

Figura 3. a) Diagrama de bloques del software; b) Visualización de ventana de acceso; c) Captura de ventana con cuadricula donde se muestra de las verificaciones realizadas (datos de prueba).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Para el circuito de medición de potencia y energía se desarrollaron pruebas utilizando un calibrador que permite la inyección de tensión y corriente de forma estable para determinar la precisión de dispositivo. La primera prueba (Tabla 3) consistió en la aplicación de diferentes tensiones en AC, para todo el rango de medida del circuito, aunque la tensión de trabajo nominal del dispositivo sea 120 V a 60 Hz; de esta manera, se determina si la respuesta del dispositivo tendrá un comportamiento lineal en sus errores, siendo el máximo medido 0,5 %. De igual manera se aplicaron corrientes AC (Tabla 4) hasta la mayor corriente con que se trabajará en este dispositivo, 10 A con la que logra alcanzar los 1200 W; para este caso el máximo error porcentual fue de -0,5 %. Además, se aplicó prueba en potencia, manteniendo una tensión de 120 V a 60 Hz, variando las corrientes y los ángulos entre el vector de tensión y corriente para simular factores de potencia capacitiva e inductiva (Tabla 5).

Tabla 3. Resultados en tensión alterna de 60 Hz.

Referencia (V)	Lectura (V)	Error (V)	Error (%)
0,1	0,1	0	-
1	1	0	-
10	10	0	-
50	50,2	0,2	0,4
90	90,4	0,4	0,4
120	120,6	0,6	0,5
127,1	127,6	0,5	0,4
144,1	144,8	0,7	**0,5**

Tabla 4. Resultados en corriente alterna de 60 Hz.

Referencia (A)	Lectura (A)	Error (A)	Error (%)
0,002	0,002	0	-
0,01	0,01	0	-
0,2	0,199	-0,001	**-0,5**
0,5	0,498	-0,002	-0,4
1	0,997	-0,003	-0,3
2	1,993	-0,007	-0,4
5	4,987	-0,013	-0,3
10	9,971	-0,029	-0,3

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 5. Resultados en potencia activa (120 V y U (k=2) 0.1 W)

Corriente (A)	FP	Potencia (W)	Lectura (W)	Error (W)	E (%)
	1	1,2	1,2	0	-
0,01	0,5 cap	0,6	0,6	0	-
	0,5 ind	0,6	0,6	0	-
	1	12	12	0	-
0,1	0,5 cap	6	6	0	-
	0,5 ind	6	6	0	-
	1	120	120,2	0,2	0,2
1	0,5 cap	60	59,5	0,5	**0,8**
	0,5 ind	60	60	0	-
	1	600	600	0	-
5	0,5 cap	300	298,1	-1,9	0,6
	0,5 ind	300	301,2	-1,2	0,4

4. CONCLUSIÓN

Actualmente se ha comprobado el funcionamiento de las fuentes de energía (principal aislada y no aislada para medición) con errores porcentuales muy inferiores a los recomendados por el fabricante, lo que representa una validación del diseño. Las pruebas con el calibrador de precisión evidenciaron un comportamiento lineal en todo el rango de tensiones y corrientes, con errores máximos de ±0,5 %, aunque no cumple plenamente los requerimientos de diseño (±0,2 %). Esto dio paso a la verificación detallada del circuito, descubriendo posibles mejoras en el manejo de los lazos de tierra. Además, el sistema respondió adecuadamente al simular diferentes factores de potencia, validando su funcionalidad, con esto se espera cumplir con el objetivo de tener un dispositivo comprobado y que cumpla con parte de las normativas para realizar la verificación de medidores eléctricos residenciales.

El desarrollo de la interfaz web en permitió una interacción flexible y multiplataforma, mejorando la accesibilidad, la capacidad de incluir nuevas funcionalidades como análisis de los datos y reduce tiempos de desarrollo al reutilizar la misma interfaz. Este proyecto mantiene una amplia documentación para la posterior reproducción del dispositivo siendo esto un objetivo prioritario.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] American National Standard for Electric Meters—Code for Electricity Metering, ANSI C12.1, 2024.
[2] International Electrotechnical Commission, – Electricity metering equipment – General requirements, tests and test conditions – Part 11: Metering equipment, IEC 62052-11:2020, 2020.
[3] Analog Devices, "ADE9153A: Energy Metering IC with Autocalibration," [En línea]. Disponible en: https://www.analog.com/en/products/ade9153a.html. [Revisado: julio 2025].
[4] Ministerio de Comercio e Industrias (MICI), Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 70-2004: Metrología y Medición. Medición de Magnitudes Eléctricas. Medidores de Energía Activa de Corriente Alterna Clase 0,5; 1 y 2, Panamá, 2004. [En línea]. Disponible en: https://www.mici.gob.pa/wp-content/uploads/2021/12/70rt-dgnti-copanit-70-2004-1.pdf. [Revisado: julio 2025].

Agradecimientos

Este proyecto fue posible gracias al apoyo del Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), a través del Programa de Pasantías Metrológicas Ciclo 2025 a 2026. Se agradece y reconoce profundamente el cofinanciamiento de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT, Panamá), mediante el Contrato de Subsidio Económico DDCCT No. 144-2024. Se reconoce también a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), por la orientación académica brindada.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en acceso abierto (open access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Evaluación tecnoeconómica de un Ciclo Rankine Orgánico para el aprovechamiento de energía térmica residual.

Loo Chong, Ana Cristina
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, República de Panamá
ana.loo1@utp.ac.pa - ORCID 0009-0002-2524-2463

López, Guillermo
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Republica de Panamá
guillermo.lopez2@utp.ac.pa – ORCID 0009-0007-8218-9474

Chen, Jorge
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Republica de Panamá
jorge.chen2@utp.ac.pa – ORCID 009-0000-8703-3974

Abstract

This study assesses the technical and economic feasibility of implementing an Organic Rankine Cycle (ORC) in a cement plant in Panama to recover waste heat generated in clinker production kilns, with the objective of promoting more sustainable energy alternatives within the cement industry. The methodology is based on a comprehensive literature review and simulations performed using the Termograf V5.7 software, where the cycle was evaluated with three working fluids: ammonia, isopentane, and R22. The analysis considered thermal efficiency and net power output as key performance indicators. The results indicate that R22 achieved the highest thermal efficiency (10.6%), followed by ammonia (10.2%) and isopentane (9.6%). Consequently, ammonia is regarded as the most balanced option in terms of efficiency and environmental impact. The findings demonstrate that the project is technically and environmentally feasible; however, from an economic standpoint, it is not viable in the short or medium term.

Keywords: Feasibility, Organic Rankine Cycle, Waste heat, Waste thermal energy.

Resumen

Este estudio busca evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar un ORC en una planta cementera en Panamá, para recuperar la energía térmica residual generada en

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

los hornos de producción de Clinker, buscando alternativas energéticas más sostenibles en el sector cementero. La metodología se basa revisiones bibliográficas y simulaciones con el software Termograf V5.7, en donde se evalúa el ciclo con tres fluidos, el amoníaco, isopentano y R22, evaluando la eficiencia térmica y la potencia neta obtenida. Se tiene como resultado que el fluido con mayor eficiencia es el R22 (10.6%), el amoniaco de 10.2% y por último el isopentano de 9.6%, por lo cual se considera que el amoniaco es la opción más equilibrada en términos de eficiencia e impacto ambiental. Se concluye con esta investigación que es un proyecto técnica y ambientalmente viable, pero desde el enfoque económico no es viable a corto y mediano plazo.

Palabras claves: Calor residual, Ciclo Rankine Orgánico, Energía térmica residual, Viabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los grandes desafíos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI y Panamá no escapa de esa realidad, siendo un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático. El aumento en la temperatura global se encuentra en un promedio de hasta 1.5 °C, considerando regiones en donde el incremento puede ser mayor o menor [1].

Las plantas cementeras tienen un alto consumo energético, el cual se le puede atribuir el 11% de la energía eléctrica total consumida por el sector industrial y de cierto modo esto contribuye al uso de los combustibles fósiles [2] [3]; de los procesos dentro de las cementeras podemos destacar la producción del Clinker en donde se utiliza hornos a altas temperaturas, el cual puede generar energías térmicas residuales de 190°C hasta 350°C [4], si estas no son aprovechadas son emitidas a la atmosfera y contribuyen al calentamiento global generando una problemática de contaminación ambiental.

Se propone implementar un Ciclo Rankine Orgánico (ORC) para generar energía eléctrica aprovechando la energía térmica residual, como solución a esta problemática, en donde se analiza el ORC con tres fluidos de trabajo (amoniaco, isopentano y R22), buscando evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar esta tecnología.

En ese sentido, el aprovechamiento de la energía térmica residual industrial es una alternativa que puede contribuir significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta energía, que de otro modo se desperdiciaría, proviene de procesos industriales que se pueden reutilizar para generar electricidad, calentar espacios o producir vapor [5].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MÉTODO

A.Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica nos proporciona un panorama actualizado sobre la implementación de un ORC, permitiendo conocer las ventajas y desventajas de esta tecnología, así como también nos proporciona información sobre las variables de interés como lo son la temperatura de la energía térmica residual, las presiones de operaciones y las condiciones generales del ORC para su estudio.

B. Escenarios analizados

Para el análisis se considera que los gases de escape tienen una composición similar al aire con un flujo másico de gases de 110 kg/s [6], con una temperatura a la entrada del evaporador de 190 °C y a la salida con un rango de temperatura de 160°C a 120°C disminuyendo 10°C en cada simulación.

C. Consideraciones para el análisis de la bomba, turbina, evaporador y condensador

Para el análisis de la bomba y turbina se simularon bajo la suposición de un proceso isentropico (proceso ideal) y se ajusta para una eficiencia isentrópica de bomba 75% y turbina del 80%; para el evaporador se consideró un pinch point de 5°C, para proporciona un equilibrio entre la eficiencia del ciclo y las limitaciones prácticas de diseño y se establece una presión de 20 bar, considerando que se tiene un proceso de adición de calor a presión constante en el evaporador [7] , en cuanto al análisis del condensador, se establece que la temperatura debe ser igual o superior a la temperatura ambiente y la presión debe ser mayor a la atmosférica, esto para garantizar una transferencia de calor efectiva y permite que la turbina opere con contrapresión [6].

D. Escogencia del fluido de trabajo

Para la selección del fluido de trabajo del ORC, se realiza una comparativa entre el amoniaco, isopentano y R22, buscando el fluido más optimo en términos de eficiencia térmica, seguridad e impacto ambiental; cabe señalar que se escoge estos fluidos buscando alternativas que tengan características técnicas similares al R22, pero con menor impacto ambiental [8], [9], Es importante destacar que los tres fluidos escogidos se encuentran dentro de la biblioteca del software Termograf V 5.7, por lo cual no tendremos limitaciones en cuanto al análisis de estos.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

E. Análisis del ahorro económico y el tiempo de retorno de inversión

El cálculo del ahorro económico anual se realizó en base a la potencia neta obtenida multiplicado por la Tarifa con Demanda Máxima (ATD) de B/.0.1310 publicada por la ASEP para el primer semestre de 2025. En referencia a la energía térmica residual se considera una disponibilidad del 90% [10]y el costo de la planta de ORC es estimado a base de B/. 2000.00 por cada kW de potencia que produzca y en el análisis del TRI no se consideran los costos de operación o mantenimiento, solamente se contemplan el costo de inversión inicial.

3. RESULTADOS

A. Eficiencia térmica del ORC.

Se puede observar la eficiencia obtenida en el ORC con el amoniaco, en donde se logra una eficiencia térmica del 10.2% para el ciclo con una eficiencia isentropica de bomba de 75% y de turbina del 80%. La eficiencia lograda en comparación a los estudios de Benites (2010), en donde simulan con condiciones similares se logra una eficiencia del 9.53%, validando que los resultados obtenidos están dentro del rango esperado [11].

Los resultados del análisis para el isopnetano presentados muestran una eficiencia térmica del 9.5%, es importante señalar que la eficiencia térmica obtenida con el uso de isopentano no alcanzó los valores esperados. Teóricamente, se preveía un mejor desempeño en comparación con el amoníaco, con una eficiencia superior al 13 % [12]. Una posible explicación para este comportamiento puede ser que el rango de presiones empleado en la simulación, teniendo una diferencia de presión de 15 bar entre la presión máxima y mínima no fue el óptimo para la operación del isopentano. Este fluido de trabajo presenta un mejor rendimiento en ciclos con diferencias de presión más moderadas; fuera de dicho margen, su eficiencia térmica tiende a disminuir [13].

Para el R22, en donde se logra una eficiencia térmica del 10.6%, logrando una eficiencia mayor del amoniaco y el isopentano, esto es debido al bajo punto de ebullición del R22, que permite evaporarse a temperaturas relativamente bajas sin necesidad de aplicar un sobrecalentamiento significativo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

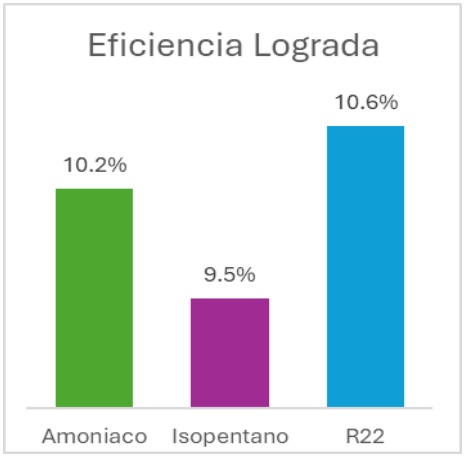


Figura 1. Eficiencia térmica lograda por cada fluido

En la tabla 1, podemos observar que la cantidad de energía térmica transferida en un intercambiador de calor depende directamente de la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el fluido de trabajo y a medida que la tasa de calor aumenta, se observa un aumento en el flujo másico, esto es un comportamiento esperado debido a la Ley de la Conservación de la Energía; al aumentar la tasa de calor que se transfiere en el evaporador, el flujo másico debe aumentar para absorber y transportar la energía disponible.

Tabla 1. Relación entre el flujo de calor de cada escenario y el flujo masico de cada fluido

Escenario a Diferentes Temperaturas °C	Flujo de Calor (kW)	Amoniaco		Isopentano		R22	
		Flujo másico del amoniaco (kg/s)	Potencia neta (kW)	Flujo másico del isopentano (kg/s)	Potencia neta (kW)	Flujo másico del R22 (kg/s)	Potencia neta (kW)
160°C	2420	1,9059	248,166	6,1015	229,286	11,1729	256,01
150°C	3630	2,8589	371,6	9,1523	343,938	16,7594	384,017
140°C	4840	3,8118	495,034	12,2031	458,576	22,3459	512,023
130°C	6050	4,7648	618,467	15,2539	573,221	27,9323	640,027
120°C	7260	5,7178	743,2	18,3046	687,862	33,5188	768,033

El ahorro económico obtenido oscila entre B/. 33,481.08 y B/. 100,443.45 dependiendo del escenario analizando, en la tabla 2, se puede visualizar el ahorro que se puede obtener para cada fluido analizado, así como también el tiempo de retorno de inversión que es de 19.63 años. El escenario más favorable encontrado fue para el R22, con una temperatura a la salida del evaporador, sin embargo es importante señalar que los ahorros obtenidos para el amoniaco se asemejan bastante a los del R22, posicionando el amoniaco en el fluido más equilibrado en cuando a términos de técnicos, económicos y ambientales.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 2. Análisis económico y el tiempo de retorno de inversión

Escenario a Diferentes Temperaturas °C	Ahorro económico anual en dólares con amoniaco	Ahorro económico en dólares anual con isopentano	Ahorro económico anual en dólares con R22	Tiempo de retorno de inversión (años)
160	31906,65	30333,33	33481,08	19,63
150	47776,39	45501,22	50221,68	19,63
140	63646,24	60667,08	66962,37	19,63
130	79515,98	75834,05	83702,76	19,63
120	95552,79	91000,41	100443,45	19,63

4. CONCLUSIONES

El aprovechamiento de la energía térmica residual de los procesos de las plantas cementeras en una Ciclo Rankine orgánico con los tres fluidos analizados es técnicamente viable, pero en términos económicos no es viables ya que el tiempo de retornos de inversión es muy elevada. Desde una perspectiva ambiental, si se considera como un proyecto viable, ya que se contribuiría con la diversificación de la matriz energética reduciendo el consumo de los combustibles fósiles, siendo una alternativa más sostenible a los ciclos de generación de potencia tradicionales.

De los fluidos analizados se obtuvo que el R22, logro una eficiencia térmica de 10.6% frente al 10.2% del amoniaco y 9.5% del isopentano, demostrando que es el fluido con mayor eficiencia, sin embargo su uso conlleva grandes restricciones por su alto impacto ambiental, pese a que el isopentano es el fluido más optimo técnicamente, su baja eficiencia es baja en las condiciones de operación del ORC no se considera viables, siendo el amoniaco el fluido más equilibrado en cuando a términos de eficiencia y sostenibilidad, siempre y cuando se cumplan con las normas de seguridad requeridas para el amoniaco.

Referencias

[1] Ministerio de Ambiente, “Efectos del Cambio Climático en Panamá,” Mi Ambiente. Consultado: el 20 de enero del 2025. [En linea]. Disponible en: https://dcc.miambiente.gob.pa/cambio-climatico-en-panama/

[2] C. Aristizabal and J. González, “Revisión de las medidas en pro de la eficiencia energética y la sostenibilidad de la industria del cemento a nivel mundial,” Revista UIS Ingenierías, vol. 20, no. 3, May 2021, doi: 10.18273/revuin.v20n3-2021006.

[3] Kunak, “Impacto ambiental de la industria cementera, poniendo en valor la monitorización,” Feb.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

21, 2022. Consultado: el 23 de enero del 2025. [En linea]. Disponible en: https://kunakair.com/es/impacto-ambiental-industria-cementera/
[4] Cemex, “Tipos de Cementos,” CEMEX LATAM Holdings. Consultado: el 23 de enero del 2025. [En linea]. Disponible en: https://www.cemexmexico.com/productos/cemento
[5] Atlas Copco, “¿Qué es el calor residual en los procesos industriales?,” Atlas Copco. Consultado: el 23 de enero del 2025. [En linea]. Disponible en: http://atlascopco.com/es-mx/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-waste-heat
[6] L. Serrat A., “Recuperación de calores residuales en una cementera mediante ciclo de Rankine orgánico,” Universidad Pontificia Comillas, Madrid - España, 2023. Consultado: 25 de enero del 2025. [En linea]. Disponible en: https://files.griddo.comillas.edu/tfm-lorenzo-serrat-2022-23.pdf
[7] F. Cardeño, L. J. Gallego, and L. A. Rios, “Refinación de la Fase Glicerina del Biodiesel de Aceite de Palma empleando Ácidos Minerales,” Información tecnológica, vol. 22, no. 6, pp. 15–24, 2011, doi: 10.4067/S0718-07642011000600003.
[8] M. Bianchi et al., “Performance and total warming impact assessment of pure fluids and mixtures replacing HFCs in micro-ORC energy systems,” Appl Therm Eng, vol. 203, p. 117888, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117888.
[9] X. Tao, M. P. Nuijten, and C. A. Infante F., “Two-phase vertical downward flow in plate heat exchangers: Flow patterns and condensation mechanisms,” International Journal of Refrigeration, vol. 85, pp. 489–510, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2017.10.008.
[10] S. Quoilin, M. Van Den Broek, S. Declaye, P. Dewallef, and V. Lemort, “Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 22, pp. 168–186, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.01.028.
[11] A. de J. Benítez Fundora, “Comportamiento Termodinámico de un ORC operando con varias sustancias para el aprovechamiento de Fuentes Térmicas de Bajo Potencial,” 2010. Consultado: el 25 de enero del 2025. [En linea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5074388.pdf
[12] M. E. Barbosa, “Análisis del Ciclo de Rankine Orgánico Ideal mediante 8 Fluidos Orgánicos de Trabajo,” 2019. Consultado: el 30 de enero del 2025. [En linea]. Disponible en: https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/22049f4f-2bb2-45ae-a3b6-9f8018d00118/content
[13] L. Wang and Z. Zhuang, “Thermodynamic analysis and optimization of organic Rankine cycles using isopentane as working fluid,” Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2020. DOI:10.1016/j.energy.2012.11.009

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Comparación de los valores de humedad relativa obtenidos por el método de dos presiones vs temperatura de punto de rocío

Castro, Fanny
Centro Nacional de Metrología de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-7181-8203

Prado, Ebony
Centro Nacional de Metrología de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-1614-5410

Acevedo, Hector
Centro Nacional de Metrología de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-3878-1298

Abstract

To validate the determination of the reference relative humidity from the national humidity standard at CENAMEP AIP, the laboratory uses a reference dew point meter. By comparing the results of relative humidity obtained through two different methods—humidity by two pressures and dew point temperature—the laboratory can confirm that the measurements performed by the standard are accurate. This also proves to be a suitable technique for intermediate checks of the standard, a tool for quality assurance of the results, and a step forward toward new humidity measurement techniques aimed at expanding services, in this case, dew point temperature meters.

Keywords: Relative humidity, dew point temperature, water vapor content, humidity generator, chilled mirror.

Resumen

Para validar la obtención de la humedad relativa de referencia del patrón nacional de humedad, en el CENAMEP AIP, el laboratorio cuenta con un medidor de punto de rocío patrón. Al comparar los resultados de la obtención de la humedad relativa obtenida por dos métodos diferentes: humedad por dos presiones y temperatura de punto de rocío, el

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

laboratorio puede validar, que las mediciones realizadas por el patrón son correctas, a la vez que resulta una técnica adecuada para las comprobaciones intermedias del patrón, una herramienta de aseguramiento de la calidad los resultados, y un avance hacia nuevas técnicas de medición de humedad con miras a la expansión de servicios, en este caso medidores de temperatura de punto de rocío.

Palabras claves: Humedad relativa, temperatura de punto de rocío, contenido de vapor de agua, generador de humedad, espejo enfriado.

1. INTRODUCCIÓN

El vapor de agua se encuentra presente en la atmósfera, y por ende en todo nuestro entorno. Por lo tanto, tiene interacción con los materiales y con el ambiente. Algunas de las áreas dónde es importante medir o controlar la concentración de agua en el aire, incluye sectores como la agricultura, aire acondicionado, procesos de secado, sectores industriales de alimentos, textiles, electrónica, ingeniería, refrigeración, meteorología, almacenamiento de materiales y medicina. [1]

La humedad de un gas se puede expresar en diferentes magnitudes físicas como la fracción molar de vapor de agua, humedad absoluta, temperatura de punto de rocío/ escarcha, humedad relativa, razón de masas, humedad específica y temperatura de bulbo húmedo.

En este trabajo se abordará la obtención de humedad relativa generada por patrón nacional de humedad: un generador por dos presiones. A este valor de referencia se tomará una muestra de aire para medir la temperatura de punto de rocío y calcular el porcentaje de humedad relativa. Al comparar la humedad relativa obtenida a través de dos métodos distintos, los resultados obtenidos, arrojan diferencias de entre 0.05 y 0.29 %HR en el rango de 30 a 90 %HR (manteniendo una temperatura en la cámara de 20 °C) entre ambos métodos, lo cual está dentro de los límites aceptados actualmente por el laboratorio (0.50 %HR). Esto valida el método declarado por el laboratorio y abre la puerta a nuevas capacidades de medición para que el laboratorio siga desarrollando.

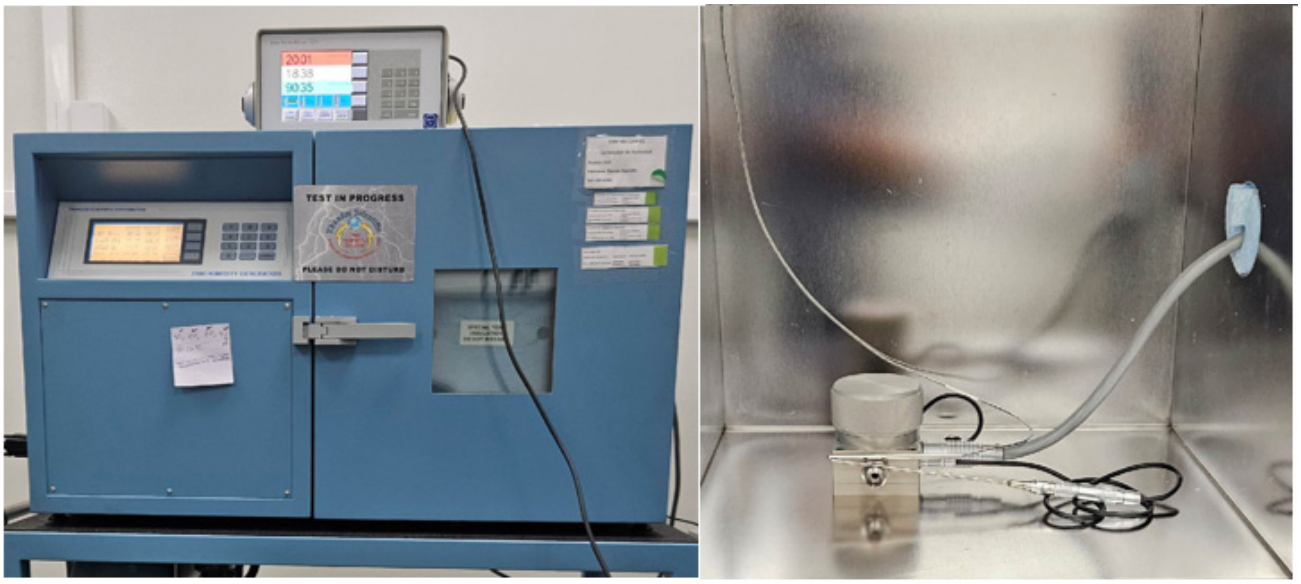
2. EQUIPAMIENTO Y MÉTODOS

A. Equipamiento utilizado

Se utilizaron para esta comparación: el patrón nacional de humedad relativa, el generador de humedad relativa por dos presiones y un medidor de punto de rocío (espejo enfriado). En la figura 1 se muestra el montaje del sistema de medición.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig.1 Generador de humedad por dos presiones y sensores internos



Generador de humedad por dos presiones (izquierda) montaje del cabezal del medidor de punto de rocío o espejo enfriado (derecha) dentro de la cámara de pruebas del generador de humedad

En la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas del generador de humedad [2] y del medidor de punto de rocío [3] o espejo enfriado utilizados.

Tabla 1. Equipamiento utilizado

Generador de humedad por dos presiones		Medidor de punto rocío o espejo enfriado	
Modelo	2500	Modelo	473-SH2
Rango de operación	10 a 95 %	Rango en punto de rocío/ escarcha	-20 a 70 °C
Incertidumbre en humedad relativa	0,5 %HR	Rango en humedad relativa	5 a 100 °C
Uniformidad en temperatura	0,1 °C	Exactitud en temperatura de punto de rocío / escarcha	≤ ± 0,1 °C

B. Método utilizado

Humedad relativa a partir del método por dos presiones:
Es el método utilizado por el patrón nacional de humedad. Implica lograr que una corriente

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de gas a una presión elevada se sature con respecto a la fase líquida o sólida del agua y luego expandirla isotérmicamente (manteniendo la misma temperatura) a una presión inferior; las mediciones de la presión y la temperatura de la corriente de gas en el saturador, y en la cámara de pruebas después de la expansión, proporcionan los datos necesarios para calcular el contenido de vapor de agua de la corriente de gas [3] [4] [5] [6] .La ecuación que describe el método es la ecuación 1. La trazabilidad del generador de humedad está asociada a la calibración de los sensores de temperatura la cual brinda de manera interna el laboratorio de temperatura de CENAMEP AIP y los transductores de presión del generador que brinda el CENAM (instituto de metrología de México) .

$$\%RH(referencia) = \frac{f_w(P_S,T_S)}{f_w(P_c,T_c)} \frac{e_w(T_s)}{e_w(T_c)} \frac{P_c}{P_s} * 100 \qquad (1)$$

Humedad relativa a partir de la medición de temperatura de punto de rocío con espejo enfriado

La temperatura de punto de rocío o escarcha se usa para expresar el contenido de vapor de agua en un gas o en el ambiente [7]. Se define como la temperatura a la cual se condensa (o congela) el vapor de agua cuando el gas se enfría a presión constante [8]. Para obtener el valor de humedad relativa a partir de las mediciones de temperatura de punto de rocío (td) se aplica la ecuación 2, es necesario medir la temperatura de punto de rocío, la presión de la muestra de gas de interés y la temperatura ambiente, en este caso, de la muestra de gas.

$$RH\% = \frac{e_{(td)}}{e_{(t)}} \frac{f_{(P_c t_d)}}{f_{(P_c t_c)}} 100 \qquad (2)$$

Donde:

$e_{(td)}$ = es la presión de saturación de vapor de agua a la temperatura de punto de rocío td

$e_{(t)}$ = es la presión de saturación de vapor de agua a la temperatura ambiente t

La trazabilidad del medidor de punto de rocío es brindada por el PTB (instituto de metrología de Alemania).

3. RESULTADOS

Los puntos de medición seleccionados fueron a 30 %HR, 50 %HR, 70 %HR y 90 %HR manteniendo una temperatura en la cámara y el saturador de 20 °C.

Se generó los porcentajes de humedad relativa indicados, y se colocó el espejo enfriado 473 en la cámara de pruebas con el fin de tomar lecturas de la temperatura de punto de rocío a las distintas humedades. Una vez tomadas las mediciones, se calcula el porcentaje de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

humedad relativa, tanto por el método de dos presiones como por temperatura de punto de rocío. La diferencia entre ambos métodos debe ser menor que la incertidumbre que puede alcanzar el generador 2500 en sus especificaciones técnicas: 0,5 %HR.
En la tabla 2 se presenta un ejemplo de toma de datos en el punto de 30 %HR donde se puede observar los datos necesarios para calcular el porcentaje de humedad relativa por ambos métodos y una vez aplicadas las ecuaciones de referencia, el cálculo de la diferencia entre los métodos.

Tabla 2. Toma de datos (protocolo de medición) punto 30 %HR

Generador de humedad por dos presiones (modelo 2500)						Medidor de punto de rocío (modelo 473-SH2)				Diferencia 2500 - 473
	P. Saturador	P. Cámara	T. Saturador	T. Cámara	%RH		T. Ambiente	T. Dew Point (td)	%HR	%HR
	kPa	kPa	°C	°C			°C	°C		
	335,14	101,05	20,00	20,20			20,23	2,06		
	335,01	101,05	20,00	20,19			20,23	2,06		
	335,01	101,05	20,00	20,19			20,23	2,06		
	335,13	101,05	20,00	20,19			20,23	2,06		
	335,03	101,06	20,00	20,19			20,24	2,07		
	335,11	101,06	20,01	20,19			20,24	2,09		
	335,22	101,06	20,00	20,20			20,24	2,07		
	335,29	101,06	19,99	20,20	30,00		20,24	2,08	29,89	0,11
	335,23	101,05	19,99	20,19			20,23	2,07		
	335,20	101,05	20,00	20,20			20,23	2,06		
Promedio	335,14	101,05	20,00	20,19		Promedio	20,23	2,07		
Corrección Patrón (kPa)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01		Corrección	0,00	0,01		
Lectura corregida (Pa)	335127	101044	19,99	20,18		Lectura corregida	20,23	2,07		

Se realizaron mediciones entre el 3 de diciembre de 2024 y el 9 de julio del 2025. En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos en cada punto de medición.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 3. Resultados

Fecha de verificación	%HR	%HR	Diferencia entre métodos
	Método: dos presiones	Método: temperatura de punto de rocío	
03-dic-24	30,01	30,05	-0,04
03-dic-24	50,01	50,22	-0,21
03-dic-24	90,01	90,30	-0,29
25-mar-25	30,02	30,18	-0,16
28-mar-25	90,06	89,92	0,14
08-jul-25	30,00	29,89	0,11
09-jul-25	50,02	49,98	0,04
09-jul-25	70,00	69,94	0,06
09-jul-25	89,98	89,91	0,07

El propósito de estas mediciones fue el de registrar las verificaciones intermedias del generador y establecer un nuevo procedimiento interno del laboratorio para estandarizar dichas verificaciones intermedias. Estas mediciones se estiman que se realicen cada 6 meses para asegurar el correcto funcionamiento del patrón nacional, y demostrar que cumple con las especificaciones técnicas del fabricante.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos utilizando dos métodos primarios de determinación de humedad relativa, humedad por dos presiones y temperatura de punto de rocío, a distintas humedades en el rango de 30 %HR a 90 %HR, son menores a 0,5 %HR, y esta diferencia está dentro de las especificaciones técnicas del generador Thunder 2500, por lo tanto, se puede concluir que, el generador de humedad Thunder Scientific 2500 propiedad del CENAMEP AIP y patrón nacional de humedad, cumple con sus especificaciones técnicas de exactitud y se puede considerar que la verificación fue satisfactoria: el patrón ha sido verificado con éxito y puede seguir siendo utilizado como referencia en las calibraciones que brinda el laboratorio. A la vez que estas mediciones dan paso a un nuevo procedimiento de verificación intermedia para el laboratorio y dan la oportunidad de seguir investigando, con el fin de desarrollar nuevas capacidades de medición y calibración para el laboratorio, en este caso, medidores de temperatura de punto de rocío.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] R. E. Bentley, Handbook of Temperature Measurement Vol. 1: “Temperature and Humidity Measurement”. 1ª ed. Dordrecht, Países Bajos: Springer, 1998.
[2] Thunder Scientific Corp., “Reference Manuals - Thunder Scientific Operation & Maintenance Manuals model 2500”, edición 24, enero 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.thunderscientific.com/wp-content/uploads/2023/01/2500_System_Manual_Ed24.pdf. [Accedido: 7 nov. 2025]
[3] RH Systems, LLC, “473 DEW Point Mirror PDF Manual” versión 4.0. [En línea]. Disponible en: https://www.rhs.com/wp-content/uploads/2021/03/473_manual.pdf . [Accedido: 7 nov. 2025].
[4] S. Hasegawa y J. W. Little, “The NBS Two-Pressure Humidity Generator, Mark 2”, *J. Res. Nat. Bur. Standards Sect. A: Phys. Chemistry*, vol. 81A, no. 1, pp. 81–88, enero. 1977.
[5] F. Castro, A. Tejedor, E. Prado y H. Acevedo, “Desarrollo del Patrón Nacional de Humedad Relativa en el Centro Nacional de Metrología de Panamá”, Congreso Nacional De Ciencia Y Tecnología – APANAC, págs. 342–348, septiembre de 2023, doi: 10.33412/apanac.2023.3957
[6] B. Hardy, “ITS-90 formulations for vapor pressure, frostpoint temperature, dewpoint temperature and enhancement factors in the range -100 to +100 °C,” *Papers and Abstracts from the Third International Symposium on Humidity and Moisture*, vol. 1, pp. 214–222, 1992.
[7] E. Martines L. y L. Lira C., “Cálculo de la Temperatura de Punto de Rocío a Diferentes Valores de Presión,” en Simposio de Metrología 2008, Santiago de Querétaro, México, pp. 1–5, oct. 2008. Código: SM2008-M117-1098-1.
[8] E. Martines L., “Definiciones de Humedad y su Equivalencia,” Centro Nacional de Metrología (CENAM), Div. de Termometría, México, Documento Técnico TM02, oct. 2008. [En línea]. Disponible en: https://www.cenam.mx/dme/pdf/TM02.pdf

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Nuevas capacidades en par torsional en Panamá

Mitre, Kevin
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0000-6969-3376

Solís, Chrismery
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0004-2592-2631

Gracia, Dimas
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0006-0929-9645

Saavedra, Victoria
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0007-2484-8099

Kuruc, José
Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-5038-7766

Abstract

CENAMEP AIP has developed calibration capabilities up to 1000 Nm with relative uncertainties below 0.1%, strengthening national metrological traceability. This study validates the torsional torque calibration method through comparison with CENAM, evaluating relative errors, reproducibility, and interpolation curve fitting. Eight nominal points (20–1000 Nm) were measured by five metrologists and compared with CENAM using the normalized error (EN) acceptable if $|EN| \leq 1|$, Results show high consistency with CENAM and minimal dispersion among metrologists (<0.6%), confirming the procedure's robustness and reproducibility. Uncertainties as low as 0.06% were achieved, exceeding commercial torque tool limits. These findings demonstrate accuracy, consistency, and

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

international traceability, reinforcing the laboratory's reliability and the competitiveness of the national industry.
Keywords: metrological traceability, normalized error, reproducibility, torque, uncertainty.

Resumen

El CENAMEP AIP ha desarrollado capacidades de calibración hasta 1000 Nm con incertidumbres relativas menores al 0.1%, fortaleciendo la trazabilidad metrológica nacional. Este estudio valida el método de calibración de bancadas de par torsional mediante comparación con el Centro Nacional de Metrología de México (CENAM), evaluando errores relativos, reproducibilidad y ajuste de curvas de interpolación. Ocho puntos nominales (20–1000 Nm) fueron medidos por cinco metrólogos y comparados con CENAM mediante el error normalizado (EN), considerado aceptable si if $|EN| \leq 1|$, Los resultados muestran alta consistencia con el CENAM y dispersión mínima entre metrólogos (<0.6%), confirmando la robustez y reproducibilidad del procedimiento. Se alcanzan incertidumbres de hasta 0.06%, superando límites de herramientas comerciales. Estos resultados evidencian exactitud, consistencia y reproducibilidad del método, reforzando la confiabilidad del laboratorio y la competitividad de la industria nacional.

Palabras claves: error normalizado, incertidumbre, par torsional, reproducibilidad, trazabilidad metrológica.

1. INTRODUCCIÓN

El par torsional es una magnitud física que describe la tendencia de una fuerza a generar un movimiento de rotación [1]. Su medición exacta resulta fundamental para garantizar la confiabilidad y seguridad en sectores como la industria naval, aeronáutica, ferroviaria y metalmecánica, donde el control del par aplicado es determinante para el desempeño de los sistemas mecánicos.

En Panamá, el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) ha desarrollado capacidades de calibración en la magnitud par torsional hasta 1000 Nm, con incertidumbres relativas por debajo del 0.1%. Estas capacidades consolidan la trazabilidad metrológica a nivel nacional y favorecen la competitividad del sector industrial. Dichas capacidades se alinean con los requisitos de competencia establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017, así como con las recomendaciones del documento DKD-R 10-8:2020, que define los procedimientos para la calibración estática de dispositivos de par [1][2].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Este trabajo aborda la validación del método de calibración de bancadas de par torsional implementado en el CENAMEP AIP. Además, se analiza la reproducibilidad del procedimiento al ser ejecutado por distintos metrólogos y se examina la selección de la curva de ajuste más adecuada para representar la respuesta del sistema de calibración. Con ello se busca garantizar la exactitud y consistencia de las mediciones dentro del laboratorio y frente a referencias internacionales.

2. MÉTODO

Esta investigación se llevó a cabo con la bancada de par torsional existente en el laboratorio de torque del CENAMEP AIP, con capacidad hasta 1000 Nm. El procedimiento incluyó:

A. Calibración de la bancada de par torsional realizada por el CENAM:

Se contrató un servicio de calibración para la bancada de par hasta los 1000 Nm, máxima capacidad habilitada actualmente por el laboratorio. El CENAM fue el proveedor de servicios. El CENAM cuenta con capacidades de medición y calibración (CMC) publicada en la base de datos del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) [3]. Los resultados obtenidos por el CENAM se utilizaron como referencia para la validación del método implementado por el CENAMEP AIP, dado que el CENAM al tener CMC en Par Torsional, es un indicativo que su método ha aprobado el reconocimiento mundial a sus capacidades de medición.

B. Calibración de la bancada de par torsional por el CENAMEP AIP:

Se midieron ocho puntos nominales (20 a 1000 Nm) [1] ejecutados por cinco metrólogos (JK, DG, KM, VS y ChS), registrando el error relativo de indicación (fq) [4] y la incertidumbre expandida (U) [4] como insumo para el análisis de la comparación.

C. Análisis de los datos:

Los resultados de cada metrólogo se compararon con los resultados obtenidos por el CENAM mediante el cálculo del error normalizado (EN), definido como:

$$EN = \frac{(fq_{CENAMEP} - fq_{CENAM})}{\sqrt{U^2_{CENAMEP} + U^2_{CENAM}}}$$

D. Reproducibilidad:

Se evaluó la dispersión entre los cinco metrólogos para cada valor nominal, analizando diferencias internas y frente a CENAM.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

A. Comparación de errores de indicación:

La gráfica y tabla de errores relativos frente a los valores nominales (figura 1 y tabla 1) muestra que los cinco metrólogos presentan resultados consistentes con los reportados por CENAM en todo el rango de 20 Nm –1000 Nm. Se observan ligeras desviaciones en los rangos más bajos (20 Nm), atribuibles a efectos de resolución, características del sistema de medición y ruido mecánico por la rapidez de aplicación de carga. Esto evidencia que el método desarrollado por CENAMEP AIP proporciona mediciones exactas en todo el intervalo evaluado.

B. Reproducibilidad entre metrólogos:

La dispersión de los errores relativos (figura 1 y tabla 1) se observa que las diferencias entre los errores relativos (fq %) obtenidos por los cinco metrólogos son muy pequeñas. Para cada punto de calibración, la diferencia máxima entre el valor más alto y el más bajo de error relativo es menor a 0.58 %. Los valores centrales se concentran alrededor del promedio. Esto demuestra que el procedimiento de calibración es robusto y reproducible independientemente del operador.

Tabla 1. **Comparación de errores de indicación e incertidumbre expandida.**

Val_Nom (Nm)	fq (%) CENAM	U (%) CENAM	fq (%) JK	U (%) JK	fq (%) DG	U(%) DG	fq (%) KM	U(%) KM	fq (%) VS	U(%) VS	fq (%) ChS	U(%) ChS
20	-0.22	0.93	-0.54	0.62	-0.58	1.26	-0.28	1.14	-0.11	0.46	-0.25	0.74
50	-0.14	0.36	-0.62	0.73	-0.51	0.69	-0.16	0.26	-0.04	0.23	-0.17	0.36
100	-0.1	0.14	-0.44	0.7	-0.31	0.42	-0.12	0.12	-0.07	0.14	-0.11	0.15
200	-0.11	0.09	-0.28	0.46	-0.15	0.20	-0.08	0.09	-0.06	0.1	-0.09	0.11
400	-0.08	0.07	-0.21	0.33	-0.08	0.12	-0.06	0.08	-0.07	0.08	-0.08	0.08
600	-0.07	0.07	-0.19	0.27	-0.05	0.12	-0.08	0.07	-0.07	0.07	-0.08	0.08
800	-0.05	0.06	-0.18	0.24	-0.06	0.11	-0.09	0.08	-0.09	0.07	-0.09	0.07
1000	-0.04	0.06	-0.18	0.21	-0.08	0.11	-0.1	0.07	-0.1	0.07	-0.11	0.07

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

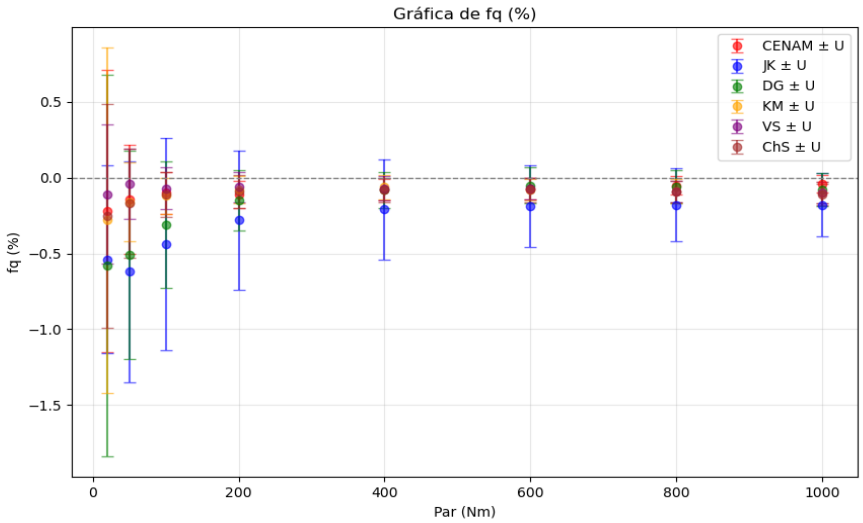


Figura 1. **Comparación de errores de indicación y reproducibilidad entre metrólogos**

C. Errores normalizados:

Los valores de EN calculados entre cada metrólogo (figura 2 y tabla 2) y el CENAM se mantienen sustancialmente por debajo del rango ±1, cumpliendo con el criterio de aceptación para comparaciones inter-laboratorio. En los valores bajos de par (20–50 Nm) se aprecia que ciertos metrólogos alcanzaron una mejor consistencia estadística en algunos valores respecto al CENAM. Esto está directamente asociado a la técnica de medición, mientras que en los valores altos (600–1000 Nm) los resultados se concentran cerca de cero. Esto confirma la trazabilidad internacional del método y la alta consistencia del laboratorio de par torsional del CENAMEP AIP.

Tabla 2. Valores de EN por metrólogo en comparación con el CENAM.

Val_Nom (Nm)	EN JK-CENAM	EN DG-CENAM	EN KM-CENAM	EN VS-CENAM	EN ChS-CE-NAM
20	-0.29	-0.23	-0.04	0.11	-0.02
50	-0.59	-0.48	-0.05	0.23	-0.06
100	-0.48	-0.47	-0.11	0.15	-0.06
200	-0.36	-0.20	0.24	0.37	0.16
400	-0.39	-0.01	0.19	0.10	0.02
600	-0.43	0.13	-0.10	0.00	-0.08
800	-0.53	-0.08	-0.40	-0.43	-0.42
1000	-0.64	-0.28	-0.65	-0.65	-0.69

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

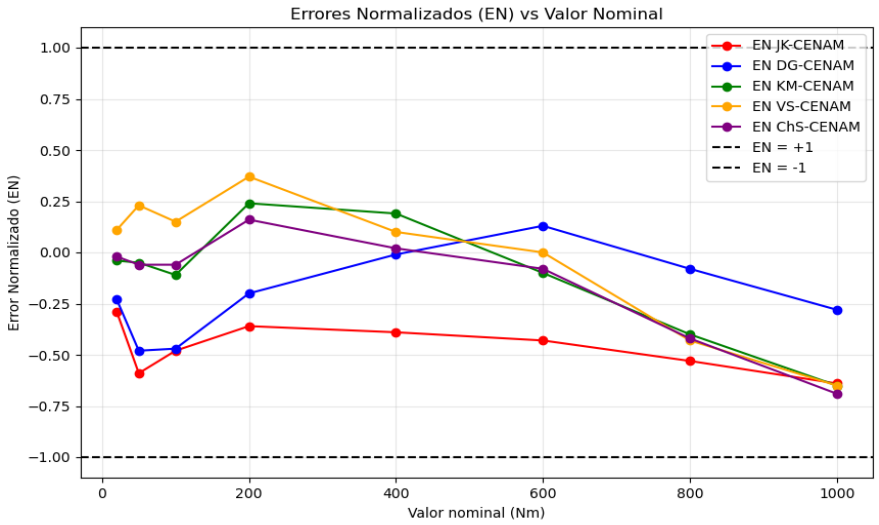


Figura 2. **Distribución de los valores EN por metrólogo respecto al CENAM**

D. Aseguramiento de la validez de los resultados:

El laboratorio del CENAMEP AIP asegura la validez de sus mediciones mediante la implementación de patrones trazables para garantizar la comparabilidad de las mediciones con pares internacionales, específicamente con el CENAM [2]. La reproducibilidad se aseguró mediante la participación de cinco metrólogos, con el fin de minimizar las variaciones en la ejecución del método de medición. Además, se aplicaron criterios de aceptación estrictos, utilizando el error normalizado como métrica para evaluar la compatibilidad con un par de referencia internacional.

E. Selección de la mejor curva de ajuste:

Para determinar la curva óptima de calibración de las bancadas de par, se compararon modelos lineales y cúbicos sobre los datos experimentales. El ajuste se evaluó considerando tanto las dispersiones como su impacto en las incertidumbres de medición. Tras este análisis, la curva cúbica fue seleccionada como el modelo que mejor describe la exactitud del conjunto de datos, asegurando mediciones de par precisas y confiables en la bancada del CENAMEP AIP.

4. CONCLUSIONES

El método de calibración de bancadas de par torsional desarrollado por el CENAMEP AIP ha sido validado mediante una comparación con el CENAM, demostrando compatibilidad metrológica con errores normalizados dentro de los criterios de aceptación. Las mediciones realizadas por cinco metrólogos muestran una alta reproducibilidad, con variaciones

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

máximas menores al 0.6% en todo el rango, lo que evidencia que el procedimiento es robusto y confiable. La mejor incertidumbre alcanzada por el laboratorio es de hasta 0.06% en el rango de 0.2 Nm a 1000 Nm, superando ampliamente los límites máximos permisibles de las herramientas de par torsional comerciales, dispositivos que se calibran en bancadas como estas. En conjunto, estas evidencias confirman que el CENAMEP AIP asegura la validez, exactitud y trazabilidad de sus mediciones de par torsional, cumpliendo estándares internacionales y mejorando la confiabilidad de la industria nacional.

Referencias

[1] DKD-R 10-8: 2020. Static Calibration of Calibration devices for Torque Wrenches.
[2] ISO/IEC 17025:2017. General requeriments for the competence of testing and calibration laboratories.
[3] “Search published CMCs, Results for: torque, Mexico”, BIPM Key Comparison Database (KCDB), [Online]. Available:https://www.bipm.org/kcdb/cmc/quicksearch?includedFilters=cmcBranches.Torque&excludedFilters=&page=0&keywords=torque%2C+mexico [Accessed: 14-Nov-2025].
[4] Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM 100:2008.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Verificación del Apantallamiento de una Cámara Anecoica de Radiofrecuencia de Tipo Tolda

Solis Betancur, Raúl Fernando
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-1043-4294

Mojica, Luis
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-5594-9166

Ruiz, Isaac
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-2207-2673

Abstract

In the development of Electromagnetic Emissions and Immunity tests, controlled environments are required to understand true influences, and since the environment is full of electromagnetic emissions of all kinds, it is necessary to use an anechoic chamber. However, a complete one is very expensive, and our Educational and Research Institutions lack the resources to acquire a complete one. Therefore, the CENAMEP AIP acquired a tent-type anechoic chamber with the objective of verifying if the chamber meets the manufacturer's specifications and thus demonstrates its usefulness. For the verification, basic but metrologically controlled equipment was used, including a spectrum analyzer, signal synthesizer, amplifier, cables, and antennas. We found that meet the manufacturer's specifications and can be used to perform emissions tests to validate prototypes, conduct on-site measurements, and carry out studies, at more affordable costs than using complete chambers.

Keywords: Metrology, verification, microwaves, radiofrequencies, measurement.

Resumen

En el desarrollo de pruebas de Emisiones e Inmunidad Electromagnética, se requieren entornos controlados para conocer las verdaderas influencias, y desde que el entorno está lleno de emisiones electromagnéticas de todo tipo, es necesario emplear una cámara

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

anecoica. Sin embargo, una completa es muy costosa y nuestras instituciones Educativas o de Investigación, no tienen el recurso para adquirir una completa. Por lo tanto, el CENAMEP AIP, adquirió una cámara anecoica tipo tolda, con el objetivo de verificar si cumplía con lo indicado por el fabricante y así demostrar su utilidad. Para realizar la verificación, se empleó equipamiento básico, pero metrológicamente controlados como: analizador de espectro, sintetizador de señales, amplificador, cables y antenas. Encontramos como resultado que cumple con lo indicado por el fabricante por lo que pueden emplearse para realizar pruebas de emisiones para validar prototipos, realizar mediciones en sitio y realizar estudios, con costos más accesibles que empleando cámaras completas.

Palabras claves: Metrología, verificación, microondas, radiofrecuencias, medición.

1. Introducción

Para asegurar que los dispositivos electrónicos no interfieran o sean interferidos por otros dispositivos electrónicos o eléctricos, es necesario realizarles pruebas de Emisiones Electromagnéticas. Estas pruebas se realizan en cámaras anecoicas de radiofrecuencias y microondas que actúan como jaulas de Faraday en rangos amplios de frecuencia, con capacidad de suprimir señales en casi todo ese espectro, pero estas cámaras son muy costosas, pueden ocupar volúmenes muy grandes y adecuaciones a la infraestructura de los laboratorios. Y es esto una limitante que se aplica a la mayoría de los Institutos Nacionales de Metrología y demás instituciones educativas y de investigación, ya que no se tienen los recursos necesarios para implementar una cámara anecoica completa para verificar prototipos o Pruebas de Conceptos y realizar investigaciones especializadas.

Estas situaciones han llevado a varias empresas a sacar al mercado soluciones de bajo costo focalizadas a trabajos específicos que prometen cierto grado de apantallamiento o atenuación de señales de Radiofrecuencia y Microondas. Debido a ciertas necesidades de medición en el ámbito de emisiones electromagnéticas específicas, el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) adquirió una cámara anecoica de tipo tolda (CAT) con una atenuación, indicada por el fabricante, de 50 dB en un rango de frecuencia de 10 MHz a 6 GHz [1], por lo que el Laboratorio Secundario de Parámetros de Redes (LSPR) realizó un ejercicio de verificación de la atenuación electromagnética de la CAT, empleando una metodología de medición simple, con equipamiento de medición del LSPR metrológicamente controlado para corroborar si esta CAT puede funcionar adecuadamente según los parámetros indicados por el fabricante y las necesidades del LSPR.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MÉTODO

A. Equipamiento involucrado

Para realizar la verificación de la CAT, de analizó las características de trabajo, sus especificaciones de atenuación electromagnética para organizar las mediciones en las frecuencias de 10 MHz, 1 GHz, 2,5 GHz y 6 GHz y con potencias de +10 dBm para las frecuencias de 10 MHz, 1 GHz y 6 GHz y en la frecuencia de 2,5 GHz se realizaron mediciones con potencia de +30 dBm (esto con el objetivo de eclipsar las influencias de otras fuentes de potencia en esa frecuencia). La metodología del ejercicio se establece en el siguiente orden:

- Verificación metrológica de los equipos de referencia: La verificación de los equipos se realiza para que todo esté en cumplimiento con la norma ISO/IEC 17025:2017 en su punto 6.3 sobre requisitos relativos a las “Instalaciones y Condiciones ambientales” y el punto 6.4 sobre los requisitos relativos al “Equipamiento”. El objetivo es tener las mediciones bajo control y descartar cualquier variabilidad que no sea atribuible directamente a la medición de la atenuación de la CAT.
- Pruebas de la cámara: El objetivo es analizar el cumplimiento de las especificaciones dadas por el fabricante para su uso, empleando una metodología similar a la mostrada en el manual y adaptada a una verificación simple con el equipamiento local:
    - Prueba de apantallamiento de fuente exterior: Busca verificar su capacidad de apantallar una señal continua desde el exterior.
    - Prueba de apantallamiento de fuente interior: Busca verificar su capacidad de apantallar una señal continua desde el interior.
- Análisis de datos y emisión de resultados: El objetivo es analizar los datos para proceder a emitir resultados.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

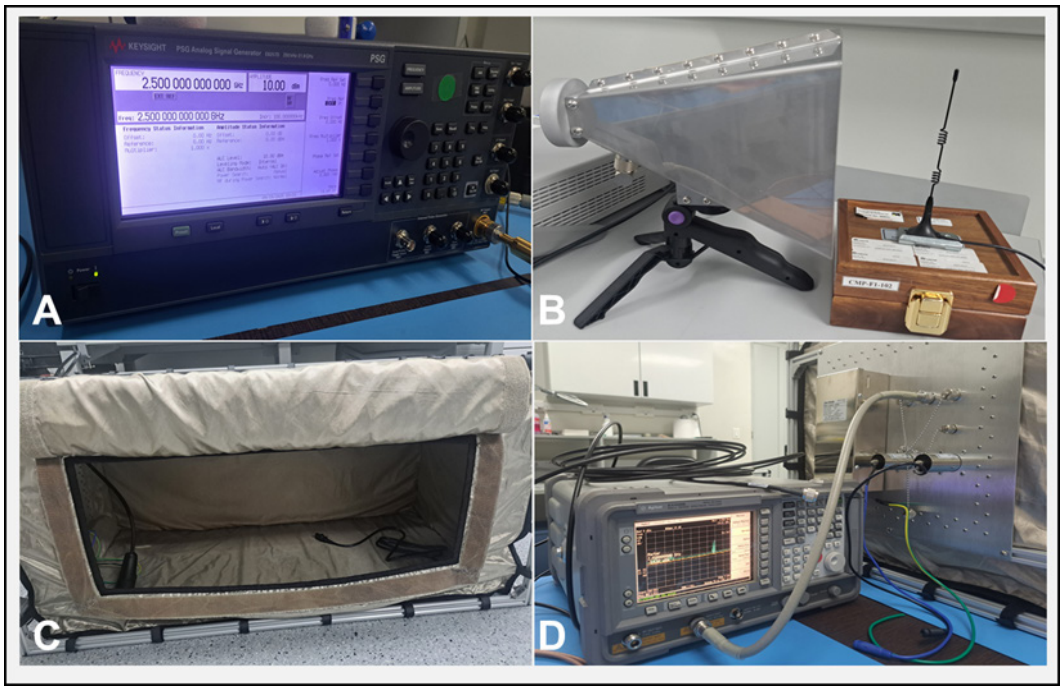


Figura 1. Vista del equipamiento empleado para realizar las mediciones de atenuación en la CAT.

Los equipos empleados para realizar esta prueba de verificación son: generador de señales (Keysight E8257D, Figura 1 A) empleado para generar señales de onda continuas desde 10 MHz hasta 6 GHz, antena tipo corneta empleada para emitir las señales de referencia y tipo monopolo empleada para realizar mediciones (Figura 1 B), la CAT (Tekbox) que está bajo estudio y se accede frontalmente (Figura 1 C) y analizador de espectro (Agilent E4408B, Figura 1 D) empleado para realizar las mediciones y el análisis de otras señales que pueden interferir, y que aparece conectado al área de acople y filtrado RF de la CAT. Además, se empleó un amplificador (Mini Circuits, TVA-11-422A+), analizador de redes vectoriales (Cooper Mountain, C2420) y medidores de potencia calibrados.

B. Realización de las mediciones

El proceso de medición inicia al ajustar todos los equipos y componentes involucrados para lograr tener mediciones conocidas, cumpliendo con los lineamientos del Sistema de Calidad con respecto al mantenimiento y verificación de los equipos de referencia del LSPR. Después, se realizan mediciones en la CAT en las frecuencias de 10 MHz, 1 GHz, 2,5 GHz y 6 GHz, con potencias de +10 dBm y +30 dBm en 3 de las 4 paredes laterales de la CAT (no se realizó la prueba donde estaba el sistema de acople y filtrado de RF, ni en la zona de techo y piso). Se emplea una potencia más elevada en 2,5 GHz para eclipsar los efectos de otras fuentes de señales tipo WiFi que pueden realizar en la medida (la potencia de una señal WiFi en la banda de 2,5 GHz en el LSPR está cerca de los -60 dBm). Para realizar el proceso

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de normalización (eliminar atenuaciones y corregir errores de medida en los equipos de referencia de medida) se toman 5 medidas por frecuencia, con un tiempo entre medidas de 10 segundos, siguiendo algunos de los lineamientos sobre requisitos de mediciones electromagnéticas [2], hasta obtener los valores deseados.

En la Figura 2, se muestra el proceso de medir la atenuación desde una fuente externa. El proceso de prueba de atenuación con fuente interior es igual al proceso descrito en la Figura 2, pero la antena tipo corneta va adentro de la CAT y el generador de señales con el amplificador se conectan a través del área de acople y filtro RF. Para recolectar los datos de las mediciones de la atenuación de la CAT, se toma un dato cada 20 segundos y se realizan 10 mediciones por cada área estudiada (frontal, lateral y trasera), en cada frecuencia analizada.

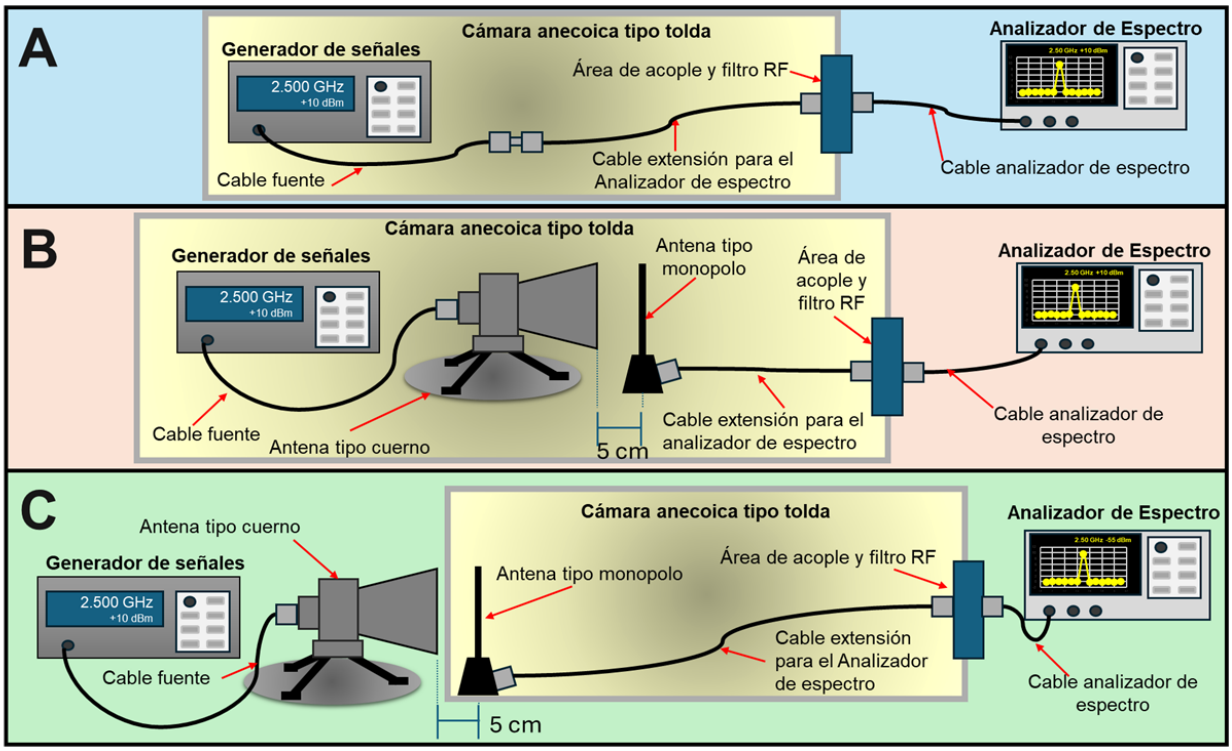


Figura 2. Proceso de medición para verificar la atenuación que genera la CAT.

El proceso verificación fue siguiendo los tres pasos descritos en la Figura 2: En A) se realiza la verificación metrológica y se normaliza las mediciones de señales de tal manera que la potencia medida por el analizador de espectro sea conocida y ajustada al valor de referencia normalizado (absorbiendo las pérdidas asociadas por cables, conectores y acople y filtro RF). En B) se realiza el ajuste de medición entre la antena tipo corneta y la de tipo monopolo a una distancia conocida para ajustar la potencia medida por el analizado de espectro a la potencia normalizada (ahora absorbiendo pérdidas de transmisión y de eficiencia de ambas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

antenas) y en C) se procede a montar todo dentro de la CAT manteniendo las posiciones, distancias y normalizaciones realizadas en A y B, para proceder a medir la absorción en las áreas bajo verificación de la CAT.

3. RESULTADOS

Se pudo determinar que, para las pruebas realizadas y después de la evaluación metrológica (corrección de errores, análisis de las variaciones, la repetibilidad y reproducibilidad del experimento), la CAT mostraba un rendimiento que estaba de acuerdo con lo que indica el fabricante. Desde el punto de vista del análisis de los equipos de referencia, la variabilidad es baja (ya después de las normalizaciones no se tenían variaciones superiores a ± 0,4 dBm), mientras que, desde el punto de vista de la verificación de la CAT, es bajo una incertidumbre de ± 1.7 dBm (aunque se requieren más estudios y ensayos que validen estos resultados a nivel completo y bajo la declaración de las Capacidades de Medición y Calibración). Con respecto a los resultados de la medición de la atenuación de la CAT se pueden ver los resultados que cumplen y son bastante parecidos tanto para una fuente interna, como para una fuente externa. En la Tabla 1 y Tabla 2, se muestra lo encontrado al terminar este ejercicio.

Tabla 1. Valores de referencia y resultantes de las mediciones realizadas con fuente exterior.

Frecuencia	Potencia de referencia (dBm)	Límite teórico (dBm)	Potencia en pared lateral (dBm)	Potencia en pared trasera (dBm)	Potencia en pared frontal (dBm)
10 MHz	10	-40	-42,2	-43,9	-41,8
1 GHz	10	-40	-43,0	-44,0	-42,1
2,5 GHz	30	-20	-24,8	-26,2	-21,8
6 GHz	10	-40	-45,0	-46,3	-41,7

Tabla 2. Valores de referencia y resultantes de las mediciones realizadas con fuente interior.

Frecuencia	Potencia de referencia (dBm)	Límite teórico (dBm)	Potencia en pared lateral (dBm)	Potencia en pared trasera (dBm)	Potencia en pared frontal (dBm)
10 MHz	10	-40	-42,4	-43,8	-41,6
1 GHz	10	-40	-42,5	-43,7	-42,2
2,5 GHz	30	-20	-24,0	-25,7	-22,0
6 GHz	10	-40	-44,6	-45,9	-41,6

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

El análisis de la CAT muestra que se cumple con lo indicado por el fabricante para atenuar señales, pero se muestra que, si no se tiene el cuidado debido, la parte frontal puede permitir filtraciones de señales. Pero los resultados son consistentes desde un punto de vista metrológico, pero hay que seguir estudiando otros efectos a largo plazo. Además, el concepto de poder caracterizar y validar cámaras anecoicas (jaulas de Faraday fijas o móviles tipo tolda) de manera local es muy prometedor y de posible gran ayuda para otras organizaciones que deseen construir localmente de manera rápida. Hay retos que deben ser estudiados y abordados a profundidad para trabajarlos adecuadamente y lograr cumplir con los requisitos de pre-cumplimiento normativo en EMI por parte del LSPR. Los datos también muestran que para el desarrollo de aplicaciones para dispositivos IoT, dispositivos médicos de bajo potencial eléctrico y comunicaciones inalámbricas una CAT funciona adecuadamente.

Referencias

[1] TekBox Digital Solution (s.f.), TBST-200/100/100 V1.2 manual, https://www.tekbox.com/

[2] IEC, CISPR 16-4-2:2011: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling - Measurement instrumentation uncertainty, edición 2.2 version consolidada 2018-08, ISBN 978-2-8322-5950-4

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Avances en la calibración de fuentes de referencia de potencia de radiofrecuencia

Mojica, Luis
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID 0000-0001-5594-9166

Solís, Raúl
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID 0000-0003-1043-4294

Sánchez, Cristy
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID 0000-0001-8329-2536

Abstract

This paper presents the progress achieved in developing an automated radio-frequency power measurement system based on a “Reference Thermistor Standard” (bolometric sensor). The work has been carried out at the Secondary High-Frequency Laboratory of CENAMEP AIP. The development includes the formulation of the mathematical measurement model, the estimation of measurement uncertainty, and the implementation of a Python-based application to automate data acquisition and logging.

Keywords: Bolometer, Sensor, Power, Radio frequencies, Metrology.

Resumen

Este artículo presenta los avances en el desarrollo del sistema de medición automatizado de potencia de radiofrecuencia, implementando un “Reference Thermistor Standard” (sensor bolométrico). El desarrollo se realiza en la Laboratorio Secundario de Alta Frecuencia, en el CENAMEP AIP. Contempla el modelo matemático de medición, la estimación de la incertidumbre de la medición y creación de aplicación en Python para automatizar el registro de datos.

Palabras claves: Bolómetro, Sensor, Potencia, Radiofrecuencias, Metrología.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Las señales de radiofrecuencias hacen parte del conjunto de vehículos que nos permiten alcanzar objetivos en la sociedad actual, son de mucha importancia en diferentes actividades que realizamos todos los días y muchas veces no estamos consciente de ello. Podemos agrupar la implementación de señales de radiofrecuencia (RF) en áreas como: alimentación, telecomunicaciones, salud, transporte y defensa, solo por mencionar algunas. Estas señales están presentes en nuestro día a día, por ejemplo: en el horno de microondas para calentar los alimentos, en el smartphone para realizar llamadas telefónicas o navegar por internet, sistema de pago del transporte usando tarjetas sin contacto (RFID/NFC), radar para detección de drones y aves, y semáforos inteligentes.

Para asegurar el adecuado funcionamiento de las aplicaciones tecnológicas que utilizan señales de RF, es necesario que los instrumentos involucrados en la medición y generación de las señales tengan un seguimiento periódico mediante calibración o verificación metrológica. En la Metrología es muy importante tener instrumentos de referencia, trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), que nos ayuden a obtener la exactitud de los instrumentos que realizan mediciones.

En el caso de la Metrología de Radiofrecuencia, es común que los medidores de potencia de señales de radiofrecuencia cuenten con una señal de referencia de 50 MHz y 1 mW, la cual se utiliza para ajustar las mediciones realizadas y también funciona como el punto de trazabilidad metrológica hacia Sistema Internacional de Unidades [1]. Esta señal de referencia de 1 mW tiene niveles de exactitud mejores a 10 mW/W, lo cual imposibilita que sea calibrada o verificada con sensores potencia de RF comunes a base de diodos o termocuplas. Para este tipo de señales de referencia se requiere utilizar un sensor bolométrico, teniendo los cuidados necesarios para mantener el nivel de exactitud.

Se presentan los avances obtenidos en el desarrollo de sistema de calibración automatizada de fuentes de referencia de potencia de RF. Este sistema opera en frecuencias desde 50 MHz hasta 18 GHz y potencia de 1 mW. El desarrollo contempla el modelo matemático de medición, la estimación de la incertidumbre de la medición [2] y creación de aplicación en Python para automatizar el registro de datos. Se presentan los resultados de un ejercicio de comparación metrológica como primer paso para validad la funcionalidad del sistema desarrollado. También se tiene en cuenta una evaluación del efecto de la temperatura del laboratorio sobre las mediciones de potencia de la señal de radiofrecuencia bajo evaluación.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2. MATERIALES Y MÉTODO

A. Método

El sistema de calibración es para medir la potencia eléctrica de señales de radiofrecuencia. Se utiliza el principio de sustitución DC para la medición de potencia de señales de RF [2], el cual está implementado en el medidor de potencia. En este principio de medición se utiliza un puente balanceador que permite sustituir la señal de RF que se desea medir por una cantidad de señal DC que causa el mismo efecto térmico en el bolómetro. Dado que el valor de la señal DC es conocido, entonces se puede determinar el nivel de la señal de radiofrecuencia aplicada en el puerto de entrada del sensor de potencia. El desarrollo se puede dividir en tres grandes pasos:

- Creación de programa en lenguaje Python para la adquisición y registro de datos de potencia.
- Evaluación de la estabilidad de las lecturas de potencia de RF debido a los cambios de temperatura del laboratorio.
- Realización de ejercicio de comparación con una fuente de potencia calibrada, de 1 mW a 50 MHz.

B. Equipos de medición

- Patrón de potencia RF – Sensor basado en termistor (Bolómetro)

Para calibrar patrones de transferencia de RF y medir la potencia de señales de RF (Fig.1). Sensor de tipo Termistor, con conector tipo N (macho), impedancia nominal de 50 Ω, alcance de frecuencia desde 6 kHz hasta 18 GHz, alcance de potencia desde 10 µW hasta 10 mW, factor de calibración desde ± (0.9 hasta 1.2) % y coeficiente de reflexión desde 0.03 hasta 0.25.

- Medidor de potencia RF basado en Termistor

Combina un puente de sustitución de corriente continua (DC) con un sistema de medición de 6,5 dígitos (Fig.1).

En un solo instrumento combina el puente balanceador y medidor de potencia RF. Soporta sensores de potencia de RF a base de termistores NTC, de 100 Ω y 200 Ω, posee control de calentador para sensores con horno. Alcance de frecuencia desde 6 kHz hasta 50 GHz (depende del sensor). Alcance de potencia desde 0.001 mW hasta 30 mW. Exactitud especificada por el fabricante de ± (0.05% de la lectura, ±0.5 µW) y es completamente programable vía puerto USB.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

- Accesorios

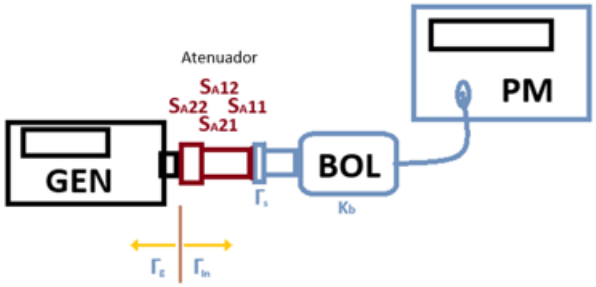
Para la interconexión de los equipos de medición y su control automatizado.
Cable para el sensor de potencia. Cable USB para conectar el medidor de potencia a la computadora. Computadora para el control remoto de los instrumentos.

Figura 1. Equipos de medición utilizados

C. Modelo Matemático de medición

En la figura 2 se muestra el diagrama de conexión general para realizar la calibración de una fuente de potencia de RF. Se puede observar la conexión de generador, atenuador, el bolómetro y el medidor de potencia. El generador (GEN) representa la fuente de potencia RF a calibrar. El atenuador puede tener dos propósitos, atenuar la señal de la fuente de potencia para llevarla a un nivel adecuado para el sensor de potencia, pero también el atenuador puede ser reemplazado por un adaptador de sacrificio para evitar desgaste en el conector de entrada del sensor de potencia. A continuación, se muestra el modelo matemático de la medición y demás ecuaciones para lograr la calibración del generador de potencia RF.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/



$$P_{REF} = \frac{M}{|S_{21}|^2}\frac{P_{mREF}}{K_b}$$

$$M = \left|1 - \Gamma_g \Gamma_{In}\right|^2$$

$$\Gamma_{In} = S_{A22} + \frac{S_{A12}S_{A21}\Gamma_s}{1 - S_{A11}\Gamma_s}$$

$$Error = P_{DUT} - P_{REF}$$

Figura 2. Diagrama de conexión general y modelo matemático de medición

Error: error en el valor de potencia del generador. : es la potencia medida con el sistema de referencia. : potencia de salida del generador RF. : potencia adquirida con el medidor de potencia, sin aplicar alguna corrección. : coeficiente de reflexión del puerto de entrada del sensor de potencia (bolómetro). : coeficiente de reflexión del puerto de salida del generador. : coeficiente de reflexión equivalente desde la entrada del atenuador, cuanto se utiliza para realizar una medición. : parámetros de dispersión del atenuador, cuanto se utiliza para realizar una medición.: es el factor de desadaptación de impedancia entre el DUT y el sistema de referencia. : es el factor de calibración del sensor de potencia (bolómetro) En el desarrollo de este trabajo no fue necesario la utilización del atenuador, por lo que los parámetros de dispersión SA21=SA12 =1 y SA11=SA22 =0.

3. RESULTADOS

Programa para la adquisición y registro automatizado de datos de potencia

El desarrollo del programa en Python fue de mucha ayuda para la configuración del medidor de potencia y registrar los datos de medición en intervalos programados (3 s, 5 s, 10 s y 60 s) y evaluar la estabilidad de las mediciones respecto a los cambios de temperatura del laboratorio (Fig. 3).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

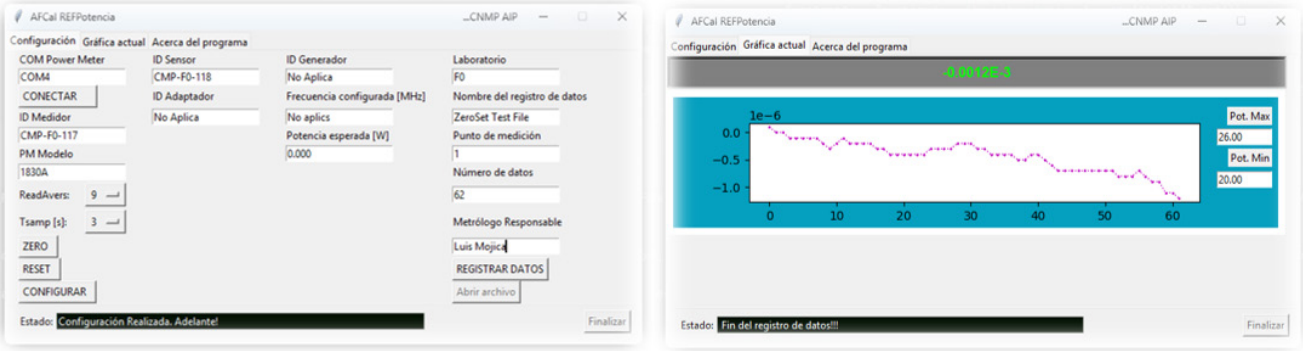


Figura 3. Interfaz gráfica del programa de adquisición de datos. Tab de configuración y tab de gráfica de datos en tiempo real.

Estabilidad de la lectura de potencia debido a cambios de temperatura

La figura 4 muestra la lectura del medidor de potencia después de realizar la función del ZERO y aplicada una señal de RF (1 mW, 50 MHz) al Termistor Patrón. En condiciones ideales, después del ZERO el medidor debería mostrar 1.0000 mW. Pero se puede observar que una variación 1 °C hace que la lectura del medidor de potencia tenga una variación de 30 µW.

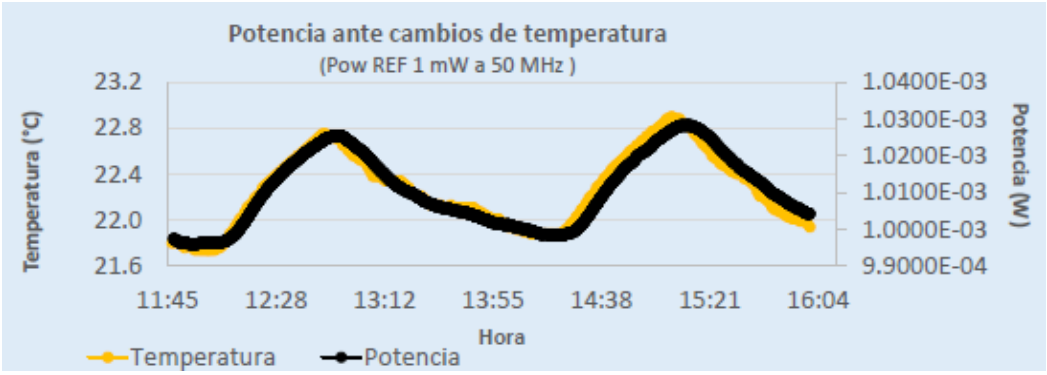


Figura 4. Gráfica de mediciones realizadas de potencia ante los cambios de temperatura

Ejercicio de comparación con una fuente de potencia calibrada

Para la comparación se utilizó los datos de calibración del año 2024 y 2025 de la referencia de potencia de un medidor de potencia 53148A, del fabricante Agilent Technologies. En la Tabla 1, CalExterna2024 y CalExterna2025 son los resultados de las calibraciones a fuente de referencia realizadas en el año 2024 y 2025 respectivamente. CMP-1 hasta CMP-6 son los resultados de las mediciones realizadas con el sistema de medición en desarrollo. Se utilizó el criterio del error normalizado para evaluar la comparabilidad de las mediciones.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Resultados de medición del ejercicio de comparación.

Fecha	ID de medición	Condición de medición mW	Potencia Medida mW	U (*k*=2) mW	Error normal-izado
2024-05-30	**CalExterna2024**	**1**	**1.005**	**0.005**	**--**
2025-07-06	CMP-1	1	1.004	0.008	0.22
2025-07-06	CMP-2	1	1.004	0.008	0.22
2025-07-06	CMP-3	1	1.004	0.008	0.22
2025-08-15	**CalExterna2025**	**1**	**1.006**	**0.005**	**--**
2025-09-12	CMP-4	1	1.004	0.008	0.22
2025-09-12	CMP-5	1	1.004	0.008	0.22
2025-09-12	CMP-6	1	1.004	0.008	0.22

4.CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados son aceptables, hay repetibilidad en las mediciones y metrológicamente comparables. La máxima diferencia obtenida fue de 2 µW, entre los resultados con el sistema de medición en desarrollo y los resultados del laboratorio acreditado, que realizó la calibración de la referencia de potencia RF. Respecto a las condiciones ambientales, hay una clara influencia de los cambios de temperatura sobre las lecturas de potencia, por lo que es importante mantener estable la temperatura del laboratorio para que las variaciones de potencia sean menores a 30 µW. Los avances han sido satisfactorios, el siguiente paso será realizar mejoras para validar el sistema de medición en el alcance completo, mediante una comparación de los resultados de calibración con un Instituto Nacional de Metrología, utilizando una fuente de potencia de 1 mW, (50 MHz hasta 18 GHz).

Referencias

[1] Keysight Technologies, 1 mW 50 MHz Power Reference Measurement with the N432A Thermistor Power Meter.[En línea]. Disponible en: https://www.keysight.com. [Accedido: marzo 2025].

[2] Keysight Technologies, Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements (Part 3) Power Measurement Uncertainty per International Guides, Application Note 1449-3. [En línea]. Disponible en: https://www.keysight.com. [Accedido: enero 2025].

[3] TEGAM, Performance Testing and Calibration of a Power Meter's 50 MHz Reference, Application Note. [En línea]. Disponible en: https://www.advancedenergy.com. [Accedido: abril 2025].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Percepción del Impacto sobre la Salud y Bienestar Cognitivo y Físico de un Programa de Intervenciones en Personas Mayores en la Ciudad de Panamá

Martínez Campos, María Fernanda
Facultad de Psicología, Universidad de Panamá
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0009-6030-7569

Pauli-Quiros, Elianne
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Escuela de Psicología, Universidad Santa María La Antigua
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-3285-7805

Lammie, Stephanie
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Facultad de Psicología, Universidad Latina de Panamá
Centro de Vacunación e Investigación, CEVAXIN Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
Stephielq@outlook.com

Britton, Gabrielle B.
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Sistema Nacional de Investigación, SENACYT
Centro de Vacunación e Investigación, CEVAXIN Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-1758-2495

Fajardo, Elsa
Facultad de Psicología, Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
elsa.fajardo@up.ac.pa

Oviedo, Diana C.
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica INDICASAT-AIP
Escuela de Psicología, Universidad Santa María La Antigua
Sistema Nacional de Investigación, SENACYT
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-1987-5205

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Abstract

Intervention programs that promote the participation of older adults in both physical and cognitive exercises have shown potential for preventing modifiable risk factors for dementia. Assessing participant satisfaction with these interventions provides valuable insight into their experiences and willingness to adopt healthy habits. This study aimed to evaluate older adults' perceptions of the impact of an intervention program in Panama City on their cognitive and physical health, overall well-being, and satisfaction. The sample consisted of 43 older adults aged 60 to 80 years, who completed satisfaction surveys and participated in focus groups upon completing the intervention. Understanding their perceptions of components such as the use of the Cognifit platform, smartwatch assisted walks, in-person workshops, and perceived benefits not only improves the quality of the intervention but also strengthens their commitment and encourages continued participation in the program. In conclusion, these interventions promoted spaces that facilitated social connection and emotional support among peers, factors that significantly contributed to the participants biopsychosocial well-being.

Keywords: intervention, satisfaction, perception, cognitive decline, wellbeing.

Resumen

Los programas de intervención que promueven la participación de personas mayores en actividades tanto físicas como cognitivas han mostrado potencial para la prevención de factores de riesgo modificables de la demencia. Evaluar la satisfacción de los participantes en estas intervenciones aporta información valiosa sobre su experiencia y disposición para adoptar hábitos saludables. El objetivo de este estudio fue evaluar la percepción de las personas mayores sobre el impacto de un programa de intervención en la Ciudad de Panamá en su salud cognitiva y física, su bienestar general y su nivel de satisfacción. La muestra estuvo compuesta por 43 adultos mayores entre 60 y 80 años, quienes completaron encuestas de satisfacción y participaron de grupos focales al completar la intervención. Comprender su percepción respecto a aspectos como el uso de la plataforma Cognifit, la utilización de un reloj inteligente durante las caminatas, talleres presenciales y beneficios percibidos, no solo mejora la calidad de la intervención, sino que también fortalece su compromiso y favorece la continuidad en el programa. En conclusión, estas intervencioes promovieron espacios de encuentro que facilitaron la conexión social y el apoyo emocional entre pares, factores que contribuyeron significativamente al bienestar biopsicosocial de los participantes.

Palabras claves: intervenciones, satisfacción, percepción, deterioro cognitivo, bienestar.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Las intervenciones no farmacológicas, destinadas a la promoción del envejecimiento saludable y activo, tienen amplios beneficios para la salud física, funcionamiento cognitivo y bienestar emocional [1]. Las investigaciones actuales señalan que las intervenciones multidimensionales, que combinan actividades cognitivas, de ejercicio físico y control cardiovascular son más efectivas [2]. Tienen como objetivo mantener la autonomía funcional y mejorar la calidad de vida, ayudando a prevenir la soledad, la depresión y el deterioro cognitivo en personas mayores [3]. Aunque en América Latina la evidencia es escasa, los estudios sobre el impacto en la cognición de este tipo de intervenciones son cada vez más comunes. Sin embargo, además de evaluar su efecto en las funciones cognitivas, es fundamental estudiar la satisfacción y percepción de las personas mayores que participan en ellos. La percepción de los participantes es una valiosa retroalimentación para mejorar continuamente los programas de intervención multidominio ya que permite optimizar la calidad de las intervenciones, fortalecer el sentido de compromiso y favorecer la adherencia a las actividades [4].

Medir la satisfacción de los participantes aporta información concreta sobre su experiencia y disposición al cambio de hábitos. Existen distintos factores que influyen directamente en el nivel de satisfacción reportado. Uno de los aspectos que más resaltan los participantes es la oportunidad de establecer y fortalecer lazos sociales a través de actividades atractivas y entretenidas [5]. Los participantes también han resaltado que participar en programas de intervención fomenta el mantenimiento de la calidad de vida, satisface necesidades afectivas y disminuye factores de riesgo relacionados con las demencias [6]. El formato grupal suele ser mejor valorado que el individual por el valor del componente social. Asimismo, una mayor diversidad de actividades, como la combinación de ejercicio físico con estimulación cognitiva, arte o juegos, tiende a generar mayor disfrute y compromiso [7].

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la percepción del impacto de un programa de intervención en la salud y el bienestar cognitivo y físico, así como el nivel de satisfacción de las personas mayores participantes en la Ciudad de Panamá.

2. MÉTODO

A. Población y Muestra

La población de estudio estuvo conformada por personas mayores de entre 60 y 80 años, residentes en la Ciudad de Panamá, que tuvieran un estilo de vida sedentario al inicio del estudio, sin discapacidades físicas y cognitivas y que tuvieran la disposición de participar las actividades del estudio. La selección de los participantes se realizó mediante la técnica de

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

muestreo en cadena o “bola de nieve”. La muestra final estuvo compuesta por 43 personas mayores, quienes fueron asignados aleatoriamente a tres grupos, divididos de la siguiente manera:

1. Grupo de Intervención Combinada: Este grupo recibió una combinación de intervenciones físicas y cognitivas. Las intervenciones cognitivas individuales se llevaron a cabo utilizando un programa de entrenamiento cognitivo computarizado en la plataforma CogniFit. Además, participaron en intervenciones cognitivas grupales presenciales, talleres de estimulación y entrenamiento grupal, realizados una vez por semana durante 4 meses.
2. Grupo de Intervención Física: Realizó actividad física de tipo cardiovascular moderada (caminatas) individual 3 a 5 veces por semana durante 30min y caminatas grupales una vez al mes. Las caminatas se registraron en un reloj inteligente vinculado su dispositivo tecnológico.
3. Grupo Control Activo: Recibió charlas informativas sobre salud una vez al mes presentados por expertos en diferentes temas de salud (cuidado nutricional, calidad del sueño, factores de riesgo cardiovascular y determinantes sociales de la salud).

B. Instrumentos

Al completar la intervención, los participantes del estudio completaron encuestas de satisfacción y participaron de grupos focales orientados a obtener retroalimentación general sobre el programa. Para las encuestas de satisfacción, se utilizó una escala de tipo Likert, la cual permite medir el grado de acuerdo o desacuerdo de los participantes frente a una serie de afirmaciones, generalmente en una escala de 5 puntos que va desde “totalmente en desacuerdo” hasta “totalmente de acuerdo” [5]. Se abordaron temas relacionados con la satisfacción general considerando aspectos como la duración del programa, la calidad del contenido y las expectativas.

La discusión en los grupos focales se organizó entorno a sus expectativas y satisfacción con el uso de la plataforma Cognifit y el reloj inteligente, talleres presenciales y beneficios percibidos. Para iniciar, se les preguntó qué los motivó a participar en el estudio y qué cambios habían percibido en su bienestar desde el inicio de las intervenciones físicas y cognitivas. También se consideraron preguntas relacionadas a la incorporación de caminatas moderadas en su rutina diaria y el uso de relojes inteligentes. En cuanto al uso de la Plataforma Cognifit, se indagó sobre los beneficios cognitivos percibidos y su disposición a recomendarla. Se exploró adicionalmente la satisfacción respecto al contenido del programa y el apoyo recibido por parte del personal. Finalmente, se discutió el impacto social del programa y la percepción de este espacio de interacción social, así como las formas en que los participantes planean aplicar los aprendizajes adquiridos durante su participación en el programa de intervención.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se presenta el grado de satisfacción de los distintos grupos de intervención, evidenciando un alto nivel de satisfacción hacia el programa de intervenciones físicas y cognitivas, su duración, la utilidad y relevancia de la información brindada en las capacitaciones, el cumplimiento de las expectativas iniciales y la probabilidad de recomendarlo a otras personas.

Tabla 1. Grado de satisfacción con el programa de intervención

	Combinada	Física	Control
	n (%)	*n (%)*	*n (%)*
¿En general qué tan satisfechos se encuentran con el programa de intervenciones cognitivas y físicas?			
Satisfecha (o)	1 (7,7%)		2 (16,7%)
Muy Satisfecha (o)	12 (92,3%)	13 (100%)	10 (83,3%)
¿La duración del programa de intervención (4 meses) fue adecuada?			
Neutro	1 (7,7%)	1 (7,7%)	
Adecuada	4 (30,8%)	6 (46,2%)	5 (41,7%)
Muy Adecuada	8 (61,5%)	6 (46,2%)	7 (58,3%)
¿Siente que la información brindada en la capacitación fue útil y relevante para usted?			
Sí	13 (100%)	13 (100%)	12 (100%)
¿El programa cumplió con sus expectativas del inicio?			
No			1 (8,3%)
Sí	13 (100%)	13 (100%)	11 (91,6%)
¿Recomendaría este programa a otras personas?			
Sí	13 (100%)	13 (100%)	12 (100%)

Las caminatas grupales entre los grupos de intervención combinada y física promovieron espacios de encuentro que facilitaron la conexión social y el apoyo emocional entre pares, factores que contribuyeron significativamente al bienestar biopsicosocial de los participantes.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 1. Beneficios de las Caminatas del Grupo de Intervención Combinada y Física

Se analizaron los comentarios de los grupos focales respecto a los beneficios percibidos y desafíos experimentados durante las caminatas realizadas por los grupos de intervención combinada y física. Tal como se esquematiza en la Figura 1, la mayoría de los participantes manifestó sentimientos de entusiasmo, motivación y una sensación de bienestar físico y emocional después de las caminatas, mencionando beneficios como mejor sueño, más energía y relajación.

Figura 2. Desafíos Experimentados en las Caminatas del Grupo de Intervención Combinada y Física

Por otro lado, la Figura 2 evidencia que, aunque la experiencia fue valorada positivamente, algunos participantes enfrentaron obstáculos que limitaron su participación. Entre los desafíos más frecuentes se mencionaron las dificultades en el uso del reloj inteligente, la falta de motivación inicial o “pereza”, así como limitaciones de salud (dolores articulares, problemas de rodillas o reumatismo) y restricciones de tiempo derivadas de compromisos personales. Estos factores subrayan la necesidad de ajustar las estrategias de acompañamiento y seguimiento para favorecer la adherencia y la accesibilidad de la intervención.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En cuanto a la plataforma CogniFit, el 100% de los participantes del grupo de intervención combinada expresó que la recomendaría, resaltando aspectos como su novedad, interés y eficiencia. Del total de 12 participantes, el 38.5% evaluó la plataforma en línea como "fácil", el 30.8% como "muy fácil", el 15.4% como "neutro" y el 7.7% como "complicado". Estos resultados sugieren una alta aceptación y percepción positiva de la herramienta digital, lo que respalda su potencial como complemento cognitivo dentro de programas de intervención para personas mayores.

4. CONCLUSIONES

Las encuestas de satisfacción y los comentarios de los grupos focales evidencian una percepción positiva en relación con la utilidad, relevancia y efectividad de las intervenciones implementadas. Se resalta la integración social y el apoyo emocional entre pares, como factores que contribuyeron significativamente al bienestar biopsicosocial de los participantes [8].

De cara al futuro, se proyecta la continuidad y ampliación del programa, incorporando un seguimiento semanal del rendimiento de los participantes para fortalecer su adherencia y progresos. Asimismo, se busca consolidar redes de apoyo social mediante caminatas grupales y otras actividades presenciales que favorezcan la participación comunitaria. Finalmente, se promoverá la sostenibilidad del programa a través de alianzas interinstitucionales y comunitarias, con el objetivo de integrar estas intervenciones en las políticas públicas de promoción de la salud dirigidas a personas mayores.

Referencias

[4] R. S. Aditya et al., "Unlocking wellness: the comprehensive impact of community-based exercise programs on older adults," Retos, vol. 60, pp. 1365–1371, Oct. 2024, doi: 10.47197/retos.v60.106846.

[5] K. Müller, M. Schmicker, A. König, and N. Bornhöft, "Attention and memory training in healthy older adults: satisfaction and perceived impact," Aging, Neuropsychology, and Cognition. Alzheimer's Journals, 2017.

[6] L. A. Duffner et al., "Facing the next 'Geriatric Giant'—A Systematic Literature Review and Meta-Analysis of Interventions Tackling Loneliness and Social isolation among Older adults," Journal of the American Medical Directors Association, vol. 25, no. 9, p. 105110, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.jamda.2024.105110.

[7] L. Brooks, B. Whitacre, D. Shideler, and G. Muske, "Small and Home-Based Businesses: Measures of success and the contribution of local development services," Clemson OPEN. https://open.clemson.edu/joe/vol50/iss2/2/

[8] T. D. Van Balkom, O. A. Van Den Heuvel, H. W. Berendse, Y. D. Van Der Werf, and C. Vriend, "The Effects of Cognitive Training on Brain Network Activity and Connectivity in Aging and Neurodegenerative Diseases: a Systematic Review," Neuropsychology Review, vol. 30, no. 2, pp.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

267–286, Jun. 2020, doi: 10.1007/s11065-020-09440-w.
[9] Z. Zhang, B. Giordani, and W. Chen, “Impact of a Multi-Component Physical Activity Intervention on Psychological Well-Being in Older Adults: a pilot study,” SAGE Open, vol. 14, no. 3, Jul. 2024, doi: 10.1177/21582440241266105.
[10] A. Devereux-Fitzgerald, R. Powell, A. Dewhurst, and D. P. French, “The acceptability of physical activity interventions to older adults: A systematic review and meta-synthesis,” Social Science & Medicine, vol. 158, pp. 14–23, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.socscimed.2016.04.006.
[11] E. G. Bengoechea et al., “Psychosocial effects of a behavioural augmentation of existing public physical activity programs for middle-aged and older adults in Ireland,” PLoS ONE, vol. 20, no. 3, p. e0318911, Mar. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0318911.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

EVALUACIÓN DE LA DUREZA COMO INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA EN EL DISTRITO DE TONOSÍ, PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ

Gómez-Zanetti, Natasha A.
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Rep. De Panamá
natasha.gomez@utp.ac.pa

Henríquez, Dina
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Rep. De Panamá
dina.henriquez@utp.ac.pa

Olmos, Jorge E.
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Rep. De Panamá
jorge.olmos@utp.ac.pa

Mack-Vergara, Yazmin L.
Universidad Tecnológica de Panamá, SNI
Panamá, Rep. De Panamá
yazmin.mack@utp.ac.pa

Abstract

The consumption of minerals, through drinking water, depends on the needs of the body, affecting health in beneficial or unfavorable ways. The World Health Organization does not establish minimum or maximum concentrations of minerals in drinking water in its “Guidelines for the Quality of Drinking Water” due to the lack of evidence and the contradiction between studies on their effects. The objective of this study is to evaluate the hardness of water in the community of Tonosí, Los Santos with portable analytical equipment and to show the possible effects caused by the consumption of drinking water in the area. Four tours were carried out, collecting samples at 21 points of community use. The analyses were carried out simultaneously with the support of the Unidad Técnica de Calidad Hídrica (UTECH). The results indicated hardness concentrations above 200 mg/L (as $CaCO_3$) in communities such as Cambutal, Guánico, El Bebedero, El Cacao and Tonosí, exceeding the limit established by the DGNTI COPANIT 21-2019 technical regulation

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

for drinking water. Also, the concentrations of barium, antimony, manganese and iron exceeded the values allowed in some sites. Calcium with a minimum average of 11.5 mg/L and a maximum average of 213.3 mg/L, depending on the sampling point, reflected higher concentrations with respect to the other minerals evaluated. Communities must be informed of the mineral composition of their water, because its contribution can influence the health of the population.

Keywords: Water quality, hardness, minerals, soil geology, and portable analytical equipment.

Resumen

La ingesta de minerales, a través del agua potable, depende de las necesidades del cuerpo, afectando la salud de manera beneficiosa o desfavorable. La Organización Mundial de la Salud no establece concentraciones mínimas o máximas de estos minerales en sus "Directrices para la Calidad del Agua Potable" debido a la falta de evidencia concluyente y a la contradicción entre estudios sobre sus efectos. El objetivo de este estudio es evaluar la dureza del agua en la comunidad de Tonosí, Los Santos con equipos analíticos portátiles y detallar los posibles efectos que puede conllevar el consumo del agua potable en la zona. Se realizaron cuatro giras, recolectando muestras en 21 puntos de uso comunitario. Los análisis fueron realizados de manera simultánea con el apoyo de la Unidad Técnica de Calidad Hídrica (UTECH). Los resultados indicaron concentraciones de dureza superiores a 200 mg/L (como $CaCO_3$) en comunidades como Cambutal, Guánico, El Bebedero, El Cacao y el centro de Tonosí, superando el límite establecido por el reglamento técnico DGNTI COPANIT 21-2019 para agua potable. También, las concentraciones de bario, antimonio, manganeso y hierro excedían los valores permitidos en algunos sitios. El calcio con un promedio mínimo de 11.5 mg/L y un promedio máximo de 213.3 mg/L, dependiendo del punto de muestreo, reflejó concentraciones mayores con respecto a los demás minerales evaluados. Las comunidades deben estar informadas de la composición mineral de su agua, debido a que su aporte puede influir en la salud de la población.

Palabras claves: Calidad del agua, dureza, minerales, geología del suelo y equipos analíticos portátiles.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

La dureza del agua está relacionada con la presencia de iones disueltos, principalmente calcio y magnesio. La Organización Mundial de la Salud (OMS) no establece concentraciones mínimas o máximas de estos minerales en sus “Directrices para la Calidad del Agua Potable” debido a la falta de evidencia concluyente y a la contradicción entre estudios sobre sus efectos.

La ingesta adecuada depende de las necesidades del cuerpo, las interacciones hormonales y los nutrientes, afectando la salud humana de manera beneficiosa o desfavorable [1]. La presencia de estos minerales suele deberse a la filtración del agua a través de las rocas erosionadas, pero también puede ser causada por actividades antropogénicas. Es fundamental que las comunidades conozcan la composición mineral del agua que consumen, con el fin de evaluar posibles medidas de adecuación de su calidad para uso doméstico.

Este estudio se llevó a cabo en el marco del proyecto “Morbilidad vs la calidad del agua para consumo humano en Tonosí: un estudio piloto” con el objetivo de evaluar la dureza del agua en el distrito de Tonosí, provincia de Los Santos en Panamá con equipos analíticos portátiles y detallar los posibles efectos que puede conllevar el consumo del agua potable en la zona.

2. MÉTODO

Del proyecto realizado del 2021-2024, se seleccionaron 21 puntos de muestreo en diferentes corregimientos del distrito de Tonosí y se realizaron cuatro giras de campo (2 en temporada seca y 2 temporada lluviosa). La dureza del agua se analizó a través de la titulación digital portátil y las concentraciones de minerales en el agua se analizaron mediante la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total (Fig. 1). Adicional, se tomaron las condiciones ambientales del agua, in situ.

(a) (b)

Fig. 1 Equipos de calidad de agua. (a) Titulador Digital HACH; (b) Espectrómetro TXRF S2Picofox.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Los muestreos y análisis se realizaron de manera simultánea gracias a la Unidad Técnica de Calidad Hídrica (UTECH), que facilita el acceso a zonas limitadas [2]. Para conocer el origen de los minerales en el agua potable, se evaluó, a través de mapas geológicos, la composición química de las rocas del área de estudio y se estableció una posible relación con las concentraciones de minerales en las muestras de agua. También, se realizó una búsqueda de literatura sobre los efectos de la dureza del agua en la salud, observando discrepancia en los resultados. Además, se evalúo el índice de riesgo no cancerígeno, por ingesta de ciertos minerales en las personas (a diferentes rangos de edad).

3. RESULTADOS

A. Composición geológica del suelo

El distrito de Tonosí se caracteriza por tener un suelo formado sobre rocas sedimentarias (lutita y arenisca) y rocas ígneas (basaltos, diabasa y pillow lavas) (Fig. 2).

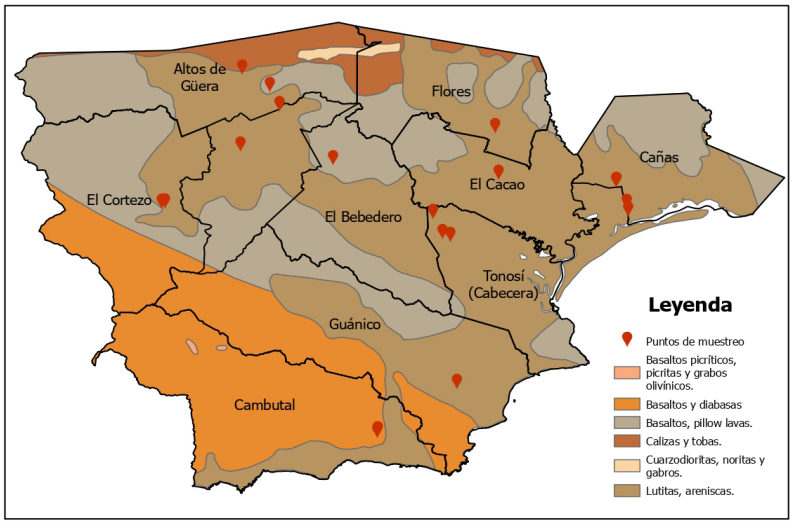


Fig. 2 Mapa geológico del distrito de Tonosí y los puntos de muestreo.

La composición química del suelo está dominada por Si, Al y O, con aportes de Ca, Fe y Mg. También, el Ba y Sb se concentran en rocas como la lutita negra.

B. Análisis de la calidad del agua

La comunidad de Tonosí se abastece de fuentes de agua superficiales y subterráneas, dependiendo de la disponibilidad y la calidad. Por lo que la calidad del agua y las concentraciones de minerales varían no solo por la zona, sino, por la fuente.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Se realizó un promedio de los puntos muestreados y se comparó con el valor máximo permitido del Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019 sobre agua potable (Fig. 3) [3].

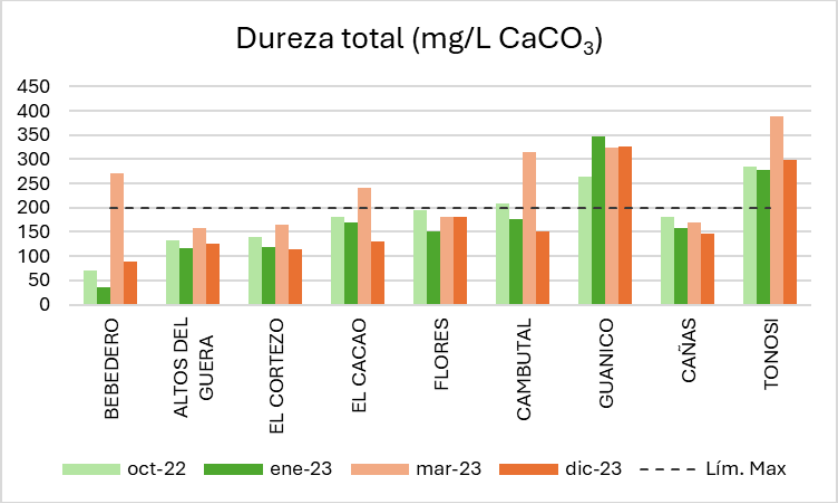


Fig. 3 Valores de dureza total en cada corregimiento del distrito de Tonosí.

Los corregimientos de Guánico y Tonosí cabecera reflejaron altas concentraciones durante todas las giras. En marzo 2023, hay mayor concentración de dureza en la mayoría de las zonas estudiadas. También, se midieron los parámetros de pH y temperatura con un promedio de 7.07 y 28.66 °C, respectivamente. Estos valores son adecuados para agua potable.
En la tabla 1, se detalla el promedio por cada mineral evaluado en toda el área de estudio. Los valores marcados (color rojo) muestra niveles mayores a los permitidos por el Reglamento Técnico.

Tabla 1. Valores de minerales en cada gira para todo el distrito de Tonosí.

Parámetros (mg/L)	Octubre 2022	Enero 2023	Marzo 2 023	Diciembre 2023	Valores máx. (mg/L)
Ca	11,509	652,653	252,694	213,333	-
Al	No Det.	No Det.	No Det.	No Det.	0,20
Ba	0,040	**1,635**	**1,003**	0,498	0,70
Mn	0,071	**0,683**	**0,913**	**0,279**	0,10
Fe	**0,326**	**5,094**	**3,718**	**1,165**	0,30
Sb	**0,216**	**3,965**	**1,618**	**2,260**	0,02
Zn	0,033	1,373	0,288	0,045	5

Los valores de bario, manganeso, hierro y antimonio presentaron concentraciones por encima del valor máximo permitido. El Bario y el Antimonio se consideran tóxicos para la salud.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

CC. álculo del índice de riesgo y efectos de la dureza en la salud

El coeficiente de riesgo es un valor utilizado para determinar los posibles riesgos no cancerígenos, debido a la exposición a largo plazo, de la población. Se evaluó si los niveles de bario, manganeso, hierro y antimonio encontrados en el agua potable causan riegos en la salud.

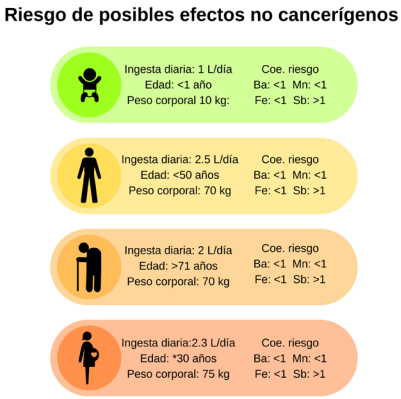


Fig. 4 Índice de riesgo no cancerígeno por la ingesta de agua potable.

Si el índice CR <1 no hay riesgo significativo para la salud y si es CR >1 indica que la dosis de ingesta es mayor a la dosis de referencia, causando efecto adverso en la salud humana [4]. El índice de riesgo de antimonio dio CR >1 presentando posibles riesgos hematológicos (Fig. 4).

Los efectos de la dureza del agua potable en la salud han sido objeto de una amplia investigación, debido a que estudios sugieren que altos niveles de calcio y magnesio se correlaciona con menor incidencia de enfermedades cardiovasculares y efecto protector en riesgo de cáncer, pero también, riesgo de cálculos renales y riesgo de enfermedades de Alzheimer.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig. 5 Efectos de la dureza del agua potable en la salud según estudios previos.

4. CONCLUSIONES

La calidad del agua se ve influenciada por diversos factores (sociales, ambientales y climatológicos). Para la dureza del agua no se sugiere un valor máximo permitido debido a que sus efectos dependen de las condiciones ambientales y del consumidor. El distrito de Tonosí presenta una dureza significativa por la composición geológica del suelo, que aporte una amplia variedad de minerales al agua potable. Si bien, las concentraciones de calcio y magnesio que caracterizan el agua dura no causan un efecto directo en la salud, la presencia de otros minerales como el bario y el antimonio si son tóxicos y pueden promover el desarrollo de enfermedades a largo plazo. Es importante conocer la composición mineral del agua potable para adoptar medidas, en el sistema de distribución y en los hogares, a beneficio de la comunidad.

Referencias

[1] World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. 2022. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240045064

[2] J. E. O. Guevara, K. Broce, N. A. Gómez Zanetti, D. Henríquez, C. Ellis, y Y. L. Mack-Vergara, «The Impact of a Mobile Laboratory on Water Quality Assessment in Remote Areas of Panama», Sustainability, vol. 17, n.o 15, p. 7096, ene. 2025, doi: 10.3390/su17157096.

[3] Ministerio de Comercio e Industrias, «Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019 Tecnología de los Alimentos, Agua Potagle. Definiciones y Requisitos Generales». 2019. [En línea]. Disponible en: https://faolex.fao.org/docs/pdf/pan190168.pdf

[4] H. El Baroudi et al., «Evaluation of drinking water quality and potential health risks on the

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

population in Morocco», Desalination and Water Treatment, vol. 320, p. 100715, oct. 2024, doi: 10.1016/j.dwt.2024.100715.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Estrategias de construcción para abordar la resiliencia frente al cambio climático: estructuras verdes, grises e híbridas

Castillo-Martínez, Kathleen Jhoan
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID ID 0009-0003-8276-6201

Mack-Vergara, Yazmin Lisbeth
Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID ID 0000-0002-1313-9234

Guerra-Chanis, Gisselle
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID ID 0000-0003-1098-4675

Abstract

Anthropogenic activities are the main emitters of greenhouse gases that drive climate change, intensifying the occurrence of extreme weather events that trigger a greater number of floods, landslides, strong winds, and sea level rise. In this context, infrastructure plays a fundamental role in protecting communities with infrastructure that contributes to resilience, such as green, gray, and hybrid infrastructure. On the one hand, gray infrastructure focuses on the use of hard structures built with concrete to guarantee durability and resistance properties, while green and hybrid infrastructure incorporate solutions based on mitigating the adverse effects of climate change. Through the identification of the most aggravating natural disasters in Panama and a literature review, this document explores alternatives for community resilience in the face of climate change events, with the use of green, gray, and hybrid infrastructure that are also environmentally sustainable.

Keywords: Natural disasters, concrete, infrastructure, Panama, sustainability.

Resumen

Las actividades antropogénicas son los principales emisores de gases de efecto invernadero que impulsan el cambio climático intensificando la aparición de fenómenos meteorológicos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

extremos que desencadenan un mayor número de eventos de inundaciones, deslizamiento, vientos fuertes y el aumento del nivel del mar. En este contexto, la infraestructura desempeña un papel fundamental para la protección de las comunidades con infraestructuras que contribuyan a la resiliencia como las infraestructuras verdes, grises e híbridas. Por un lado, la infraestructura gris se enfoca en el uso de estructuras duras construidas con concreto para garantizar las propiedades de durabilidad y resistencia mientras que la infraestructura verde e híbrida incorpora soluciones basadas en la naturaleza para mitigar los efectos adversos del cambio climático. A través de la identificación de los desastres naturales más agravantes en Panamá y una revisión de la bibliografía, este documento explora las alternativas para la resiliencia de las comunidades frente a los eventos del cambio climático con el uso de infraestructura verde, gris e híbrida que a su vez sean sostenibles ambientalmente.

Palabras claves: desastres naturales, hormigón, infraestructura, Panamá, sostenibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático puede deberse a diversos procesos naturales, sin embargo, las actividades humanas son una de las principales causas de este fenómeno a través de emisiones de gases de efecto invernadero. El cambio climático altera los patrones meteorológicos que desencadenan deslizamientos de tierra, huracanes, tornados, inundaciones, aumento del nivel de mar, entre otros efectos; y tiene un impacto significativo en las comunidades tanto urbanas como rurales causando daños en las infraestructuras, pérdidas económicas y el desplazamiento de poblaciones.

Existen diversos tipos de estructuras que pueden contribuir a crear resiliencia frente a estos eventos como las infraestructuras grises basadas en el uso de hormigón, las infraestructuras verdes basadas en la naturaleza y una combinación de ambas conocida como infraestructura híbrida (Fig. 1). Todas estas soluciones abren paso a enfrentar los desafíos del cambio climático fortaleciendo la resiliencia y protección de las comunidades, especialmente las más vulnerables en distintas regiones de Panamá.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

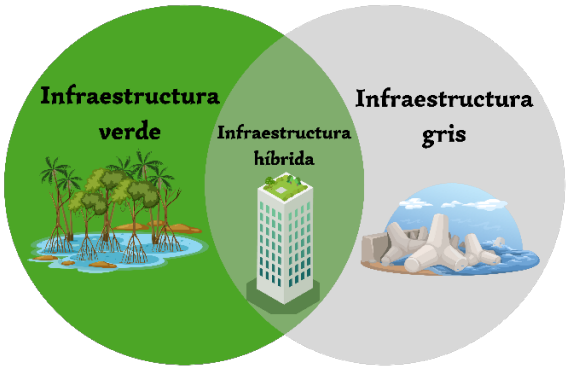


Fig. 1. Tipos de infraestructura: verde (soluciones basadas en la naturaleza), gris (obras de ingeniería tradicional) e híbrida (combina elementos de ambas para una gestión sostenible).

En este sentido, el objetivo de este estudio es explorar alternativas para la resiliencia de las comunidades frente a eventos del cambio climático, incluyendo el uso de estructuras verdes, estructuras grises e híbridas que a su vez sean sostenibles ambientalmente.

2. MÉTODO

Como primer paso, se han identificado los principales riesgos ambientales relacionados con el cambio climático en Panamá a través de los datos proporcionado por los mapa interactivos del proyecto Panamá Hub Resiliente del Georgia Tech Panama Logistics Innovation & Research Center [1] y el Atlas de Riesgos Climático de Panamá del Ministerio de Ambiente que brinda una proyección al 2050 de las zonas con inundación costera permanente [2].
Se realizó una revisión de la literatura en materia de construcción evaluando los documentos existentes en el uso del hormigón y las alternativas innovadoras de construcciones que utilizan la naturaleza para la protección y resiliencia de las comunidades. La base de datos utilizada para esta revisión fue Science Direct y Google Scholar y se seleccionaron los artículos científicos publicados que contienen una combinación de palabras clave apoyada por el operador booleano AND.

3. RESULTADOS

En Panamá, los principales riesgos ambientales incluyen inundación costera permanente asociada al aumento del nivel del mar, los deslizamientos, incendios e inundaciones de diferentes comunidades. La provincia de Panamá y Colón son las más afectadas por estos desastres naturales, sin embargo, no se consideran las zonas más vulnerables del país. En contraste, las regiones de Bocas del Toro, comarca Ngobe-Buglé, norte de Veraguas, suroeste de Darién, entre otros, son las más vulnerables.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Fig. 2. Mapa de inundación costera permanente (escenario SSP5-8.5 IPCC) y los desastres naturales con mayor frecuencia en Panamá. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos [1], [2].

Estos fenómenos causan grandes impactos en la infraestructura construida, por lo que existe una necesidad urgente de generar esfuerzo en materia de mitigación con la construcción de estructuras sólidas y que tengan la capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes. El uso del hormigón en la construcción tiene beneficios claves como la resistencia, durabilidad, bajo costo con relación a otros materiales de construcción, sin embargo, plantea desafíos como el aumento de la escorrentía superficial.

A. Infraestructura gris

Hormigón permeable

Se trata de un hormigón permeable que permite la infiltración del agua en el suelo y por ende la recarga en aguas subterráneas, a través de su estructura porosa reduciendo la escorrentía superficial. Contribuye no solo con la reducción del riesgo de inundaciones, sino, además, puede mitigar el efecto de la isla de calor. Este puede ser mezclado con áridos reciclados y polímeros, cenizas volantes, humo de sílice, favoreciendo la disminución del impacto ambiental que genera la construcción con hormigón. Sin embargo, se encuentra limitada por una menor resistencia que las infraestructuras convencionales, por lo que su uso es recomendable en aceras, parqueaderos, parques recreativos, calles residenciales y proyectos similares [3].

Casas elevadas

Son especialmente estratégicas en zonas costeras propensas a inundaciones, ofreciendo protección y permitiendo que el agua fluya por debajo de las viviendas generando la capacidad de adaptarse al cambio climático soportando las inundaciones. Sin embargo, los tomadores de decisiones requieren orientación para evaluar el impacto en la vulnerabilidad

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de las inundaciones, ya que los niveles de riesgo asociados a amenazas de inundación aumentarán constantemente [4].

B. Infraestructura verde

La mayoría de los estudios se centran en la infraestructura verde para la gestión de las aguas pluviales, servicios ecosistémicos, la protección de la biodiversidad y el cambio climático.

Humedales

Panamá ha perdido un gran porcentaje de sus manglares que tienen un gran potencial de secuestro y almacenamiento de CO2 además de ser refugio de diversas especies que, a su vez, algunas son especies muy valiosas para las comunidades pesqueras. Además, juegan un papel importante como infraestructura de protección costera como barrera natural que amortigua la energía de las olas y las tormentas a través de su compleja red de raíces disipando hasta un 60% de la energía, todo esto sin comprometer la conectividad ecológica.

Espacios verdes

Sirve de infraestructura para la resiliencia de las ciudades, mitigando los efectos del cambio climático con la disminución del riesgo de inundaciones porque favorecen la infiltración del agua, actúan como reguladores térmicos reduciendo el efecto de la isla de calor urbano, y brindan otros servicios ecosistémicos como la purificación del aire y espacios para la recreación. Sin embargo, debe ir acompañada de una plantación gestionada que se adapte a las condiciones y necesidades locales.

C. Infraestructura híbrida

Arrecifes artificiales

El aumento del nivel del mar, los eventos meteorológicos extremos y la presión antropológica hacen que las comunidades costeras sean más vulnerables a los efectos del cambio climático. Los arrecifes artificiales representan una herramienta valiosa que aporta beneficios a las comunidades costeras atenuando la energía del oleaje y permitiendo que las costas se vean menos afectadas por la erosión. Se debe prestar mucha atención a los materiales utilizados para una adecuada colonización de las especies [6], [7] y la geometría con la que son diseñados para aumentar su rendimiento de disipación de energía [8]. Adicionalmente, se puede aprovechar otras tecnologías como la impresión en 3D para su elaboración de arrecifes de corales artificiales reduciendo así costos de producción, el desperdicio de material, las emisiones producidas por el transporte y facilita la elaboración de arrecifes estructuras complejas tratando así de simular los esqueletos de los corales.

Techos verdes

Entre sus diferentes beneficios destacan la regulación de la temperatura, ya que tienen el potencial de reducir la temperatura circundante hasta 3°C y el control de la escorrentía

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

superficial [9]. En países como Panamá, con abundante precipitación y alta humedad, los techos verdes requerirán mantenimiento como el deshierbe y monitoreo para detectar enfermedades en las plantas. Sin embargo, los costos elevados, mantenimiento constante y la falta de planes que fomenten su adopción son algunos de los obstáculos que dificultan su implementación.

D. Limitaciones y ventajas

Si bien es cierto, las infraestructura verde aunque aporta un importante hábitat para la biodiversidad, contribuye significativamente con el secuestro y almacenamiento de carbono (especialmente los humedales y bosques), su costo es menor que las infraestructura gris y brindan servicios ecosistémicos, también enfrentan ciertos desafíos por la falta de conocimiento sobre como el diseño afecta la dinámica de los sedimentos en los entornos costeros, no son estrategias estandarizadas además de existir poca información disponible sobre su eficacia, son algunas de las razón que complican su implementación.

Por su parte, la infraestructura gris a sido a través de los años, una de las fuentes más confiables para la protección de las cosas gracias a sus excelentes propiedades mecánicas de resistencia y durabilidad, además de adquirir solidez inmediatamente luego de su construcción, sin embargo, no tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes, impiden el crecimiento de la vegetación, rompe la conectividad ecológica, aumenta la escorrentía superficial que desencadena en un mayor número de eventos de inundaciones y algunos de los materiales por lo que está compuesto contribuye significativamente a la emisión de gases como el CO2.

Algunas de estas limitaciones pueden ser solventadas parcialmente con la inclusión de la infraestructura híbrida. Presenta una sinergia de la infraestructura verde y gris reduciendo los costos de construcción y la extracción de materia prima al mismo tiempo que aumentan la confiabilidad y resiliencia, pero su implementación requiere de métricas detalladas de diseño al igual que planes, políticas y financiamiento para lograr que sean llevadas a cabo. En este sentido, el sector de la gobernanza debe prestar especial atención a implementar planes y políticas que incluyan las soluciones basadas en la naturaleza para enfrentar los desafíos del cambio climático creando ciudades más resilientes y sostenibles debido a que Panamá está mayormente enfocada en la construcción con ingeniería convencional, es decir, infraestructura gris.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

Tanto las infraestructuras verdes y grises presentan desafíos en su implementación. Por su parte, las estructuras verdes no son estandarizadas, es decir, su aplicación requiere de una evaluación rigurosa para que puedan ser puestas en práctica tomando en cuenta aspectos sociales, ambientales y económicos. Por otro lado, las estructuras grises tienden a ser más costosas y requieren de mantenimiento constante, además, pueden alterar los hábitats naturales y la dinámica costera.

Las infraestructuras híbridas aprovechan los poderes regenerativos de la naturaleza y la resiliencia estructural de la ingeniería convencional para crear sinergia entre los dos tipos de estructuras, aumentando la capacidad de resiliencia de las comunidades mayormente afectadas por los efectos del cambio climático. Estructuras como los techos verdes, pavimentos de hormigón permeable, espacios verdes y la reforestación pueden ayudar a reducir las temperaturas y el riesgo de inundaciones; los arrecifes artificiales y la reforestación de humedales costeros ayudan a mitigar la erosión costera causada por la energía de las olas.

Referencias

[1] Georgia Tech Panama, «Panamá Hub Resiliente - Mapa riesgos ambientales». Accedido: 22 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://resilienciamapa.gatech.pa/ambiente

[2] Ministerio de Ambiente, «Climate Risk Atlas of Panama». [En línea]. Disponible en: https://atlasderiesgoclimatico.miambiente.gob.pa/atlas

[3] J. Nilimaa, «Smart materials and technologies for sustainable concrete construction», Developments in the Built Environment, vol. 15, p. 100177, oct. 2023, doi: 10.1016/j.dibe.2023.100177.

[4] N. K. Mohammad et al., «Rising Above the Waters: Pioneering Flood Resilient Housing Development Strategies», BEJ, vol. 22, pp. 102-121, 2025, doi: 10.24191/bej.v22iSI.6495.

[5] X. Xu, J. J. O'Sullivan, S. Abolfathi, J. Keenahan, J. M. Pearson, y M. Salauddin, «Advances in understanding the challenges and opportunities of hybrid sea defence approaches for coastal resilience», Environmental Challenges, vol. 19, p. 101130, jun. 2025, doi: 10.1016/j.envc.2025.101130.

[6] M. Rupasinghe, R. S. Nicolas, B. S. Lanham, y R. L. Morris, «Sustainable oyster shell incorporated artificial reef concrete for living shorelines», Construction and Building Materials, vol. 410, p. 134217, ene. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134217.

[7] X. Huang, Z. Wang, Y. Liu, W. Hu, y W. Ni, «On the use of blast furnace slag and steel slag in the preparation of green artificial reef concrete», Construction and Building Materials, vol. 112, pp. 241-246, jun. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.088.

[8] B. K. Norris et al., «Designing modular, artificial reefs for both coastal defense and coral restoration», Coastal Engineering, vol. 199, p. 104742, jun. 2025, doi: 10.1016/j.coastaleng.2025.104742.

[9] J. Langemeyer, D. Wedgwood, T. McPhearson, F. Baró, A. L. Madsen, y D. N. Barton, «Creating urban green infrastructure where it is needed – A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona», Science of The Total Environment, vol. 707, p. 135487, mar. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135487.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Investigating the presence of yeast in ensiled Multispecies and Perennial Ryegrass – White Clover Grasses using PCR

Martínez, Andrea
Dundalk Institute of Technology
Dundalk, Irlanda
andrealmg31@gmail.com

Abstract

Preserving forages is a practice implemented to feed livestock during winter periods. This is a common practice in countries like Ireland that rely on the ensiling of forage by fermentation with lactic acid-bacteria (LAB). This is a process vulnerable to contamination by undesirable microorganisms, which may be introduced through treatment with fertiliser, in the form of either slurry or inorganic fertiliser, or both. The aim of this research project was to determine if there is presence of yeast in Multispecies (MS) and perennial ryegrass – white clover (PRG-WC) silage which has been stored under anaerobic conditions over time and showed heating. DNA was extracted and quantified for yield and purity. Yeast specific primers ITS1-F/NLB3 and ITS1/ITS2 were used to detect if yeast was present using the polymerase chain reaction (PCR) method. DNA yield (ng/µL) resulted to be higher in MS samples compared to PRG-WC. Also, the treatments containing slurry have a positive influence in the DNA yield of MS samples, more when it includes inorganic fertiliser, while in PRG-WC there is no significant effect. DNA purity has a positive influence on MS samples compared with PRG-WC, still, in both cases the results are below the recommended ratio for 260/280 and 260/230 nm absorbance, meaning the possible presence of contaminants.

Keywords: yeast, Multispecies (MS) silage, perennial ryegrass – white clover (PRG-WC) silage, slurry, polymerase chain reaction (PCR).

Resumen

La conservación de forrajes es una práctica que se lleva a cabo para alimentar al ganado durante los períodos de invierno. Se trata de una práctica habitual en países como Irlanda, que dependen del ensilado de forrajes mediante fermentación con bacterias ácido-lácticas (BAL). Este proceso es vulnerable a la contaminación por microorganismos indeseables, que pueden introducirse a través del tratamiento con fertilizantes, ya sea en forma de purines, fertilizantes inorgánicos o ambos. El objetivo de este proyecto de investigación

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

era determinar si hay presencia de levadura en el ensilado multiespecie (MS) y de raigrás perenne y trébol blanco (PRG-WC) que se ha almacenado en condiciones anaeróbicas durante un tiempo y ha mostrado calentamiento. Se extrajo y cuantificó el ADN para determinar su rendimiento y pureza. Se utilizaron cebadores específicos para levaduras ITS1-F/NLB3 e ITS1/ITS2 para detectar la presencia de levaduras mediante el método de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). El rendimiento de ADN (ng/µL) resultó ser mayor en las muestras de MS en comparación con las de PRG-WC. Además, los tratamientos que contienen purín tienen una influencia positiva en el rendimiento del ADN de las muestras MS, más aún cuando incluyen fertilizantes inorgánicos, mientras que en PRG-WC no se observa ningún efecto significativo. La pureza del ADN tiene una influencia positiva en las muestras MS en comparación con PRG-WC, aunque en ambos casos los resultados están por debajo de la relación recomendada para la absorbancia de 260/280 y 260/230 nm, lo que significa la posible presencia de contaminantes.

Palabras claves: levadura, ensilado multiespecie (MS), ensilado de raigrás perenne y trébol blanco (PRG-WC), purín, reacción en cadena de la polimerasa (PCR).

1. INTRODUCTION

Agriculture is a key sector in Ireland, occupying about 67.7% of the land primarily for livestock farming, contributing 4% to exports through animal feed [1]. The sector is sensitive to climate and soil conditions, with 2023 experiencing reduced rainfall negatively impacting grass and cereal crop growth [2]. Ireland's livestock system relies mainly on a grass-based feeding regime, which struggles in winter, leading to the adoption of forage preservation through silage, crucial for year-round feed availability [1][3]. Grass silage, conserved via anaerobic fermentation by lactic acid bacteria (LAB), accounted for 80.6% of farmed land in 2019 [4][5]. LAB produces lactic acid, which promotes the formation of beneficial volatile fatty acids in the rumen [6].

Enhancing silage involves fertilization, either inorganic or organic. Inorganic fertilizers comprising nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, and potassium boost yield and crude protein content but can increase greenhouse gas emissions through nitrogen losses [7][8][9]. Organic slurry, a semi-liquid manure, supplies nutrients but risks forage contamination and emissions that may reduce feed acceptance [1][10].

Silage types include grass, herbs, cereals, and legumes, with perennial ryegrass (PRG) dominant in Ireland due to its cold climate adaptability, though requiring significant inorganic fertilizer inputs [11]. Multispecies (MS) silage mixes including legumes like white clover can improve animal health, enhance biodiversity, and reduce fertilizer use due to

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

nitrogen fixation [12][13].
Microbial dynamics in silage critically affect fermentation quality. Undesirable microbes like yeasts cause spoilage by metabolizing lactic acid and increasing pH, leading to nutrient loss and health risks [5][14]. While traditional culture methods are limited, molecular tools such as PCR and metagenomics enable detailed and efficient microbial community analysis, useful for managing silage quality [5][6][15].

2. METHODS

A. Subsample collection

PRG-WC and MS silage samples were collected and produced by Ryan Callan, a PhD candidate under the supervision of Dr. Joseph Lynch, DkIT. From there, samples that showed heating during ensiling were selected for further analysis and then stored at -80°C until further use.

B. DNA extraction

DNA extraction from silage samples was done taking 20 g of sample as outlined by [14] and with a change in the time of incubation of the DNA for lysis from 16 h to 1 h. The pellet was resuspended in the TE buffer for storage at −20°C. This procedure ensures effective cell lysis, removal of contaminants, and preservation of high-quality DNA suitable for further molecular analysis and quantification at 260/280 and 260/230.

C. Polymerase chain reaction (PCR)

The PCR was carried out using the Applied Biosystems Veriti machine following these cycling parameters: first denaturalisation at 95°C for 5 minutes, a cycle of 35 repetitions (denaturalisation at 95°C for 30 seconds, annealing at 60°C for 30 seconds and extension at 72°C for 60 seconds) and a final extension at 72°C for 5 minutes. MyTaq HS master mix (Bioline) and reagents were prepared in a total volume of 50 µL using: 25 µL of MyTaq HS Mix, 1 µL of each primer (forward and reverse), 200 ng/L of the template DNA (Volume adjusted based on initial concentration of DNA) and H2O (Volume adjusted based on initial concentration of DNA).
The products were visualized on a 1% agarose gel for 90 minutes at 81 V and visualized in a transilluminator.

D. Statistical analysis

The statistical analysis of DNA yield and purity from Nanodrop measurements was conducted

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

using unpaired t-tests and one-way analysis of variance (ANOVA) via MS Excel.

3. RESULTS

A. The grass type has an influence on the DNA yield

A mean of 36.08 ± 4.16 (ng/µL) was obtained for PRG-WC samples and for the MS samples a mean of 100.59 ± 25.37 (ng/µL) as it is shown on Figure 1. An unpaired t-test was developed, and a p-value of 0.02 was obtained, which means there is evidence to say there is a statistically important difference between the total DNA yield (ng/µL) of the PRG-WC and the MS silage.

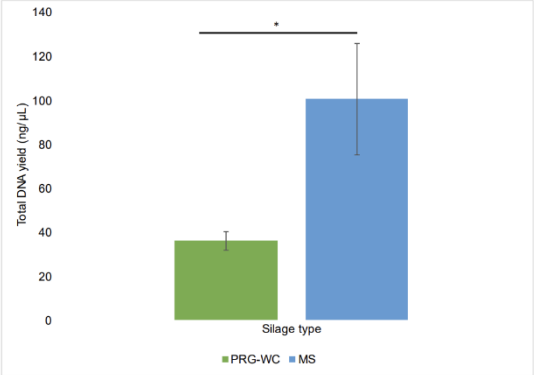


Figure 1. Total DNA yield (ng/µL) of PRG-WC vs. MS. The mean of the yield (ng/µL) for PRG-WC and MS was compared using an unpaired t-test. * p-value > 0.02. Error bars show the standard error of the mean (SEM).

B. Yeast identification through PCR

The ITS1 and ITS2 region of the yeast genome was amplified through PCR using the pair of primers ITS1-F, NLB3, ITS1 and ITS2. The amplicons were prepared to be seen on 1% agarose gels and analysed using a transilluminator as presented on Figure 2 and Figure 3. This resulted in the absence of yeast in the silage samples as it is confirmed by the amplification of the positive control with the pair of primers ITS1-F and NLB3, where the expected size is between 800 and 1000 bp [16]. While for the pair of primers ITS1 and ITS2, an expected size of 300 bp [17].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

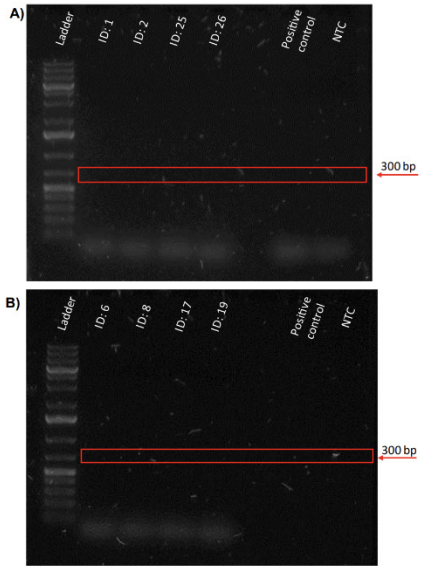


Figure 2. ITS1 and ITS2 amplicons. Electrophoresis separation was performed on 1% agarose gel, stained with SYBR safe. A) Lane 1: Ladder (20 kb), Lane 2: PRG-WC/100 Slurry/No inorganic [ID: 1], Lane 3: MS/100 Slurry/No inorganic [ID: 2], Lane 4: PRG-WC/100 Slurry/No inorganic [ID: 25], Lane 5: MS/100 Slurry/No inorganic [ID: 26], Lane 6: Positive control (Yeast DNA) and Lane 7: No template control (NTC). B) Lane 1: Ladder (20 kb), Lane 2: MS/100 Slurry/100 inorganic [ID: 6], Lane 3: MS/No slurry/No inorganic [ID: 8], Lane 4: PRG-WC/100 Slurry/100 inorganic [ID: 17], Lane 5: PRG-WC/No Slurry/No inorganic [ID: 19], Lane 6: Positive control (Yeast DNA) and Lane 7: No template control (NTC).

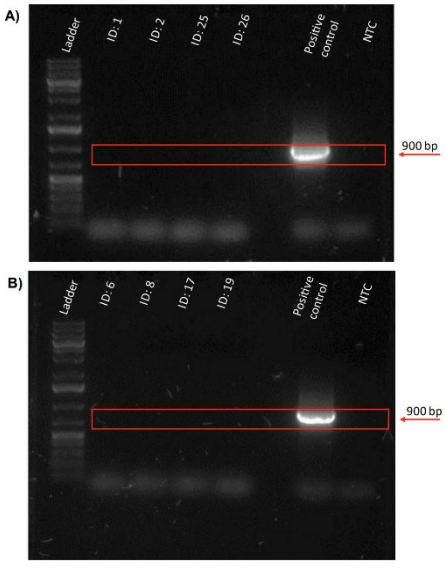


Figure 3. ITS1-F and NL 3 amplicons. Electrophoresis separation was performed on 1% agarose gel, stained with SYBR safe. A) Lane 1: Ladder (20 kb), Lane 2: PRG-WC/100 Slurry/No inorganic [ID: 1], Lane 3: MS/100 Slurry/No inorganic [ID: 2], Lane 4: PRG-WC/100

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Slurry/No inorganic [ID: 25], Lane 5: MS/100 Slurry/No inorganic [ID: 26], Lane 6: Positive control (Yeast DNA) and Lane 7: No template control (NTC). B) Lane 1: Ladder (20 kb), Lane 2: MS/100 Slurry/100 inorganic [ID: 6], Lane 3: MS/No slurry/No inorganic [ID: 8], Lane 4: PRG-WC/100 Slurry/100 inorganic [ID: 17], Lane 5: PRG-WC/No Slurry/No inorganic [ID: 19], Lane 6: Positive control (Yeast DNA) and Lane 7: No template control (NTC).

4. CONCLUSIONS

Multispecies (MS) and perennial ryegrass – white clover (PRG-WC) silage following treatment with slurry and/or inorganic fertiliser have shown to be a potential source for animal feed in Ireland. The lack or presence of yeast was carried out by DNA extraction using a published protocol by [14], which was adapted by reducing the incubation period with proteinase K and 20% SDS from 16 h to 1 h for a higher yield of DNA and by adding a second 70% ethanol wash to improve the purity of the samples. When quantifying purity and concentration of DNA using Nanodrop spectrophotometry, the grass type had a positive influence on the DNA yield (ng/µL). MS samples showed a higher yield of DNA compared to PRG-WC, indicating the composition allowed more cells to be present and be lysed. The purity had no discrimination between MS and PRG-WC due to it remained below the recommended ratio for 260/280 and 260/230 nm absorbance. Caused by the remaining contaminants, grass type has an influence on DNA purity. Also, from all the treatments of fertilisers, slurry presence has a higher influence on MS samples yield, enhancing the amount of DNA. However, slurry treatments have no influence on DNA purity for MS nor PRG-WC. The DNA of the silage samples that presented heating were used to detect the presence of yeast by using yeast specific primers for PCR, being ITS1-F/NLB3 by [16] and [18] the most suitable pair due to the place it targets, which allowed to confirm there was no presence of yeast with the amplification of the positive control containing DNA of bread yeast. Conversely, the heating of the silage samples was not due to the presence of yeast, but of other factors like microbes, which represent an idea for further research on factors for aerobic spoilage where sequencing and targeting other microbes might help in solving the problem of aerobic deterioration by microorganisms.

References

[1] Environmental Protection Agency (EPA), “Chapter 13 - Environment and Agriculture. ,” Ireland’s Environment . https://www.epa.ie/publications/monitoring--assessment/assessment/state-ofthe-environment/EPA-Ireland%E2%80%99s-Environment-2020-Chapter13.pdf (accessed Aug. 22, 2023).

[2] E. Dillon et al., “Situation and Outlook for Irish Agriculture,” Teagasc, 2023.

[3] J. M. Wilkinson and D. R. Davies, “The aerobic stability of silage: key findings and recent developments,” Grass and Forage Science, vol. 68, no. 1, pp. 1–19, Jun. 2012, doi: https://doi.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x.
[4] T. Moloney, H. Sheridan, J. Grant, E. G. O'Riordan, and P. O'Kiely, "Conservation efficiency and nutritive value of silages made from grassred clover and multispecies swards compared with grass monocultures," Irish Journal of Agricultural and Food Research, vol. 59, no. 1, pp. 150–166, 2020, doi: https://doi.org/10.2307/27041763.
[5] C. L. S. Ávila and B. F. Carvalho, "Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms," Journal of Applied Microbiology, vol. 128, no. 4, pp. 966–984, Oct. 2019, doi: https://doi.org/10.1111/jam.14450.
[6] T. A. McAllister et al., "Silage review: Using molecular approaches to define the microbial ecology of silage," Journal of Dairy Science, vol. 101, no. 5, pp. 4060–4074, May 2018, doi: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13704.
[7] J. Silva and R. Uchida, "Inorganic Fertilizer Materials in Plant nutrient management in Hawaii's soils: Approaches for tropical and subtropical agriculture" Honolulu, HI: College of Tropical Agriculture & Human Resources, University of Hawaii at Manoa, pp. 117–120, 2000, Accessed: Jan. 08, 2001. [Online]. Available: https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/pnm12.pdf
[8] T. Moloney, H. Sheridan, J. Grant, E. G. O'Riordan, and P. O'Kiely, "Herbage nutritive value of binaryand multispecies swards relative to singlespecies swards in intensive silage systems," Irish Journal of Agricultural and Food Research, vol. 59, no. 1, pp. 167–184, 2020, doi: https://doi.org/10.2307/27041764.
[9] K. M. McCarthy et al., "Rumen fermentation and forage degradability in dairy cows offered perennial ryegrass, perennial ryegrass and white clover, or a multispecies forage," Livestock Science, p. 105185, Feb. 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105185.
[10] Helvi Heinonen-Tanski et al., "Aeration improves the hygiene of cattle slurry and the quality of grass forage and silage†," Acta agriculturæ Scandinavica. Section B, Soil and plant science, vol. 48, no. 4, pp. 212–221, Dec. 1998, doi: https://doi.org/10.1080/09064719809362501.
[11] T. Moloney, H. Sheridan, J. Grant, E. G. O'Riordan, and P. O'Kiely, "Yield of binary- and multi-species swards relative to single-species swards in intensive silage systems," Irish Journal of Agricultural and Food Research, vol. 59, no. 1, Mar. 2021, doi: https://doi.org/10.2478/ijafr-2020-0002.
[12] S. Baker et al., "Multispecies swards outperform perennial ryegrass under intensive beef grazing," Agriculture, Ecosystems & Environment, vol. 345, no. 108335, p. 108335, Apr. 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108335.
[13] L. Thanuja and S. R. Ambika, "Effect of Bacterization of Finger Millet Grains with the PGPRs Isolated from the Rhizoplane of Holostemma ada-kodien Schultes on its Germination and Initial Growth," Journal of the Indian Society of Soil Science, Jan. 2010.
[14] J. P. Lynch, P. O'Kiely, S. M. Waters, and E. M. Doyle, "Conservation characteristics of corn ears and stover ensiled with the addition of Lactobacillus plantarum MTD-1, Lactobacillus plantarum 30114, or Lactobacillus buchneri 11A44," Journal of Dairy Science, vol. 95, no. 4, pp. 2070–2080, Mar. 2012, doi: https://doi.org/10.3168/jds.2011-5013.
[15] M. Franco et al., "Fermentation Quality and Bacterial Ecology of Grass Silage Modulated by Additive Treatments, Extent of Compaction and Soil Contamination," Fermentation, vol. 8, no. 4, pp. 156–156, Apr. 2022, doi: https://doi.org/10.3390/fermentation8040156.
[16] K. Martin and P. Rygiewicz, "Fungal-specific PCR primers developed for analysis of the ITS region of environmental DNA extracts," BMC microbiology, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2005.
[17] S. N. Leaw, H. C. Chang, H. F. Sun, R. Barton, J.-P. Bouchara, and T. C. Chang, "Identification of

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Medically Important Yeast Species by Sequence Analysis of the Internal Transcribed Spacer Regions," Journal of Clinical Microbiology, vol. 44, no. 3, pp. 693–699, Mar. 2006, doi: https://doi.org/10.1128/jcm.44.3.693-699.2006.

[18] M. Gardes and T. D. Bruns, "ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes - application to the identification of mycorrhizae and rusts," Molecular Ecology, vol. 2, no. 2, pp. 113–118, Apr. 1993, doi: https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.1993.tb00005.x.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Resultados de un programa piloto de intervención multidominio para promover la salud cognitiva, física y emocional en adultos mayores en Panamá

Pauli Quirós, Elianne
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Escuela de Psicología, Universidad Santa María La Antigua
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-3285-7805
eliannepaulipari@gmail.com

Britton, Gabrielle
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Sistema Nacional de Investigación, SENACYT
Centro de Vacunación e Investigación, CEVAXIN Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-1758-2495

Rangel, Giselle
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Sistema Nacional de Investigación, SENACYT
Ciudad de Panamá, Panamá
grangel@indicasat.org.pa

Rodríguez Araña, Sofía
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Escuela de Psicología, Universidad Santa María La Antigua
Ciudad de Panamá, Panamá
sofialerodarana@gmail.com

Lammie, Stephanie
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Facultad de Psicología, Universidad Latina de Panamá
Centro de Vacunación e Investigación, CEVAXIN Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
stephielq@outlook.com

Martínez Campos, María Fernanda
Facultad de Psicología, Universidad de Panamá
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0009-6030-7569

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tratner, Adam
Sistema Nacional de Investigación, SENACYT
Florida State University, Panama City, Panama
Ciudad de Panamá, Panamá
atratner@fsu.edu

Villarreal, Alcibiades E.
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Sistema Nacional de Investigación, SENACYT
Ciudad de Panamá, Panamá
avillarreal@indicasat.org.pa

López, Natalia
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Escuela de Psicología, Universidad Santa María La Antigua
Ciudad de Panamá, Panamá
nataliaglopez12@gmail.com

Juarez, Jemila
Caja de Seguro Social
Ciudad de Panamá, Panamá
neuropsicologia.pty@gmail.com

Jones, Hjalmar
Facultad de Psicología, Universidad de Panamá
Escuela de Psicología, Universidad Santa María La Antigua
Ciudad de Panamá, Panamá
hjalmarjones@gmail.com

Oviedo, Diana
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica INDICASAT-AIP
Escuela de Psicología, Universidad Santa María La Antigua
Sistema Nacional de Investigación, SENACYT
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-1987-5205
d.ovi@hotmail.com

Abstract

Dementia is the leading cause of disability in older adults, and its prevalence in Latin America and the Caribbean continues to rise due to population aging, social inequalities, and associated risk factors. Given the limited effectiveness of pharmacological treatments for cognitive decline, non-pharmacological interventions have shown positive effects in the

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

prevention of cognitive deterioration.
This study evaluated the effect of a program of physical and cognitive interventions on cognition, subjective well-being, and physical health in older adults in Panama City. A simple randomized controlled trial was conducted with participants aged 60 to 80 years (n = 43). The groups were: (1) combined intervention (n = 15), which included computerized cognitive training, group cognitive stimulation, and walking; (2) physical intervention (n = 15), consisting of walking; and (3) active control (n = 13), consisting of monthly informational talks. After the intervention, all three groups showed improvements on neuropsychological tests. The combined group showed significant improvements in global cognition and abstraction, as well as a reduction in depressive symptoms (GDS-15) and an increase in quality of life (WHOQoL-OLD). The physical activity group improved in learning, visual memory, and visuospatial abilities. These findings suggest that multidomain interventions may have a positive impact on cognition and quality of life in older adults, and that physical activity alone may also enhance cognitive performance. This study may serve as a foundation for implementing multimodal community-based interventions aimed at preventing cognitive decline.

Keywords: Dementia, cognitive impairment, prevention, physical interventions, cognitive interventions.

Resumen

La demencia es la principal causa de discapacidad en personas mayores y su prevalencia en América Latina y el Caribe continúa en aumento debido al envejecimiento poblacional, las desigualdades sociales y los factores de riesgo asociados. Ante la limitada eficacia de los tratamientos farmacológicos para tratar el deterioro cognitivo, las intervenciones no farmacológicas han mostrado efectos positivos en la prevención del deterioro cognitivo. Este estudio evaluó el efecto de un programa de intervenciones físicas y cognitivas en la cognición, el bienestar subjetivo y la salud física de personas mayores en la Ciudad de Panamá. Se trató de un ensayo controlado aleatorizado simple con participantes entre 60 y 80 años (n=43). Los grupos fueron: (1) combinado (n=15), con entrenamiento cognitivo computarizado, estimulación cognitiva grupal y caminatas; (2) físico (n=15), con caminatas; y (3) control activo (n=13), con charlas informativas mensuales. Tras la intervención, los tres grupos mostraron mejoras en pruebas neuropsicológicas. El grupo combinado presentó mejoras significativas en cognición global y abstracción), además de una reducción de síntomas depresivos (GDS-15) y un aumento en la calidad de vida (WHOQoL-OLD). El grupo físico mejoró en aprendizaje, memoria visual y habilidades visoespaciales. Los hallazgos sugieren que las intervenciones multidominio pueden tener un impacto positivo en la

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

cognición y la calidad de vida de las personas mayores, y que la actividad física por sí sola también puede favorecer el rendimiento cognitivo. Este estudio podría servir de base para la aplicación de intervenciones multimodales a nivel comunitario destinadas a la prevención el deterioro cognitivo.

Palabras claves: Demencia, deterioro cognitivo, prevención, intervenciones físicas, intervenciones cognitivas.

1. INTRODUCCIÓN

La demencia, una de las manifestaciones más graves del deterioro cognitivo, es la principal causa de discapacidad en personas mayores y afecta a cerca de 50 millones de individuos en el mundo [1]. La OMS estima que esta cifra ascenderá a 82 millones en 2030 y a 152 millones en 2050 [2]. Su incidencia y prevalencia, especialmente en la enfermedad de Alzheimer (EA), aumentan exponencialmente después de los 65 años y casi se duplican cada cinco años entre los 65-90 años [3].

Aunque la edad es el principal factor de riesgo no modificable, la evidencia muestra que ciertos hábitos de vida pueden reducir el riesgo de deterioro cognitivo y demencia. Estudios epidemiológicos han identificado múltiples factores de riesgo modificables asociados con menor riesgo de deterioro cognitivo y EA [4]. Se estima que más del 35% de los casos de demencia a nivel mundial, y más del 50% en América Latina, podrían prevenirse mediante la modificación de factores como inactividad física, diabetes, hipertensión, obesidad, tabaquismo y aislamiento social. Estos hallazgos coinciden con informes que demuestran que la actividad física regular, el control cardiovascular, una alimentación saludable y el aprendizaje continuo pueden reducir significativamente el riesgo de deterioro cognitivo y demencia [5], [6].

Ante los resultados limitados de los tratamientos farmacológicos en el deterioro cognitivo leve (DCL) y la EA, las terapias no farmacológicas han cobrado relevancia por ser seguras, no invasivas y con mínimos efectos adversos [7]. Buscan prevenir o retrasar el deterioro, mejorar síntomas y reducir la carga sobre los cuidadores [8], [9]. Incluyen intervenciones físicas (ejercicio y rehabilitación motora), cognitivas (estimulación, entrenamiento y rehabilitación), psicológicas (terapias cognitivo-conductuales) y otras como terapia ocupacional, arte, musicoterapia y mindfulness[9], [10]. La naturaleza multifactorial de la EA ha impulsado estudios de intervención multidominio, como el Finnish Geriatric Intervention Study to Prevent Cognitive Impairment and Disability (FINGER), que demostró que combinar ejercicio, entrenamiento cognitivo, asesoramiento nutricional y control de la

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

hipertensión produce beneficios cognitivos significativos [11].
En Panamá y otros países latinoamericanos, la investigación sobre deterioro cognitivo sigue siendo limitada, a pesar de los acelerados cambios demográficos de la región. En este contexto, se desarrolló el primer estudio de intervención no farmacológica en la Ciudad de Panamá para evaluar los efectos de un programa combinado de entrenamiento cognitivo y ejercicio físico sobre la cognición, el bienestar subjetivo y la salud física de personas mayores.

2. MÉTODO

A. Tipo y diseño de investigación

Este fue un estudio piloto de intervención, de ensayo controlado aleatorio simple de tres brazos.

B. Población y muestra

La población del estudio incluyó personas mayores de 60 a 80 años residentes en la Ciudad de Panamá. Los participantes fueron reclutados mediante folletos en redes sociales, anuncios en eventos científicos y colaboraciones con grupos comunitarios. Los criterios de inclusión fueron: residir en la ciudad, llevar un estilo de vida sedentario y obtener ≥20 puntos en la Evaluación Cognitiva de Montreal (MoCA). Un total de 64 personas cumplieron los criterios y fueron inscritas; 43 completaron el programa de intervención. La evaluación inicial incluyó entrevistas sociodemográficas, escalas clínicas, pruebas cognitivas y evaluación física. Posteriormente, un programa computarizado aleatorizó a los participantes en tres grupos para la intervención:

- El Grupo Experimental 1 (intervención combinada) (n=15) recibió una combinación de entrenamiento físico y cognitivo. El componente cognitivo incluyó sesiones individuales mediante la plataforma computarizada CogniFit y talleres grupales presenciales de estimulación cognitiva realizados semanalmente durante cuatro meses. El componente físico consistió en caminatas cardiovasculares moderadas (30 min, 3–5 veces por semana) y caminatas grupales mensuales, registradas mediante un reloj inteligente sincronizado con el dispositivo personal.
- El Grupo Experimental 2 (intervención física) (n=15) participó únicamente en las actividades físicas.
- El Grupo Control (n=13) asistió a charlas mensuales sobre salud, impartidas por especialistas en temas como nutrición, sueño y factores de riesgo cardiovascular.
- Este proyecto de investigación fue aprobado por el Comité de Bioética de la Investigación de la Universidad Santa María La Antigua (CBI-USMA), código 2022- P002.

3. Resultados

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3.1. Características sociodemográficas

En la Tabla 1 se presentan las características de la muestra final (n=43).

Tabla 1. Características sociodemográficas de participantes según grupo de intervención

	Combinado (*n* = 15)	Físico (*n* = 15)	Control (*n* = 13)
	n (%) / *M* (*DE*)	*n* (%) / *M* (*DE*)	*n* (%) / *M* (*DE*)
Edad	70,2 (5,2)	66,5 (4,7)	67,9 (4,4)
Sexo			
Mujeres	12 (80,0%)	13 (86,7%)	8 (61,5%)
Hombres	3 (20,0%)	2 (13,3%)	5 (38,5%)
Años de educación	18,6 (2,3)	19,0 (3,3)	16,7 (4,2)
Ingreso familiar mensual			
<500	1 (6,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
501/1200	5 (33,3%)	4 (26,7%)	3 (23,1%)
>1200	9 (60,0%)	11 (73,3%)	10 (76,9%)
Estado civil			
Con pareja	8 (53,3%)	7 (46,7%)	8 (61,5%)
Sin pareja	7 (46,7%)	8 (53,3%)	5 (38,5%)
Personas con enfermedades crónicas			
Diabetes	4 (26,7%)	2 (13,3%)	1 (7,7%)
Hipertensión	8 (53,3%)	10 (66,7%)	7 (53,8%)
Osteoporosis	5 (33,3%)	3 (20,0%)	4 (30,8%)
Deterioro Cognitivo Subjetivo			
Si	7 (46,7%)	11 (73,3%)	6 (46,2%)
Uso de medicamentos			
No polifarmacia <4	8 (53,3%)	9 (60,0%)	5 (38,5%)
Polifarmacia 5-7	4 (26,7%)	5 (33,3%)	6 (46,2%)
Exceso de polifarmacia >8	3 (20,0%)	1 (6,7%)	2(15,4%)

3.2 Medidas cognitivas

La Tabla 2 muestra la comparación entre pruebas cognitivas aplicadas en pre-evaluación (Visita 1) y post-evaluación (Visita 2) por grupo. Se utilizó la prueba T por pares para grupos dependientes para evaluar las diferencias entre visitas.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 2. Comparación de pruebas cognitivas en pre-evaluación (visita 1) y post-evaluación (visita 2) por grupo

Pruebas Cognitivas	Grupo	Visita 1	Visita 2
		M (DE)	*M (DE)*
MoCA	*Combinado****	23,9 (2,7)	26,3 (1,9)
	Físico	25,3 (2,9)	25,9 (3,1)
	Control	24,1 (1,3)	25,1 (2,1)
CERAD Corto Plazo	*Combinado*	20,8 (2,0)	21,1 (2,4)
	*Físico**	20,0 (2,8)	21,9 (3,2)
	Control	19,1 (3,8)	20,7 (3,8)
Reproducción Visual a Corto Plazo			
Figura 2	*Combinado*	4,8 (0,6)	4,9 (0,3)
	Físico	4,5 (0,8)	5,0 (0,0)
	Control	4,5 (1,4)	4,9 (0,3)
Figura 5	*Combinado*	5,7 (4,2)	7,6 (4,6)
	*Físico**	6,1 (4,4)	8,2 (3,6)
	*Control**	4,2 (3,1)	6,2 (3,5)
Reproducción Visual a Largo Plazo			
Figura 5	*Combinado*	3,9 (4,0)	5,7 (4,5)
	*Físico**	4,5 (4,1)	6,5 (4,6)
	Control	2,5 (3,1)	5,1 (4,4)
INECO			
Refranes	*Combinado***	2,2 (0,8)	2,7 (0,4)
	Físico	2,5 (0,8)	2,4 (0,6)
	Control	2,6 (0,5)	2,4 (0,7)
Hayling	*Combinado*	5,5 (0,9)	5,3 (1,1)
	Físico	4,9 (1,5)	4,9 (1,7)
	*Control**	4,3 (2,2)	5,8 (0,4)

Nota. MoCA: Montreal Cognitive Assessment; INECO: Institute of Cognitive Neurology (Prueba de funcionamiento ejecutivo); CERAD: Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease (prueba de memoria verbal con lista de palabras)
p= *<0.05 **<0.01 ***<0.001

Se observaron mejoras en el rendimiento neuropsicológico al comparar las puntuaciones pre y post intervención en los tres grupos. El grupo combinado mostró incrementos en el MoCA ($p < 0.001$) y en Refranes del INECO ($p = 0.006$), que evalúan cognición global y abstracción, respectivamente. El grupo físico presentó mejoras en CERAD CP ($p = 0.028$),

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

en las Figuras 2 (p = .048) y 5 (p = 0.024) de la Reproducción Visual CP, y en la Figura 5 (p = 0.033) de la Reproducción Visual LP, reflejando avances en aprendizaje, habilidades visoespaciales y memoria a largo plazo. Finalmente, el grupo control mostró aumentos en la Figura 5 de la Reproducción Visual a Corto Plazo (p = .039) y en la subprueba Hayling del INECO (p = 0.043), asociadas con aprendizaje e inhibición, respectivamente.

3.3 Medidas clínicas

Se encontraron diferencias significativas en el grupo combinado en la Escala de Depresión Geriátrica (GDS-15) (p = 0.042), evidenciándose una reducción de los síntomas depresivos, así como un aumento en la percepción de calidad de vida, medida mediante el puntaje total del Cuestionario de Calidad de Vida de la Organización Mundial de la Salud (WHOQoL-OLD) (p = 0.037) entre V1 y V2. Estos cambios no se observaron en los otros dos grupos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados indican mejoras significativas en medidas cognitivas, de depresión y calidad de vida. Aunque no se evidenciaron cambios significativos en los indicadores de salud física, los hallazgos sugieren que la participación continua en actividades estructuradas, junto con la estimulación social y cognitiva, puede contribuir al mantenimiento y mejora de la salud mental y cognitiva en esta población[12], sustentado la viabilidad y beneficios de instaurar programas comunitarios multidominio en Panamá para promover el envejecimiento cognitivo saludable y reducir las desigualdades en salud mental y cognitiva en personas mayores.

Pese al tamaño reducido de la muestra sin cálculo formal de potencia estadística y la corta duración del programa, este estudio constituye un avance inicial en la prevención del deterioro cognitivo en Panamá. Los hallazgos respaldan la viabilidad de implementar programas comunitarios multidominio y orientan futuras intervenciones más amplias y prolongadas, que incorporen componentes de entrenamiento de fuerza, nutrición y control de factores vasculares. En conjunto, los hallazgos fortalecen la evidencia de que los programas combinados de ejercicio físico y estimulación cognitiva pueden beneficiar la salud integral de los adultos mayores, promoviendo no solo el bienestar individual, sino también un impacto positivo en su entorno familiar y social.

Referencias

[1] M. Prince, A. Wimo, M. Guerchet, G.-C. Ali, Y.-T. Wu, y M. Prina, «World Alzheimer Report 2015, The Global Impact of Dementia: An analysis of prevalence, incidence, cost and trends», 2015.
[2] Global Status Report on the Public Health Response to Dementia, 1st ed. Geneva: World Health

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Organization, 2021.
[3] La demencia en América Latina y el Caribe: prevalencia, incidencia, repercusiones y tendencias a lo largo del tiempo. Pan American Health Organization, 2023. doi: 10.37774/9789275326657.
[4] G. Livingston et al., «Dementia prevention, intervention, and care: 2024 report of the Lancet standing Commission», The Lancet, vol. 404, n.o 10452, pp. 572-628, ago. 2024, doi: 10.1016/S0140-6736(24)01296-0.
[5] M. Baumgart, H. M. Snyder, M. C. Carrillo, S. Fazio, H. Kim, y H. Johns, «Summary of the evidence on modifiable risk factors for cognitive decline and dementia: A population-based perspective», Alzheimer's & Dementia, vol. 11, n.o 6, pp. 718-726, jun. 2015, doi: 10.1016/j.jalz.2015.05.016.
[6] World Health Organization, «Risk reduction of cognitive decline and dementia: WHO guidelines», World Health Organization, Geneva, 2020. Accedido: 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://iris.who.int/handle/10665/312180
[7] C. J. Poulos et al., «A comprehensive approach to reablement in dementia», A&D Transl Res & Clin Interv, vol. 3, n.o 3, pp. 450-458, sep. 2017, doi: 10.1016/j.trci.2017.06.005.
[8] Y. Van Os, M. E. De Vugt, y M. Van Boxtel, «Cognitive Interventions in Older Persons: Do They Change the Functioning of the Brain?», BioMed Research International, vol. 2015, pp. 1-14, 2015, doi: 10.1155/2015/438908.
[9] C. Zucchella et al., «The Multidisciplinary Approach to Alzheimer's Disease and Dementia. A Narrative Review of Non-Pharmacological Treatment», Front. Neurol., vol. 9, p. 1058, dic. 2018, doi: 10.3389/fneur.2018.01058.
[10] J. Yu et al., «Mindfulness intervention for mild cognitive impairment led to attention-related improvements and neuroplastic changes: Results from a 9-month randomized control trial», Journal of Psychiatric Research, vol. 135, pp. 203-211, mar. 2021, doi: 10.1016/j.jpsychires.2021.01.032.
[11] T. Ngandu et al., «A 2 year multidomain intervention of diet, exercise, cognitive training, and vascular risk monitoring versus control to prevent cognitive decline in at-risk elderly people (FINGER): a randomised controlled trial», The Lancet, vol. 385, n.o 9984, pp. 2255-2263, jun. 2015, doi: 10.1016/S0140-6736(15)60461-5.
[12] L. Maffei et al., «Randomized trial on the effects of a combined physical/cognitive training in aged MCI subjects: the Train the Brain study», Sci Rep, vol. 7, n.o 1, p. 39471, ene. 2017, doi: 10.1038/srep39471.

Autorización y licencia cc

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.
Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Evaluación de la conducta suicida en población de 18 a 50 años de edad, provincia de Chiriquí, Panamá: reporte preliminar

Ríos T., Rosalin P.
Universidad de Granada
Granada, España
Correo electrónico: e.rosalinprios@go.ugr.es
ORCID iD: 0000-0002-1962-4441

Pérez Marfil, María Nieves
Universidad de Granada
Granada, España
ORCID iD: 0000-0001-6329-8770

Fernández Alcántara, Manuel
Universidad de Alicante
San Vicente del Raspeig, España
ORCID iD: 0000-0002-3481-8156

Cruz Quintana, Francisco
Universidad de Granada
Granada, España
ORCID iD: 0000-0001-9805-5939

Carreira, María B.
Centro de Neurociencias y Panama Aging Research Initiative (PARI), INDICASAT AIP
Ciudad del Saber, Panamá
ORCID iD: 0000-0001-5306-0021

Abstract

Globally, approximately 726,000 people die by suicide each year. In the Americas, an annual average of 98,000 suicide deaths was reported between 2015 and 2019. In Panama, research on this topic remains scarce. The present study aimed to examine the relationship between levels of hopelessness and suicidal risk among individuals aged 18 to 50 in the province of Chiriqui, Panama. This study employed a quantitative approach with a descriptive-correlational scope and a non-experimental, cross-sectional design, using a sample of 305 participants. A sociodemographic questionnaire, the Beck Hopelessness Scale, and the

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Plutchik Suicide Risk Scale were administered.Preliminary analyses revealed a positive correlation between levels of hopelessness and suicidal risk.

Keywords: suicidal behavior, suicidal ideation, suicide, mental health, Panama.

Resumen

Globalmente, cada año aproximadamente 726.000 personas mueren por suicidio. En las Américas se reportó anualmente un promedio de 98.000 muertes por suicidio entre 2015 y 2019. Panamá cuenta con muy pocas investigaciones al respecto. Esta investigación tuvo como objetivo establecer la relación entre los niveles de desesperanza y de riesgo suicida en la población de 18 a 50 años, en la provincia de Chiriquí, Panamá. El tipo de investigación fue de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo-correlacional, diseño no-experimental, transversal, con una muestra de 305 participantes. Se aplicó un cuestionario sociodemográfico, la Escala de desesperanza de Beck y la Escala de riesgo suicida de Plutchik. Los resultados preliminares han sido analizados encontrando una correlación positiva entre los niveles de desesperanza y el riesgo suicida.

Palabras claves: conducta suicida, ideación suicida, suicidio, salud mental, Panamá.

1. INTRODUCCIÓN

El suicidio es un acto intencional de poner fin a la propia vida, incluyendo pensamientos y comportamientos relacionados con el suicidio [1]. Tras la pandemia de COVID-19, los casos de ansiedad, depresión, conductas suicidas y otros problemas psicológicos aumentaron en un 30% [2], [3].

En las Américas, el suicidio es la tercera causa de muerte en personas de 20 a 24 años, mientras que el grupo de 45 a 59 años de edad reporta la tasa de suicidio más elevada [4].

En el caso de Panamá, la evidencia científica sobre conducta suicida es escasa. La mayoría de las investigaciones se han enfocado en las tendencias de mortalidad, es decir, en el análisis post mortem del fenómeno [5] y [6].

Esta falta de investigaciones limita la comprensión integral del problema, especialmente en provincias del interior del país como Chiriquí, donde las condiciones contextuales y psicosociales pueden diferir significativamente de las de la capital.

2. METODOLOGÍA

A. Objetivo

Establecer la relación entre los niveles de desesperanza y de riesgo suicida en la población

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de 18 a 50 años, en la provincia de Chiriquí, Panamá, con la finalidad de caracterizar el nivel de riesgo de suicidio de la población.

B. Procedimiento de recogida y análisis de datos

El tipo de investigación seleccionado fue de enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo-correlacional, diseño no-experimental, transversal. El universo de estudio correspondió a la población de 18 a 50 años de la provincia de Chiriquí. La muestra se estableció conforme a criterios de selección. Para el reporte preliminar participaron un total de 305 personas, 95 de sexo masculino y 210 de sexo femenino.

Los instrumentos empleados en la recogida de datos fueron: cuestionario sociodemográfico de elaboración propia, Escala de desesperanza de Beck y la Escala de riesgo suicida de Plutchick. La escala de desesperanza de Beck es una escala de auto aplicación que consta de 20 ítems, con respuesta de verdadero y falso, para evaluar aspectos afectivos, cognitivos y motivacionales de la desesperanza. Las puntuaciones oscilan de 0 a 20 puntos y tiene un coeficiente de consistencia interna Kuder-Richardson-20 de .93 [7]. La Escala de riesgo suicida de Plutchik es auto aplicable para evaluar el nivel de riesgo de suicidio. La escala contiene 15 ítems, en formato de respuesta “sí” o “no” y tiene un alfa de Cronbach de 0.90 [8].

Los datos se analizaron de manera descriptiva y empleando análisis de correlación de Pearson mediante Microsoft Excel y IBM SPSS Statistics (versión 30.0). El estudio ha sido aprobado por el Comité de Bioética de la Investigación de la Universidad de Santander (Referencia: AP625).

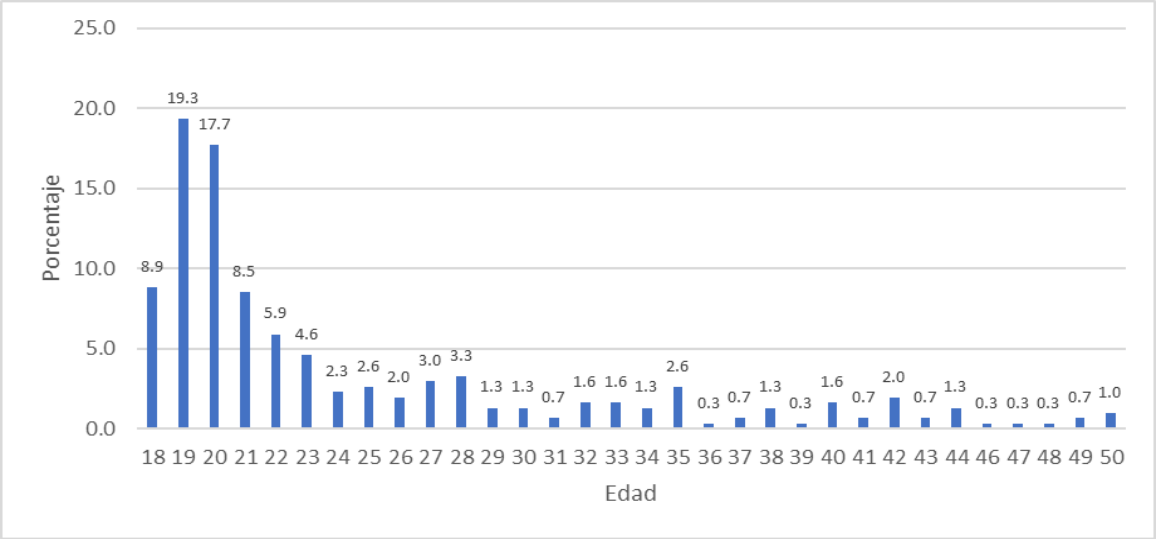
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Datos sociodemográficos

Los participantes del presente estudio fueron principalmente pertenecientes al sexo femenino (68,9%), en un rango de edad de 18-50 años (ver Figura 1). Se observó mayor participación en los estratos más jóvenes de la población. Con respecto a la orientación sexual de los participantes, un 87,5% se consideró heterosexual, un 2,3% homosexual, un 6,6 bisexual, un 1,3 pansexual, un 1,0% asexual y un 1,3% mantenía otra orientación sexual.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 1. Edad de los participantes



B. Indicadores de salud mental

Algunos datos sobre las dificultades prevalentes observadas en los participantes revelan que el 40,33% de los participantes ha pensado alguna vez en suicidarse. El 61,31%, se ha sentido tan fracasado que solo quería meterse en la cama y abandonarlo todo. Con respecto a sentimientos de inutilidad o "ser inservible", el 57,70% de las personas reporta haberlos experimentado. Un 40,66% de los individuos refiere tener poco interés en relacionarse con la gente.

Acerca de la calidad del sueño, el 46,88% mantiene dificultades para conciliar el sueño y solo el 21,97% de las personas calificaron como buena a muy buena su calidad de sueño en general. Estos indicadores denotan una presencia notable de factores de riesgo en una parte considerable de la muestra. Los problemas de sueño se asocian con aumento en la ideación suicida [9]. La percepción de sí mismo como carga se reconoce como predictor importante de riesgo de suicidio, al igual que el aislamiento social [10] y [11]. Un 34,4% de los participantes puntuó para riesgo de suicidio.

C. Relación entre edad, nivel de desesperanza y nivel de riesgo de suicidio

Para evaluar la relación entre estas variables se realizaron análisis de correlación de Pearson, con un intervalo de confianza del 95%. Se observó una correlación positiva entre el nivel de desesperanza y el nivel de riesgo suicida ($r = .596$, $p < .001$), por lo que a mayor nivel desesperanza, mayor riesgo de suicidio. Esto coincide por lo encontrado en otros estudios en los que se demostró que la desesperanza está correlacionada con un aumento en la ideación suicida [12]. La correlación entre la edad y el nivel de riesgo suicida indica una correlación negativa poco intensa ($r = -.137$ $p = .016$), sugiriendo que, a mayor edad, menor riesgo. No se encontró correlación entre la edad y el nivel de desesperanza.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Correlaciones

		Edad	Nivel de desesperanza	Nivel de riesgo suicida
Edad	Correlación de Pearson	1	-0,051	-,137
	p		0,374	0,016
Nivel de desesperanza	Correlación de Pearson	-0,051	1	,596
	p	0,374		< 0,001
Nivel de riesgo suicida	Correlación de Pearson	-,137	,596	1
	p	0,016	< 0,001	

4. CONCLUSIONES

Se detectaron problemas del sueño, pérdida del interés en relacionarse socialmente, percepciones de sí mismo negativas e ideación suicida. Hay una cifra relevante de participantes con riesgo suicida. Los niveles de desesperanza se correlacionaron positivamente con el nivel de ríesgo de suicidio. Conviene explorar más indicadores y evaluar su correlación con el nivel de riesgo de los individuos.

Agradecimientos

Extendemos nuestro agradecimiento a cada uno de los participantes por su buena disposición. A la Universidad de Granada, por el soporte incondicional y a las instituciones locales como Memoria y Salud (INDICASAT AIP), universidades y comunidad por el apoyo en la difusión de la convocatoria de participantes.

Referencias

[1] R. C. O'Connor y M. K. Nock, "The psychology of suicidal behaviour", Lancet Psychiatry, vol. 1, núm. 1, pp. 73–85, 2014.

[2] United Nations, "Estado de la salud mental tras la pandemia del COVID-19 y progreso de la Iniciativa Especial para la Salud Mental (2019-2023) de la OMS", United Nations. https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/estado-de-la-salud-mental-tras-la-pandemia-del-covid-19-y-progreso-de-la-iniciativa.

[3] R. P. Ríos T. y M. B. Carreira, "Revisión teórica de alteraciones emocionales en pacientes recuperados de COVID-19", Investigación y Pensamiento Crítico, vol. 10, núm. 2, pp. 53–76, 2022.

[4] Vivir la vida. Guía de aplicación para la prevención del suicidio en los países. Pan American Health Organization, 2021.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[5] I. Moreno Velásquez et al., “Suicide trends and self-harm in Panama: results from the National Mortality Registry and hospital-based data”, Soc. Psychiatry Psychiatr. Epidemiol., vol. 55, núm. 11, pp. 1513–1524, 2020.
[6] J. A. Ruíz Arango y V. Ku Pecho, “Factores asociados al suicidio en Panamá según casos realizados en la Morgue Judicial 2011- 2013”, Medicina legal de Costa Rica, vol. 32, pp. 45-50. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-
[7] Beck, A. T., Weissman, A., Lester, D., & Trexler, L. “Hopelessness scale [Beck Hopelessness Scale]”, 1974. https://doi.org/10.1037/t00966-000
[8] R. Plutchik, H. M. van Praag, H. R. Conte, and S. Picard, “Correlates of suicide and violence risk 1: the suicide risk measure,” Comprehensive Psychiatry, vol. 30, núm. 4, pp. 296–302, 1989, https://doi.org/10.1016/0010-440x(89)90053-9
[9] L. M. M. Kivelä, W. van der Does, y N. Antypa, “Sleep, hopelessness, and suicidal ideation: An ecological momentary assessment and actigraphy study”, J. Psychiatr. Res., vol. 177, pp. 46–52, 2024.
[10] T. E. Joiner et al., “Main predictions of the interpersonal-psychological theory of suicidal behavior: empirical tests in two samples of young adults”, J. Abnorm. Psychol., vol. 118, núm. 3, pp. 634–646, 2009.
[11] K. A. Van Orden, T. K. Witte, K. C. Cukrowicz, S. R. Braithwaite, E. A. Selby, y T. E. Joiner Jr, “The interpersonal theory of suicide”, Psychol. Rev., vol. 117, núm. 2, pp. 575–600, 2010.
[12] T. Qiu, E. D. Klonsky, y D. N. Klein, “Hopelessness predicts suicide ideation but not attempts: A 10-year longitudinal study”, Suicide Life Threat. Behav., vol. 47, núm. 6, pp. 718–722, 2017.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Asociación entre la realización de actividades deportivas y las capacidades cognitivas en jóvenes en situación de vulnerabilidad social en la Ciudad de Panamá en el 2024

Lasso, Edgardo
Escuela de Psicología, Universidad Santa María la Antigua
Ciudad de Panamá, Panamá
elasso@usma.com.pa

Von Chong, Analía
Escuela de Psicología, Universidad Santa María la Antigua
Ciudad de Panamá, Panamá
avonchonga@usma.com.pa

Oviedo, Diana
Centro de Neurociencias y Unidad de Investigación Clínica, INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
doviedo@indicasat.org.pa

Abstract

This study examined the association between regular sports participation and cognitive performance in socially vulnerable adolescents aged 14 to 18 in Panama City. Prior research indicates that physical activity supports the development of Executive Functions and related cognitive processes, particularly in populations exposed to socioeconomic risk factors. A quantitative, correlational, non-experimental design was employed. The sample consisted of 16 adolescents enrolled in the Fútbol con Corazón Foundation. A sociodemographic survey and a neuropsychological battery assessing selective, sustained, and alternating attention; processing speed; working memory; and verbal fluency were administered. Descriptive and correlational analyses were conducted to examine associations between cognitive outcomes, weekly hours of sports practice, and years of experience. Findings showed that adolescents with greater sports involvement, particularly those practicing between 6 and 10 hours per week and with more years of experience—demonstrated superior performance in working memory, verbal fluency, and processing speed. Significant correlations were observed between years of practice and semantic verbal fluency, as well as between weekly training hours and visuospatial working memory. Overall, results suggest that systematic sports participation may function as a protective factor for cognitive development in socially vulnerable youth, supporting the relevance of sports-based

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

interventions as complementary strategies for neurocognitive enhancement.

Keywords: Executive functions, Physical activity, Social vulnerability. Cognitive performance, Adolescence.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la asociación entre la práctica deportiva regular y el desempeño cognitivo en adolescentes panameños de 14 a 18 años en situación de vulnerabilidad social. La literatura señala que la actividad física contribuye al desarrollo de las Funciones Ejecutivas y otros procesos cognitivos relevantes, particularmente en contextos con factores de riesgo socioeconómico. Se empleó un diseño cuantitativo, correlacional y no experimental. La muestra estuvo compuesta por 16 jóvenes pertenecientes a la Fundación Fútbol con Corazón. Se administró una encuesta sociodemográfica y una batería neuropsicológica que evaluó atención (selectiva, sostenida y alternante), velocidad de procesamiento, memoria de trabajo y fluidez verbal. Se efectuaron análisis descriptivos y correlacionales entre las variables cognitivas, las horas semanales de práctica deportiva y los años de experiencia. Los resultados indican que los participantes con mayor dedicación deportiva —especialmente aquellos que practican entre 6 y 10 horas semanales y cuentan con más años de experiencia— mostraron un mejor rendimiento en memoria de trabajo, fluidez verbal y velocidad de procesamiento. Destacaron correlaciones significativas entre los años practicando deporte y la fluidez verbal semántica, y entre las horas semanales y el desempeño visoespacial. En conjunto, los hallazgos sugieren que la práctica deportiva sistemática podría actuar como un factor protector del desarrollo cognitivo en jóvenes expuestos a condiciones de vulnerabilidad social, reforzando la pertinencia de programas deportivos como estrategias de apoyo neurocognitivo.

Palabras claves: Funciones ejecutivas, Actividad física, Vulnerabilidad social, Rendimiento cognitivo, Adolescencia

1. INTRODUCCIÓN

La práctica deportiva ha demostrado aportar múltiples beneficios en distintos ámbitos del desarrollo humano. Tradicionalmente, se han reconocido sus efectos positivos sobre la salud física —mejoras motoras, óseas, musculares y disminución del riesgo de enfermedades crónicas—, pero un creciente número de investigaciones señala también un impacto significativo en la salud mental y las capacidades cognitivas [1] [2] [3]. Estudios previos han encontrado que jóvenes que practican deporte de manera regular muestran mejores niveles de atención, control inhibitorio, velocidad de procesamiento y diversas Funciones

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Ejecutivas (FEs), tales como la memoria de trabajo, la planificación y la flexibilidad cognitiva [4].

Por ejemplo, diversos estudios al comparar individuos que realizaban actividad física deportiva (AFD) semanalmente, con individuos que no lo hacían encontraron diferencias significativas en funciones cognitivas como la capacidad de comprensión, ejecución de indicaciones y el control atencional e inhibitorio [1] [4]. Por otro lado, Orozco y Martínez[5] (2021) realizan una revisión sistemática que refleja que las funciones ejecutivas son la clave para el éxito en el voleibol y una mayor velocidad de rendimiento en el control ejecutivo, tarea de procesamiento, así como en atención visoespacial. En esta misma línea, mencionan que el ser parte de un deporte de conjunto evita factores de riesgo y brinda habilidades como la motivación, la habilidad mental y control de estrés.

En comparación a los hallazgos anteriores, se han realizado pocos estudios de la influencia del deporte en las capacidades cognitivas de poblaciones vulnerables, sin embargo, se ha podido concluir que el deporte brinda beneficios sociales a esta población. Entre ellos, la mejora de distintos aspectos psicológicos como el autoconcepto, resiliencia y su bienestar tanto social, como emocional[6]. A su vez, estudios afirman que las funciones ejecutivas juegan un rol muy importante en la adaptación social en adultos entre 18 y 60 años que se encuentran en vulnerabilidad social [7].

La evidencia indica que los jóvenes de contextos vulnerables frecuentemente presentan un menor rendimiento en pruebas cognitivas y académicas, así como un desarrollo ejecutivo afectado por los estresores ambientales [8] [9] [10] [11]. Esto vuelve especialmente relevante estudiar si la actividad deportiva puede actuar como factor protector.

En ese contexto, la presente investigación tiene como principal objetivo identificar el nivel de asociación entre la realización de actividades deportivas y las capacidades cognitivas en jóvenes en situación de vulnerabilidad social en la Ciudad de Panamá en el 2024. Para ello, se evaluaron distintos subtipos de atención, velocidad de procesamiento, fluidez verbal y memoria de trabajo, con el fin de explorar cómo influyen las horas de práctica semanal y los años practicando deporte sobre el desempeño cognitivo.

2. MÉTODO

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance correlacional y un diseño no experimental y de corte transversal. Su finalidad fue obtener y describir la relación entre la práctica deportiva y las habilidades cognitivas sin manipular variables.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

A. PARTICIPANTES

La muestra estuvo conformada por 16 jóvenes de ambos sexos, entre 14 y 18 años, pertenecientes a la fundación Fútbol con Corazón (FCC) en Juan Díaz. Todos residían en el área y pertenecían al grupo de "promotores".

Criterios de inclusión:

- Entre los 14 y 18 años de edad
- En situación de vulnerabilidad social
- Practican de 3 a 4 horas semanales de deportes colectivos de campo
- Activos académicamente (están cursando la escuela)
- Residen en la Ciudad de Panamá

Criterios de exclusión:

- Poseen algún diagnóstico de deterioro o alteración cognitiva que imposibilite la realización de las pruebas
- No aceptaron el contrato de consentimiento informado

B. MATERIALES

Para la recolección de datos se empleó una encuesta sociodemográfica elaborada en Forms, mediante la cual se obtuvieron información demográfica básica, condiciones de vivienda, estado de salud percibido, nivel educativo, ingreso familiar y datos específicos sobre la práctica deportiva de cada participante. Esta información permitió contextualizar los resultados cognitivos dentro de las características sociales y económicas propias de una población en situación de vulnerabilidad.

Además, se administró una batería neuropsicológica estandarizada compuesta por instrumentos ampliamente validados en población hispanohablante. La batería incluyó el subtest Claves de Weschler, utilizado para evaluar la velocidad de procesamiento y la capacidad visomotora. La prueba de Stroop permitió medir la atención selectiva y el control inhibitorio frente a estímulos interferentes. La Retención de Dígitos del Neuropsi se empleó como medida de atención sostenida y memoria auditiva inmediata. La fluidez verbal semántica y fonológica, también del Neuropsi, ofreció indicadores del acceso léxico y de la organización semántica y fonológica del lenguaje, ambos vinculados a las Funciones Ejecutivas. La tarea de Sucesión de Números y Letras del Weschler se utilizó como medida central de memoria de trabajo y manipulación activa de información. Asimismo, los Cubos de Corsi en sus versiones progresiva y regresiva evaluaron la memoria de trabajo visoespacial y la capacidad de almacenar y manipular secuencias visuales.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Finalmente, el Trail Making Test B (TMTB) se aplicó para medir atención alternante, flexibilidad cognitiva y velocidad de procesamiento ejecutivo. En conjunto, esta batería permitió obtener un perfil integral del funcionamiento cognitivo de los participantes, abarcando componentes clave de la atención, memoria de trabajo y Funciones Ejecutivas.

C. ANÁLISIS DE DATOS

El análisis estadístico fue realizado a través del programa Jamovi versión 2.3.28. Las estadísticas descriptivas se llevaron a cabo para recolectar las características sociodemográficas y los resultados en las distintas pruebas cognitivas de los participantes. Las medias y desviaciones estándar fueron calculadas para las variables cuantitativas, mientras que las variables cualitativas se presentan en frecuencias y porcentajes. La prueba t de student fue utilizada para analizar las diferencias en los resultados obtenidos en las distintas pruebas cognitivas según el grupo de edad. Por último, se utilizó la correlación de Pearson para determinar el nivel de asociación entre la cantidad de horas que práctica el deporte semanalmente, hace cuantos años comenzó a practicarlo y las puntuaciones en las distintas pruebas. El nivel de confianza establecido fue de 95% y los resultados donde $p < 0.05$ fueron considerados significativos.

3. RESULTADOS

La mayoría de los participantes eran hombres (75.0%), tenían una edad promedio de 16.6 años (DE= 1.26), residían en una casa propia en el en el corregimiento de Juan Díaz (93.4%) con un ingreso familiar mensual entre 0 y 600$ (81.2%) y cohabitando con 4.9 (DE=4.1) personas. Deportivamente, la mayoría de los participantes practicaba como deporte colectivo principal el fútbol (93.7%) y más de un tercio comentó que lo practicaba entre 6 y 10 horas a la semana (37.5%) y había comenzado a practicarlo hace menos de 5 años (43.8%).

En cuanto al rendimiento cognitivo, se encontró que en promedio los jóvenes menores de 16 años tuvieron un mejor desempeño en todas las pruebas exceptuando la prueba de Stroop (M= 48.8 seg; M= 44.0 seg. en los mayores de 17 años) y en la prueba de Fluidez fonológica (M= 9.7; M= 12.0). Sin embargo, ninguna de las diferencias anteriormente mencionadas entre los grupos es significativa ($p>0.05$). Al comparar el desempeño cognitivo con las horas deportivas practicadas a la semana se encontró que los jugadores que practicaban deporte entre 6 y 10 horas obtuvieron el mejor puntaje en general: Claves(M=53.2), Sucesión NL (M= 17.8) y TMTB (M= 82.0). De la misma manera, los jugadores que practicaban más de 15 horas a la semana obtuvieron resultados más inestables, destacando en Cubos de Corsi regresivo (M=6.2) pero obteniendo puntajes bajos en otras pruebas: Claves (M=43.4),

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Stroop (M=53.4), Retención de Dígitos (M=4.8), Fluidez Verbal Fonológica (M=9.4) y TMTB (M=130.0). Por último, se encontró que el grupo que comenzó a practicar deporte hace menos de 5 años obtuvo el puntaje más bajo en las distintas pruebas cognitivas: Claves (M= 45.6), Stroop (M=52.0), Retención de Dígitos (M=5.0), Fluidez Verbal Semántica (M=12.6) y TMTB (M=129.0).

Figura 1 muestra los grados de correlación entre el resultado obtenidos por la muestra en las pruebas cognitivas que medían las distintas Funciones Ejecutivas (Memoria de Trabajo, Fluidez Verbal y Velocidad de Procesamiento), la cantidad de horas que practican deporte a la semana y hace cuanto lo comenzaron a practicar. Las correlaciones se muestran en un mapa de calor en donde las coloreadas en un tono amarillo representan correlaciones negativas; mientras que las correlaciones positivas se encuentran en una tonalidad verde. Entre más oscura sea la tonalidad, más alto es el nivel de correlación entre las variables. Los cuadros marcados con una "X" se interpretan como una correlación no significativa ($p>0.05$).

Al basarse en esta leyenda, se aprecia que las correlaciones más fuertes se encuentran en la asociación entre la cantidad de años que lleva practicando deporte y la Fluidez Verbal Semántica ($r=0.72$), entre las horas de práctica a la semana y cubos en regresión ($r=0.55$) y entre los resultados en Sucesión NL y Fluidez Semántica ($r=0.65$).

4. CONCLUSIONES

En conclusión, este estudio se centró en describir el nivel de relación entre la práctica de actividades deportivas y las capacidades cognitivas en jóvenes que se encuentran en situación de vulnerabilidad social. Los hallazgos evidencian que, dentro de esta muestra de 16 participantes, aquellos que practican más horas a la semana y que cuentan con más años de experiencia deportiva obtuvieron un mejor desempeño en pruebas cognitivas, particularmente en aquellas que evalúan Funciones Ejecutivas, como la fluidez verbal, la memoria de trabajo verbal y visoespacial. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas que señalan que la actividad física regular puede favorecer el desarrollo cognitivo y el rendimiento en funciones ejecutivas [12] [13].

Asimismo, la asociación observada entre una mayor cantidad de horas de entrenamiento y un mejor desempeño cognitivo coincide con otros estudios que encontraron que los niveles más altos de actividad física aeróbica se relacionan con mejoras en la memoria de trabajo y la fluidez verbal en

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

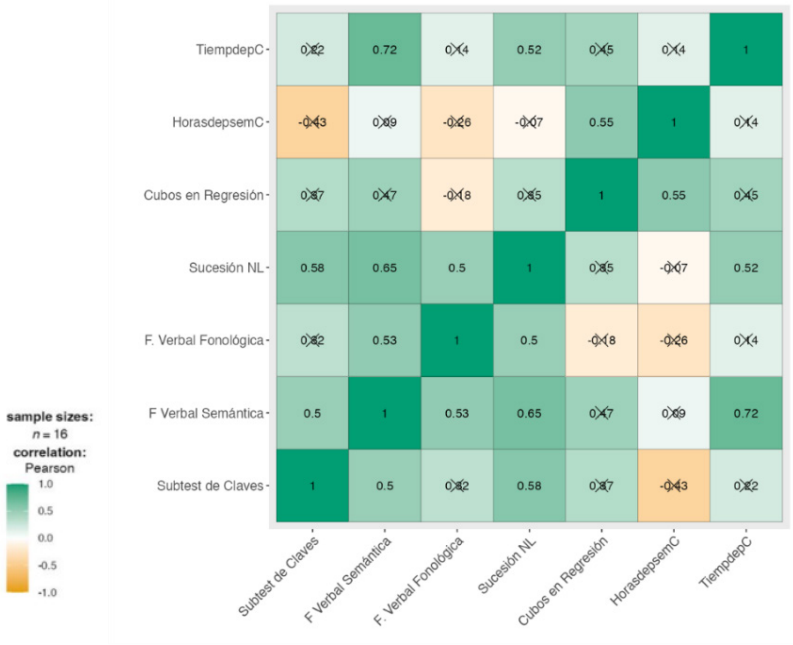


Figura 1. Correlación entre desempeño en pruebas de subtipos de atención, horas semanales y años practicando el deporte.

adolescentes[14]. De igual forma, el resultado de que los jóvenes con más años practicando deporte obtuvieron mejores puntajes en distintas pruebas cognitivas refuerza lo planteado por Sánchez-Cubillo
y colaboradores, quienes señalan que los beneficios cognitivos del deporte se desarrollan y acumulan con el tiempo [15].

La relación encontrada entre los años de práctica deportiva y la fluidez verbal semántica también coincide con los resultados de Cabrera-Vásquez y colaboradores, quienes demostraron que los adolescentes que practican deportes de equipo tienden a mostrar un mejor desempeño en tareas de fluidez verbal[16]. Además, aunque la mayoría de los jóvenes del estudio pertenecen a contextos con limitaciones económicas y condiciones sociales adversas (factores que pueden afectar el desarrollo cognitivo) los resultados sugieren que la práctica deportiva constante puede funcionar como un factor protector frente a estos riesgos [17] [18]. Finalmente, la correlación positiva observada entre las horas de entrenamiento semanal y el desempeño en memoria de trabajo visoespacial se alinea con lo expuesto por la revisión de Torrents et al. (2020), donde se destaca que los deportes de equipo, al exigir toma de decisiones, adaptación y procesamiento rápido de información, pueden estimular el desarrollo de habilidades cognitivas clave en adolescentes [17].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En conjunto, estos hallazgos sugieren que fomentar la participación en deportes colectivos en jóvenes en situación de vulnerabilidad social podría ser una estrategia valiosa para fortalecer funciones cognitivas esenciales para la vida académica, emocional y social. Estas funciones ejecutivas son críticas para el éxito escolar y la adaptación al entorno, por lo que cualquier intervención que las fortalezca puede tener un impacto significativo en el bienestar y el desarrollo de estos jóvenes.

Referencias

[1] Ramírez Mejía, M. (2019). Influencia de la actividad deportiva en el desarrollo de las funciones ejecutivas, específicamente de la flexibilidad cognitiva, en niños del grado primero de primaria de un colegio de la ciudad de Medellín.

[2] Flórez, J. A. R., Tabares, J. S. J., Marulanda, A. S. C., & Moreno, B. S. M. (2022). Influencia de la actividad deportiva en el funcionamiento ejecutivo de los lóbulos frontales. Revista Chilena de Neuropsicología, 16(1), 1-10.

[3] Sánchez-Cubillo, I., Calvo-García, L., Egido-Portela, J.C. et al. (2021). Team sports practice and cognitive performance in adolescents: A longitudinal study. Front. Psychol. 12:713925.

[4] Calleja-Reina, Rueda, J. M., & Barbosa, A. (2018). Relación entre la práctica deportiva en Clubes Deportivos y la mejora del control de la impulsividad en escolares. (Vol. 21).

[5] Orozco Calderón, G. (2021). La neuropsicología del voleibol en México. (Vol.11).

[6] Lubans, D.R., Plotnikoff, R.C. and Lubans, N.J. (2012), Review: A systematic review of the impact of physical activity programmes on social and emotional well-being in at-risk youth. Child and Adolescent Mental Health, 17: 2-13.

[7] Schulte, M., Trujillo, N., Rodríguez-Villagra, O. A., Salas, N., Ibañez, A., Carriedo, N., & Huepe, D. (2022). The role of executive functions, social cognition and intelligence in predicting social adaptation of vulnerable populations. Scientific Reports, 12(1), 18693

[8] Rampsey, C.T. & Campbell, F.A. (1991). Poverty, early childhood education, and academic competence: The abecedarian experience. En A.C. Huston (Ed.)

[9] Smith, J., Brooks-Gunn, J. & Klebanov, P. (1997). Consequences of living in poverty for young children's cognitive and verbal ability and early school achievement. En G. Duncan & J. Brooks-Gunn (Eds.), Consequences of growing up poor (pp. 132-189). New York: Russell Sage Foundation.

[10] Ghiglione, M. E., Filippetti, V. A., Manucci, V., Apaz, Y. A., & Perón, J. D. (2011). Programa de intervención, para fortalecer funciones cognitivas y lingüísticas, adaptado al currículo escolar en niños en riesgo por pobreza. Interdisciplinaria, 28(1), 17-36. Recuperado en 11 de diciembre de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-70272011000100002&lng=es&tlng=es.

[11] Adela Bertella, M., Paz Grebe, M., Soledad Dalbosco, M., & Alba-Ferrara, L. (2018). Funciones Ejecutivas, Pobreza y Estimulación Cognitiva. In Av.psicol (Vol. 26, Issue 1).

[12] Torrents, C., Balagué, N., Hristovski, R., & Dinušová, M. (2020). Team sports and cognitive performance in adolescents: A systematic review. Journal of Sports Sciences, 38(17), 1933-1944.

[13] Ishihara, T., Sugasawa, S., Matsuda, Y., & Mizuno, M. (2020). Effects of open- and closed-skill exercise on executive function in adolescents. JSEP, 42(4), 260-269.

[14] Guo, W., Chan, J.S., Martinez, S.A. et al. (2022). Aerobic exercise and cognitive function in

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

adolescents: A systematic review and meta-analysis. Journal of Sport and Health Science.
[15] Sánchez-Cubillo, I., Calvo-García, L., Egido-Portela, J.C. et al. (2021). Team sports practice and cognitive performance in adolescents: A longitudinal study. Front. Psychol. 12:713925.
[16] Cabrera-Vásquez, S., Reyes-Escobar, C., & Pérez-Díaz, C. (2022). Effects of team sport on executive functions and motor skills in adolescents. IJERPH, 19(18), 11736.
[17] Amone-P'Olak, K., Hövels, A., Teunis, N., & Ormel, J. (2022). Academic achievement, cognitive functioning, and social adversities in children: Implications for school performance and youth development. Child Development, 93(2), 419-435.
[18] Noble, K. G., Houston, S. M., Brito, N. H., Bartsch, H., Kan, E., Kuperman, J. M., ... & Sowell, E. R. (2015). Family income, parental education and brain structure in children and adolescents. Nature Neuroscience, 18(5), 773-778.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Una Propuesta para la Creación de un Mediador Artificial en el Marco de la Justicia Comunitaria

Villarreal, Samantha
Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
samantha.villarreal.torres@gmail.com

Díaz, Juan
Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
jdb8513@gmail.com

Gonzalez, Josué
Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
josueisaacgozalez@gmail.com

Lezcano, Elsy
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
elsy.lezcano@utp.ac.pa

Sanchez-Galan, Javier E.
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
javier.sanchezgalan@utp.ac.pa

Abstract

Taking as a starting point a historical analysis of community jurisdiction, we can identify tensions and inefficiencies along its path, generated by the concentration of political power. This is particularly true in communities far from urban centers. This context demands a transformation that leverages available technological tools without compromising the participatory essence that characterizes these bodies and, above all, without violating the legal framework that governs them. This paper examines the evolution and current challenges of community justice in Panama, with the aim of proposing an innovative artificial mediator model that enhances conflict resolution in a traditionally centralized system. To

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

this end, three modernization paths are proposed: the automation of the management of community court jurisdictions, the implementation of electronic case files, and the incorporation of AI-assisted conflict resolution methods. Of these options, the design of an artificial mediation system that respects the tripartite structure of community justice is explored in depth. Secretariat (admission), Mediation and Community Judge (hearing), emphasizing the mediation phase as a space for promoting peaceful solutions before escalating to a formal judicial instance.

Keywords: Community justice, Artificial mediator, Conflict resolution, Artificial intelligence, Panamanian legal framework..

Resumen

Tomando como punto de partida un análisis histórico de la jurisdicción comunitaria, en su andar podemos identificar tensiones e ineficiencias generadas por la concentración de poder político. Esto se da particularmente en comunidades alejadas de los centros urbanos. Este contexto demanda una transformación que aproveche las herramientas de corte tecnológicas disponibles sin comprometer la esencia participativa que caracteriza a estas instancias y sobre todo sin violentar el marco legal con que se rigen. El presente trabajo examina la evolución y los retos actuales de la justicia comunitaria en Panamá, con el propósito de proponer un modelo innovador de mediador artificial que potencie la resolución de conflictos en un ámbito tradicionalmente centralizado. Para ello se plantean tres vías de modernización: la automatización de la gestión de competencia de las casas comunitarias, la implementación de expedientes electrónicos y la incorporación de métodos de resolución de conflictos asistidos por inteligencia artificial. De estas opciones, se profundiza en el diseño de un sistema de mediación artificial que respete la estructura tripartita de la justicia comunitaria; Secretaría (admisión), Mediación y Juez comunitario (audiencia), enfatizando la fase de mediación como espacio de promoción de soluciones pacíficas antes de escalar a una instancia judicial formal.

Palabras claves: Justicia comunitaria, Mediador artificial, Resolución de conflictos, Inteligencia artificial, Marco legal panameño.

1. INTRODUCCIÓN

Resulta extraordinaria la flexibilidad por la cual se llega a utilizar la Inteligencia Artificial en distintos medios de administraciones públicas. Es por esto que no dejamos por alto la viabilidad de su empleo en la administración de justicia y resolución de conflictos, con eje

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

en las Justicia Comunitaria, atendiendo la agilidad en perseguir la justicia en visión de la mediación.

Este enfoque se alinea con tendencias internacionales como la Resolución de Disputas en Línea (ODR), que abogan por la aplicación de la IA para modernizar y hacer más accesibles los sistemas de justicia. La propuesta se centra en un auxiliar de justicia automatizado que puede operar como mediador en línea o como asistente virtual, adaptándose a las necesidades del caso.

2. MÉTODOS

La propuesta metodológica se articula en torno a un marco legal robusto y una arquitectura tecnológica avanzada que garantizan la viabilidad y eficacia del mediador artificial.

A. Marco Legal

El diseño contempla un "paraguas legal" conformado por el Decreto Ejecutivo N.º 58 de julio de 1999 (ley de Arbitraje, conciliación y mediación nacional), la Ley 81 de 2019 sobre protección de datos personales, la Ley 467 de abril de 2025 que reglamenta la justicia comunitaria, la Ley 75 de 2015 del Sistema Automatizado de Gestión Judicial, la Ley 51 de 2008 sobre firma electrónica y los preceptos del nuevo Código Procesal Civil, cuyo artículo 172 habilita el uso de inteligencia artificial en procesos jurisdiccionales. Este marco asegura que el protocolo de pre-mediación digital, que incluye firma electrónica de acuerdos de confidencialidad, y las salvaguardas para evitar que lo discutido sea utilizado como prueba, se mantengan dentro de la legalidad vigente.

B. Arquitectura Tecnológica

La arquitectura del sistema se basa en dos componentes principales:
Generación Aumentada por Recuperación (RAG): Para proporcionar al agente conocimiento fáctico y actualizado en tiempo real sin necesidad de reentrenar el modelo, se implementa la recopilación del corpus iuris por los cuales debe de fundamentar sus decisiones, pasando por un proceso de vectorización y recuperación.
Afinamiento Fino (Fine-Tuning): De modo que el agente contenta un tono, formato y estilo específico de la comunicación en la mediación, se crea un dataset de instrucciones que reflejen el comportamiento deseado en paralelo con el proceso de fine-tuning (LLM base, ej. Llama 3) se re-entrenará para afinar los patrones y respuestas de un mediador profesional.
C. Funcionalidades del Mediador Artificial
El sistema propuesto integra una serie de funcionalidades diseñadas para asistir en todo el proceso de mediación, como se ilustra en la Figura 1.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

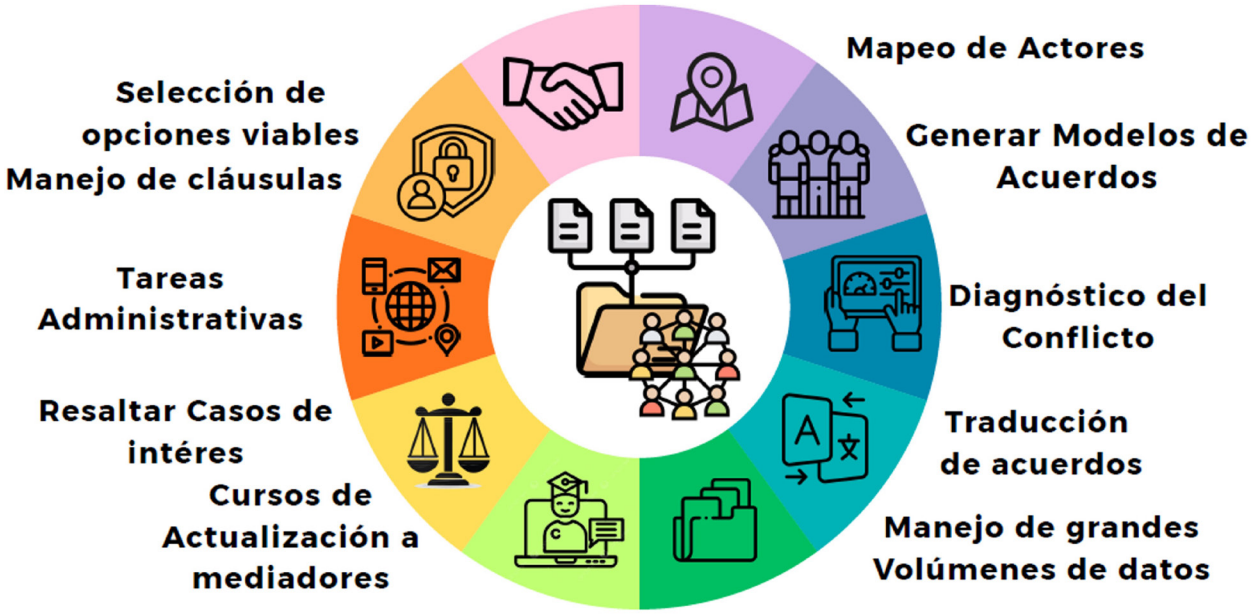


Figura 1. Posibles tareas para realizar por un Mediador Artificial en el Marco de la Justicia Comunitaria.

Estas capacidades incluyen:

- **Mapeo de Actores:** Identificación y análisis de las partes involucradas en el conflicto.
- **Generación de Modelos de Acuerdos:** Creación de borradores de acuerdos basados en casos similares y la legislación aplicable.
- **Diagnóstico del Conflicto:** Análisis de la naturaleza y el alcance de la disputa.
- Traducción de Acuerdos: Facilitación de la comprensión de los acuerdos para todas las partes.
- **Manejo de Grandes Volúmenes de Datos:** Procesamiento eficiente de toda la información del caso.
- **Cursos de Actualización a Mediadores:** Ofrecer material y guías de formación continua.
- **Resaltar Casos de Interés:** Identificación de casos relevantes que puedan servir como precedente.
- **Tareas Administrativas:** Automatización de tareas repetitivas como la gestión de agendas y notificaciones.
- **Selección de Opciones Viables:** Proposición de soluciones alternativas y viables para las partes.
- **Manejo de Cláusulas:** Asistencia en la redacción y revisión de las cláusulas del acuerdo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

Esta arquitectura de agente, que combina un LLM potente con RAG para el conocimiento y Fine-Tuning para el comportamiento, proporciona una base sólida para construir un asistente de mediación altamente capaz. El resultado será un agente que no solo recupera información, sino que razona, utiliza herramientas y se comunica de una manera que es genuinamente útil para los profesionales de la mediación.

Los resultados preliminares de este estudio indican la viabilidad técnica y jurídica de un mediador artificial que, mediante algoritmos de procesamiento de lenguaje natural y motores de inferencia basada en reglas, pueda gestionar solicitudes de mediación, ofrecer propuestas de solución y escalar casos complejos al juez comunitario en condiciones de trazabilidad y cumplimiento normativo. Se discuten las implicaciones éticas y de seguridad, así como la necesidad de disponer de infraestructuras digitales interoperables con los sistemas estadísticos y de registro existentes.

4. CONCLUSIONES

La implementación de un mediador artificial en la justicia comunitaria panameña no solo agilizaría los procesos de resolución, sino que fortalecería la confianza ciudadana y ampliará el acceso a mecanismos justos y eficaces, sentando un precedente de replicabilidad en otras jurisdicciones con desafíos similares. Cuando se le dota las características correctas a una administración de justicia primaria, existe una seguridad jurídica de quienes anhelan recurrir a esta; dando el paso de digitalizar los métodos de resolución de conflictos.

Referencias

[1] A. Ishteyaaq, S. Sonal and S. Rajesh, “MOOC 5.0: A Roadmap to the Future of Learning,” Sustainability, vol. 14, no. 18, Septiembre, 2022.

[2] O. Jorge, “El uso de la Inteligencia Artificial en la mediación: ¿quimera o realidad?,” IUS, vol. 15, no. 49, Julio-Diciembre, 2021.

[3] U. Rodrigo, “Jueces de paz y Justicia Informal: Una aproximación conceptual a sus potencialidades y limitaciones,” Pensamiento Jurídico, 2005.

[4] C. Joseph, “Transformación de la Rama Judicial: el camino a seguir tras las recomendaciones de la Corte Constitucional sobre el uso responsable de la Inteligencia Artificial,” Derecho del Estado, parr. 6-16, Febrero 8, 2025.

[5] M. Helga, “AI at the European Court of Human Rights: Technological Improvement or Leaving Justice by the Wayside,” Ordine internazionale e diritti umani, n. 5/2022, Diciembre 2022.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Desarrollo de un Permeámetro de Carga Constante para la Evaluación de la Conductividad Hidráulica en Agregados de Capa Base

Castillo, Estefany
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
0009-0005-5399-4170

Grajales-Saavedra, Francisco
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
0000-0003-1705-864X

Abstract

The experimental characterization of the permeability of base course aggregates used in pavement construction is essential to understand their behavior under high moisture conditions, especially in areas with high rainfall such as Panama. This project aims to conduct an experimental and numerical study focused on the permeability of locally used base course aggregates, to identify the factors that influence the internal drainage of pavement layers and their impact on the performance and durability of road structures. To obtain the hydraulic conductivity of the aggregates, a constant head permeameter was used. This equipment is ideal for coarse-grained materials, such as those used in base course layers. However, a permeameter with the appropriate dimensions to evaluate the permeability coefficients of these aggregates is very expensive and not available in Panama. For this reason, the design and construction of equipment suitable for measuring the permeability of materials with a maximum particle size of nearly 1” was carried out. This permeameter was developed based on the guidelines established by ASTM D2434, which regulates the test methods for measuring the hydraulic conductivity of granular soils. Several flow verification tests have been conducted on the fabricated permeameter. With these tests performed, it was possible to verify its correct operation, airtightness and compliance with the flow capacity requirement established by the standard, ensuring the reliability of the equipment before starting the tests with the base course aggregates.

Keywords: Constant Head Permeameter, Base Course, ASTM D2434, Hydraulic Conductivity, Pavement

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

La caracterización experimental de la permeabilidad de los agregados de capa base utilizados en la construcción de pavimentos es fundamental para comprender el comportamiento de estos bajo condiciones de alta humedad, especialmente en lugares lluviosos como Panamá. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una investigación enfocada en la permeabilidad de agregados de capa base utilizados localmente, con el fin de identificar los factores que afectan el drenaje interno de las capas del pavimento y su incidencia en el desempeño y la durabilidad de las estructuras viales. Para obtener la conductividad hidráulica de los agregados se utilizará un permeámetro de carga constante, este equipo es ideal para materiales de grano grueso, como los utilizados en estos agregados. Un permeámetro con las dimensiones adecuadas para evaluar los coeficientes de permeabilidad de estos agregados es muy costoso y no se encuentra disponible en Panamá. Por este motivo, se realizó el diseño y construcción de un equipo que sea apto para la medición de la permeabilidad de materiales con un tamaño máximo de partícula de hasta casi 1". Este permeámetro se desarrolló en base a los lineamientos establecidos por la norma ASTM D2434 que regula los métodos de prueba para la medición de la conductividad hidráulica de suelos granulares. Se han realizado distintas pruebas de verificación de flujo al permeámetro fabricado. Con estas pruebas realizadas se pudo comprobar su correcto funcionamiento y validar la confiabilidad del equipo antes de iniciar las pruebas con los agregados de capa base.

Palabras claves: Permeámetro de Carga Constante, Capa Base, ASTM D2434, Conductividad Hidráulica, Pavimento

1. INTRODUCCIÓN

Para realizar los ensayos de permeabilidad en agregados de capa base provenientes de distintas canteras de la República de Panamá, se necesita un permeámetro de gran dimensión, debido al tamaño considerable de las partículas de los agregados a evaluar. Al no contar con un permeámetro adecuado y con la imposibilidad de adquirir uno comercial con las dimensiones requeridas, se optó por construir un permeámetro de forma artesanal, debido a que esta era la alternativa más económicamente viable y funcional que se tenía disponible.

Para la construcción de este permeámetro se realizó la selección de materiales tomando en cuenta la accesibilidad, resistencia y compatibilidad con los estándares técnicos establecidos en la norma ASTM D2434, la cual regula los métodos de prueba estándar para la medición de la conductividad hidráulica de suelos de grano grueso.

La construcción de este permeámetro representa una alternativa de bajo costo a los

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

equipos comerciales, que fácilmente puede ser replicada si no se cuenta con un equipo especializado disponible.

2. MÉTODO

A. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

El ensayo de permeabilidad de carga constante se basa en el flujo de agua a través de una muestra de suelo contenida en una celda cilíndrica bajo una diferencia de presión constante [1]. Este ensayo se desarrolla con un equipo conocido como permeámetro de carga constante.

El diseño del permeámetro de carga constante necesario para el desarrollo de esta investigación se basó en las especificaciones descritas por la norma ASTM D2434, en la que se describen los elementos necesarios para construir un permeámetro de carga constante funcional y que obtenga resultados confiables. Además de cumplir con los criterios establecidos por la norma, el diseño de este permeámetro se enfocó en desarrollar una opción funcional y económica en comparación a un permeámetro comercial.

Este equipo está compuesto por una celda cilíndrica, dos placas (una de cubierta para la parte superior de la celda y una para sellar la base de la celda) y accesorios para unir los componentes del equipo sin riesgos de fugas de agua durante el desarrollo del ensayo. Las dimensiones de la celda pueden variar dependiendo del suelo a ensayar. Además de la celda, para este ensayo se utiliza un sistema hidráulico que incluye un reservorio con agua a un nivel fijo para mantener la carga constante.

a. Celda del Permeámetro : El cálculo de las dimensiones de la celda se basó en los criterios dados por la norma, la cual establece que el diámetro y la altura de ésta deben ser como mínimo 10 y 6 veces el diámetro (D95), respectivamente, de la muestra que se va a ensayar. En las especificaciones granulométricas para la capa base dadas por el MOP, el tamaño máximo de partículas permitido más común es de 1 pulgada (25.4mm). Utilizando este valor como referencia, se escogió un valor de 0.80” para el D95, con el cual se calcularon las dimensiones ideales que debe tener la celda del permeámetro.

$$\emptyset_{celda} = 10 \times D_{95} = 10 \times 0.80" = 8"$$
$$L_{celda} = 6 \times D_{95} = 6 \times 0.80" = 4.8"$$

Para la construcción de la celda del permeámetro se utilizó como elemento principal un tubo de PVC con glándula de las siguientes dimensiones: diámetro interno de 8” y longitud de 17”; ambas cumplen con las dimensiones calculadas. Se utilizó un tubo de PVC debido a la variedad de opciones de accesorios compatibles (como registros sanitarios y tapones) con el tubo que se pudieran adaptar para funcionar como la placa

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

superior e inferior de la celda. Para sellar la celda del permeámetro se utilizaron dos accesorios de PVC; se utilizó como placa superior un registro sanitario completo de PVC de 8" de diámetro interno que cuenta con una tapa que permite abrir y cerrar la celda constantemente sin perder su hermeticidad; y como placa inferior de la celda se utilizó un tapón liso de 8" de diámetro.

b. Reservorio de carga constante: Se buscó en el mercado local, un tanque con dimensiones similares al disponible en el Laboratorio de Suelos, Asfalto y Geología de la Universidad Tecnológica de Panamá y de un material lo suficientemente resistente para soportar el peso del agua sin deformarse. El modelo comercial más cercano a las dimensiones del tanque del laboratorio fue una caja de plástico transparente que tenía las siguientes medidas: 60.3cm de largo, 34.3 cm de alto y 40.6 cm de ancho.

   Para mantener un volumen de agua similar al utilizado en el laboratorio, la altura del nivel de agua constante debería ser de aproximadamente 6.5 in. Para la preparación del tanque de carga constante se realizaron dos perforaciones: la del rebosadero y la conexión con la celda del permeámetro. La perforación para el rebosadero se realizó a una altura de 6.5 pulgadas medidas desde el fondo del tanque con el propósito de expulsar el agua que sobrepase el nivel delimitado.

c. Sistema Hidráulico: Finalizada la construcción de la celda del permeámetro y el tanque de carga constante, el siguiente paso en la fabricación del permeámetro es el ensamblaje del sistema hidráulico. Este sistema está constituido por diferentes tubos de PVC de 1" de diámetro, accesorios, válvulas y conexiones que permiten el flujo regulado de agua desde el tanque de carga constante hasta la celda del permeámetro.

d. Discos Porosos: Para la fabricación de los discos porosos necesarios para el permeámetro, se utilizaron materiales que fueran extremadamente permeables y que permitieran un mayor flujo de agua que las muestras de agregados que se iban a ensayar. Los materiales escogidos para fabricar los discos porosos fueron los siguientes: un geotextil no tejido ya que permite el paso del agua, pero evita el paso de las partículas de los agregados que pueden bloquear la salida del agua; y piedras pómez obtenidas en playas de Panamá para rellenar los espacios vacíos en el tapón y sobre la muestra a ensayar ya compactada.

B. ARMADO DEL EQUIPO

El ensamblaje del equipo inicia con la colocación de la base del permeámetro sobre una superficie nivelada y la colocación del reservorio de carga constante sobre una plataforma elevada, para así garantizar un gradiente hidráulico adecuado. Una vez colocados ambos elementos se procedió a la instalación de la celda del permeámetro sobre la base. Dentro de la celda del permeámetro se colocó inicialmente el disco poroso inferior que va hasta

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

la parte inferior de la salida de agua y luego se situó otra capa de geotextil, la cual se fijó con un zuncho plástico a la salida de agua para así evitar su desplazamiento y el paso de partículas de la muestra hacia la válvula de salida.
Posteriormente, la celda se rellenó con la muestra a ensayar en 3 capas de igual espesor, compactadas cada una con 25 golpes con un cincel de 1" de diámetro hasta alcanzar una altura de muestra de 9". Sobre la muestra se colocó una nueva capa de geotextil y se rellenó el volumen restante de la celda con piedras pómez. Por último, se selló la celda con la tapa del registro sanitario y se realizó la conexión de las mangueras entre la válvula de entrada y el reservorio de carga constante, finalizando así el ensamblaje del permeámetro.

C. VERIFICACIÓN DE FLUJO DEL SISTEMA

Una vez finalizado el ensamblaje del equipo se procedió a realizar la prueba de capacidad de flujo conforme a lo establecido en la norma ASTM D2434. Esta prueba establece que la capacidad de flujo del permeámetro sin muestra debe ser al menos 5 veces mayor que la obtenida con una muestra dentro de la celda del permeámetro, bajo las mismas condiciones de carga hidráulica [2]. Para garantizar la fácil replicación de los ensayos se fijó un punto de referencia mediante un nivel láser en la pared desde el cual se medió una altura de 52 cm hasta la salida de agua de la celda y de 218 cm hasta el rebosadero del tanque. Estas medidas se mantuvieron durante todos los ensayos para asegurar la igualdad de condiciones entre las pruebas de permeabilidad realizadas.
Antes de iniciar el ensayo, se realizó la verificación de las válvulas de entrada y salida de agua; y la de salida del aire. Posterior a esto se empezó el llenado de la celda con agua, manteniendo la válvula de salida de agua cerrada, para así garantizar la saturación de la muestra (cuando se realiza la prueba con muestra) y además comprobando que no quede aire en el sistema. Luego de esto se abrió la válvula de salida y se inició el ensayo, registrando los volúmenes de agua descargados en diferentes pruebas con duraciones de entre 2 a 5 minutos, con los cuales se puede determinar la capacidad de flujo del sistema con y sin muestra.
El material utilizado para la prueba de verificación con muestra fue arena, debido a su fácil disponibilidad en Panamá y a su alta permeabilidad en comparación con la de lo de los agregados de capa base. Este último factor permite tener la seguridad de que, si el sistema cumple con la norma usando un medio poroso de mayor conductividad hidráulica, también lo hará con los agregados, que, al tener una conductividad menor, producen una diferencia aun mayor con la capacidad de flujo del sistema vacío, asegurando así el cumplimiento del permeámetro con la norma ASTM D2434 para evaluar estos agregados.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

En la figura 1 se muestra el permeámetro completamente ensamblado, en esta figura se observan todos los elementos del permeámetro conectados y el equipo está listo para iniciar con los ensayos. En la figura 2 se muestra el equipo ya en funcionamiento y se aprecia el agua que pasa a través de la muestra y como esta se está recolectando para medir el volumen total de agua que pasa por la muestra en un intervalo de tiempo determinado.

Figura 1. Permeámetro ensamblado

Figura 2. Permeámetro en funcionamiento

Para determinar la capacidad de flujo del permeámetro con solo los elementos de la celda, sin muestra, se utilizaron recipientes calibrados en litros. Utilizando estos recipientes se realizaron cinco pruebas con una duración de 2 minutos cada una, en las cuales se recolecto el volumen de agua que descarga el permeámetro en este intervalo de tiempo. Con estos datos de volumen se calculó la capacidad de flujo del permeámetro sin muestra. Los resultados obtenidos son los siguientes:

$$Diámetro\ de\ la\ celda\ (\emptyset) = 8\ in = 20.32\ cm$$
$$Altura\ de\ la\ muestra\ (L) = 9\ in = 22.86\ cm$$

$$Área\ (A) = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{\pi \cdot (20.32\ cm)^2}{4} = 324.293\ cm^2$$

Tabla 1. Resultados de las pruebas de permeabilidad (sin muestra)

Prueba	Tiempo (s)	Volumen Total (cm^3)	k (cm/s)	k (m/s)
1	120	66 629,630	0,240	0,00240
2	120	66 425,926	0,239	0,00239
3	120	65 944,444	0,238	0,00238

Se promediaron los valores de coeficientes de permeabilidad, para obtener un único valor

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de k que se utilizó para el cálculo del gradiente hidráulico y la capacidad de flujo:

$$k_{prom} = 0.239\frac{cm}{s} = 0.00239\frac{m}{s} \qquad i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{218\ cm - 55\ cm}{22.86\ cm} = \frac{163\ cm}{22.86\ cm} = 7.130$$

La capacidad de flujo se calculó con la siguiente formula establecida por Darcy [3]:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

$$Q_{vacío} = 0.203\frac{cm}{s} \cdot 7.130 \cdot 324.293\ cm^2 = 552.778\frac{cm^3}{s} = 0.000553\ \frac{m^3}{s}$$

Este procedimiento se repitió con el permeámetro lleno de arena. El tiempo por prueba paso a ser de 5 minutos, para así recoger un volumen significativo de agua, y que sea posible realizar su medición. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 2. Resultados de las pruebas de permeabilidad (con muestra)

Prueba	Tiempo (s)	Volumen Total (cm^3)	k (cm/s)	k (m/s)
1	300	16 000,000	0,0231	0,000231
2	300	15 351,852	0,0221	0,000221
3	300	15 074,074	0,0217	0,000217
4	300	14 888,889	0,0215	0,000215
5	300	14 703,704	0,0212	0,000212

$$k_{prom} = 0.0219\frac{cm}{s} = 0.000219\frac{m}{s}$$

$$Q_{arena} = 0.0219\frac{cm}{s} \cdot 7.130 \cdot 324.293\ cm^2 = 50.679\frac{cm^3}{s} = 0.0000507\ \frac{m^3}{s}$$

Con este valor se hizo la comprobación del cumplimiento de la norma:

$$Q_{vacío} \geq 5 \cdot Q_{arena}$$

$$552.778\frac{cm^3}{s} \geq 5 \cdot 50.679\frac{cm^3}{s} \qquad 552.778\frac{cm^3}{s} \geq 253.395\frac{cm^3}{s}$$

Sí cumple

Al realizar estos cálculos se pudo confirmar que el permeámetro si cumple con la capacidad de flujo necesaria establecida por la norma.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo y la construcción del permeámetro de carga constante fabricado con materiales accesibles y de bajo costo; se sometió este a la prueba de verificación de capacidad de flujo la cual confirmó su funcionamiento y hermeticidad. Además, con esta prueba se verificó que el equipo cumplió con los parámetros establecidos por la norma ASTM D2434 sobre la relación entre la capacidad de flujo del permeámetro con y sin muestra, garantizando así que el permeámetro fabricado obtendrá resultados confiables en los ensayos que se realizarán posteriormente a los diferentes agregados de capa base.

Referencias

[5] "Geotech data." Accessed: Jul. 04, 2025. [Online]. Available: https://www.geotechdata.info/geotest/constant-head-permeability-test

[6] "Standard Test Method for Permeability of Granular Soils - ASTM D2434," Mar. 15, 2022, ASTM International, West Conshohocken, PA. doi: 10.1520/D2434-22.

[7] H. R. CEDERGREN, SEEPAGE, DRAINAGE, AND FLOW NETS, 3rd ed. 1989.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.
Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Aislamiento y caracterización de cepas de Pseudomonas aeruginosa y Acinetobacter baumannii multirresistentes a antimicrobianos a partir de aguas residuales de efluentes hospitalarios y de la PTAR de la Ciudad de Panamá.

Vega-Herrera, Jeemy
Licenciatura en Biología con Orientación en Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Laboratorios de Microbiología Experimental y Aplicada, y de Microbiología de Aguas, Universidad de Panamá.
Panamá, Panamá.
jeemy.vega@gmail.com

Adames-Real, Alejandra
Licenciatura en Biología con Orientación en Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Laboratorios de Microbiología Experimental y Aplicada, y de Microbiología de Aguas, Universidad de Panamá.
Panamá, Panamá.
alejandra.adamesr@gmail.com

Espino, Carmen I.
Departamento de Microbiología Humana, Facultad de Medicina, Universidad de Panamá.
Panamá, Panamá.
ciespino75@yahoo.com

Moreno, José
Laboratorio de Bacteriología, Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud.
Panamá, Panamá.
josmoresearch@gmail.com

Romaña, Sean
Licenciatura en Biología con Orientación en Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Laboratorios de Microbiología Experimental y Aplicada, y de Microbiología de Aguas, Universidad de Panamá.
Panamá, Panamá.
sromana202001@gmail.com

Mejía, Fermín
Licenciatura en Biología con Orientación en Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Laboratorios de Microbiología Experimental y Aplicada, y de Microbiología de Aguas, Universidad de Panamá.
Panamá, Panamá.
fermejia25@gmail.com

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Querol-Audi, Jordi
Laboratorios de Microbiología Experimental y Aplicada, y de Microbiología de Aguas, Departamento de Bioquímica y Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Panamá. Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT.
Panamá, Panamá.
jquerolaudi@gmail.com

Martínez-Torres, Alex O.
Licenciatura en Biología con Orientación en Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Laboratorios de Microbiología Experimental y Aplicada, y de Microbiología de Aguas, Universidad de Panamá. Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT.
Panamá, Panamá.
amartinet13@gmail.com

Abstract

Pseudomonas aeruginosa and Acinetobacter baumannii represent one of the biggest problems for public health, given that they have developed resistance mechanisms to almost all available antibiotics. When discharged through wastewater, this medium acts as a reservoir and vehicle for the spread of resistance genes between clinical and environmental strains. The objective of this research was to isolate and characterize multidrug-resistant strains of P. aeruginosa and A. baumannii in effluents from the Social Security Fund (CSS), the Wastewater Treatment Plant (WWTP), and Pumping Station 3 (EB3) in Panama City. The methodology included periodic collection of wastewater samples at each site. Selective and differential culture media were used for isolation, and identification was confirmed by biochemical (VITEK®2) and molecular (PCR) tests. Antimicrobial susceptibility profiling was performed using the VITEK®2 system and resistance gene detection by real-time PCR. The results confirmed 75 strains of each species. Susceptibility analysis in P. aeruginosa showed resistance to cephalosporins (100 %), penicillins (2.6 %), carbapenems (2.6 %), and fluoroquinolones (1.3 %), with blaOXA-48 (97.3 %) and blaVIM (2.6 %) resistance genes. In A. baumannii, resistance to cephalosporins (100 %) and penicillins (9.3 %) was detected, with no resistance genes present. The detection of these resistant bacterial strains in Panama City effluents highlights a critical problem: the inappropriate use of antibiotics and poor management of hospital waste.

Keywords: P. aeruginosa, A. baumannii, wastewater, resistance genes, antimicrobial resistance.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

Pseudomonas aeruginosa y Acinetobacter baumannii representan uno de los mayores problemas para la salud pública, dado que han desarrollado mecanismos de resistencia a casi todos los antibióticos disponibles. Al ser descargadas a través de las aguas residuales, dicho medio actúa como un reservorio y vehículo de propagación de genes de resistencia entre cepas clínicas y ambientales. Esta investigación tuvo como objetivo aislar y caracterizar cepas de P. aeruginosa y A. baumannii multirresistentes en efluentes de la Caja de Seguro Social (CSS), la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y la Estación de Bombeo 3 (EB3) en la Ciudad de Panamá. La metodología incluyó la recolección periódica de muestras de aguas residuales en cada sitio. Para el aislamiento se utilizó medios de cultivos selectivos y diferenciales y la identificación se confirmó mediante pruebas bioquímicas (VITEK®2) y moleculares (PCR). El perfil de susceptibilidad a antimicrobianos se realizó mediante el sistema VITEK®2 y la detección de genes de resistencia mediante PCR en tiempo final. Los resultados confirmaron 75 cepas de cada especie. El análisis de susceptibilidad en P. aeruginosa mostró resistencia a cefalosporinas (100 %), penicilinas (2,6 %), carbapenémicos (2,6 %) y fluoroquinolonas (1,3 %); con genes de resistencia blaOXA-48 (97,3 %) y blaVIM (2,6 %). En A. baumannii resistencia a cefalosporinas (100 %) y penicilinas (9,3 %), sin presencia de genes de resistencia. La detección de estas cepas bacterianas resistentes en los efluentes de la Ciudad de Panamá subraya un problema crítico, el uso inadecuado de antibióticos y mal manejo de los desechos hospitalarios.

Palabras claves: P. aeruginosa, A. baumannii, aguas residuales, genes de resistencia, resistencia a antimicrobianos.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Millones de muertes en todo el mundo son causadas por microorganismos que han adquirido resistencia a un gran número de antibióticos. La causa principal es el empleo inapropiado de estos fármacos en humanos, la medicina veterinaria e industrias alimentarias, así como el deficiente manejo de las aguas residuales provenientes principalmente de entornos hospitalarios, dado que su liberación directa al ambiente o la falta de un tratamiento adecuado, las convierte en reservorio y vehículo de transmisión de genes de resistencia a bacterias susceptibles, pudiendo diseminarse en plantas, humanos y animales y, por lo tanto, generar brotes difíciles de controlar [1] [2].

Esta problemática se agrava al hablar de P. aeruginosa y A. baumannii, dos patógenos asociados a una alta tasa de morbilidad y mortalidad a nivel mundial [3]. Las características de estas especies, incluyendo la capacidad de producción de una gran cantidad de factores de virulencia, su facultad para obtener múltiples mecanismos de resistencia a una gran variedad de antibióticos, su capacidad para sobrevivir en superficies y en el ambiente durante meses y su facilidad de transmitirse y diseminarse rápidamente dificulta su eliminación en el ambiente y establecer un tratamiento adecuado para tratar la infección, en consecuencia, cada vez se dispone de menos opciones terapéuticas y de control biológico para estas especies [4] [5].

En este sentido, el objetivo de esta investigación fue evaluar las aguas residuales como reservorio de P. aeruginosa y A. baumannii multirresistentes, determinar el perfil de resistencia a los antibióticos e identificar los genes causantes de dicha resistencia a partir de muestras obtenidas de la Caja de Seguro Social (CSS), la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y la Estación de Bombeo 3 (EB3) en la Ciudad de Panamá.

2. MÉTODO

ÁREAS DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en tres puntos de muestreo en la ciudad de Panamá. La PTAR de Juan Díaz, encargada del tratamiento de aguas residuales que convergen desde múltiples cuencas de la ciudad; la CSS del Complejo Hospitalario Dr. Arnulfo Arias Madrid, que recoge directamente las aguas residuales utilizadas en las diversas áreas clínicas y administrativas del complejo; y la Estación de Bombeo 3 de la Cinta Costera 2, que canaliza las descargas del Hospital Santo Tomás, el Hospital del Niño y el Hospital Nacional. En cada sitio, se recolectaron muestras periódicas de 100 mL de agua residual en envases estériles, bajo condiciones de asepsia, para su posterior traslado en cadena de frío.

AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN PRESUNTIVA

En cada uno de los tres puntos de muestreo, se aislaron 25 UFC de P. aeruginosa y 25 UFC

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de A. baumannii, obteniendo un total de 150 UFC entre ambas especies.
Para el aislamiento de P. aeruginosa, primero se realizó una prueba rápida Pseudalert. Luego, se procedió a un primer estriado en Agar Cetrimida (incubación a 37 °C por 24 h) y un segundo estriado en CHROMagar™ Pseudomonas (incubación a 37 °C por 24 h). Para el aislamiento de A. baumannii, se realizó un esparcido en superficie en CHROMagar™ Acinetobacter, incubado a 37 °C por 24 h. Las colonias típicas fueron seleccionadas, se reestriaron en el mismo medio y reincubaron por 24 h.

IDENTIFICACIÓN BIOQUÍMICA

La identificación de los aislados se realizó mediante el sistema automatizado VITEK®2 Compact, siguiendo el protocolo descrito por MICROBIAL IDENTIFICATION USING THE BIOMÉRIEUX VITEK®2 SYSTEM [6]. Para ello, las UFC se suspendieron en solución salina estéril al 0.45 % hasta alcanzar una turbidez equivalente a 0.5 McFarland, medida con un densitómetro (DensiCHEK). Las tarjetas GN (Gram negativas) se incorporaron a la suspensión, se escanearon y se procesaron automáticamente por el equipo, arrojando resultados en un periodo de 3 a 6 h. Finalmente, las cepas confirmadas se criopreservaron en glicerol al 20 % y se almacenaron entre -20 ºC y -80 ºC.

ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA

Para la prueba de perfil de resistencia, se preparó igualmente una suspensión a 0.5 McFarland. De esta, se mezclaron 145 µL con 3 mL de solución salina estéril al 0.45 %. Se incorporaron tarjetas AST-N402, las cuales fueron escaneadas e introducidas en el equipo VITEK®2 Compact para obtener los resultados en un periodo de 3 a 8 h.

EXTRACCIÓN DE ADN Y CUANTIFICACIÓN DE ADN

Se preparó una suspensión densa con 500 µL de agua libre de nucleasa y bacterias previamente cultivadas, hasta alcanzar una turbidez equivalente a 3 McFarland. Los tubos fueron agitados en vórtex por 1 min para la lisis celular, y posteriormente, se colocaron en un bloque térmico a 95 °C por 20 min. La mezcla fue centrifugada a 12000 rpm por 10 min y se transfirieron 100 µL del sobrenadante a tubos estériles.
El ADN se cuantificó utilizando el equipo NanoDrop Lite Plus para evaluar concentración y pureza (260/280 nm). Finalmente, el ADN se almacenó a -80 °C.

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR

La identificación de P. aeruginosa y A. baumannii se llevó a cabo mediante una PCR en tiempo final, utilizando las metodologías descritas por Choi et al. (2013) [7] y Falah et al. (2019) [8], respectivamente.

DETECCIÓN DE GENES DE RESISTENCIA A ANTIMICROBIANOS

Para la detección de los genes de resistencia, se aplicó PCR múltiple para los genes blaVIM,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

blaIMP, blaNDM y blaKPC, y una PCR independiente para blaOXA-48, siguiendo el protocolo de Malbran (2019) [9].

ELECTROFORESIS

La visualización de los productos de PCR se realizó mediante electroforesis en gel de agarosa al 2 % en tampón TBE 0.5X, utilizando Sybr Safe. Las muestras se mezclaron con tampón de carga (loading buffer azul/naranja, 6X). Se agregó el marcador de peso molecular de 100 pb y se corrieron a 80 V durante 1 h 30 min. La visualización se llevó a cabo con un fotodocumentador UV (BioDoc-it® 220 Imaging System).

Fig 1. Metodología general utilizada para el aislamiento, identificación y detección de genes de resistencia de P. aeruginosa y A. baumannii.

3. RESULTADOS

A. AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN BIOQUÍMICA Y MOLECULAR

Se aislaron 75 UFC presuntivas de P. aeruginosa y 75 UFC presuntivas de A. baumannii, distribuidas equitativamente en 25 UFC de cada punto de muestreo. La identificación tanto bioquímica (VITEK®2) como molecular (PCR), confirmó que el 100 % de los aislados (75/75 de cada especie) pertenecen a las especies P. aeruginosa y A. baumannii.

B. PERFIL DE SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA

Los 75 aislamientos confirmados de P. aeruginosa se evaluaron para determinar su perfil de susceptibilidad antimicrobiana a nueve paneles de antibióticos pertenecientes a cinco familias de antimicrobianos. Los resultados arrojaron que el 100 % de las cepas presentó resistencia a uno o más antibióticos. Específicamente, el 100 % (75/75) de las cepas mostró resistencia intrínseca a cefazolina, el 2,6 % (2/75) exhibió resistencia a piperacilina/tazobactam e imipenem y el 1,3 % (1/75) a ceftazidima, meropenem y ciprofloxacino. Asimismo, el 1,3 % (1/75) de las cepas presentó resistencia intermedia a cefepima y meropenem (Fig. 2).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

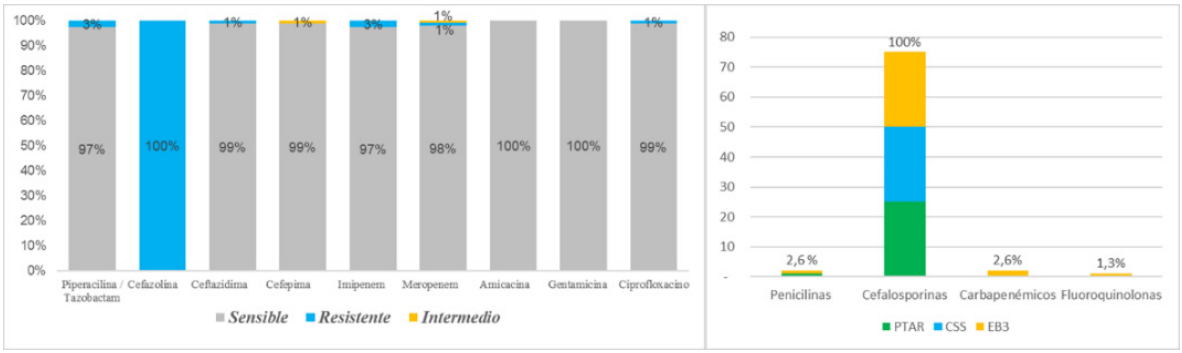


Fig. 2. Perfil de susceptibilidad a los antibióticos de los aislamientos confirmados de P. aeruginosa.

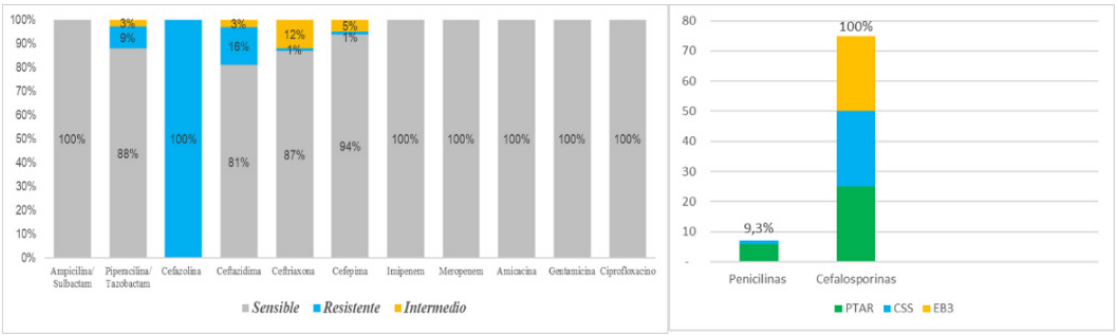


Fig. 3. Perfil de susceptibilidad a los antibióticos de los aislamientos confirmados de A. baumannii.

En el caso de A. baumannii, los 75 aislamientos se evaluaron para determinar su perfil de susceptibilidad antimicrobiana a once paneles de antibióticos pertenecientes a cinco familias de antimicrobianos. Los resultados mostraron que el 100 % de las cepas presentaron resistencia a no más de dos familias de antibióticos. Específicamente, el 100 % (75/75) de las cepas mostró resistencia intrínseca a Cefazolina, el 16 % (12/75) presentó residencia a ceftazidima, el 9,3 % (7/75) exhibió resistencia a piperacilina/tazobactam y el 1,3 % (1/75) a ceftriaxona y cefepima. Además, 2,6 % (2/75) de las cepas presentó resistencia intermedia a piperacilina/tazobactam y ceftazidima, el 12 % (9/75) a ceftriaxona y el 5,3 % (4/75) a cefepima (Fig. 3).

C. DETECCIÓN DE GENES DE RESISTENCIA

De los 75 aislamientos de P. aeruginosa, se determinó que el 2,6 % (2/75) de los aislados que exhibieron resistencia a carbapenémicos portaban el gen blaVIM, mientras que el 97,3 % (73/75) portaban el gen blaOXA-48 (Fig. 4). En el caso de A. baumannii, no se detectaron genes de resistencia.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

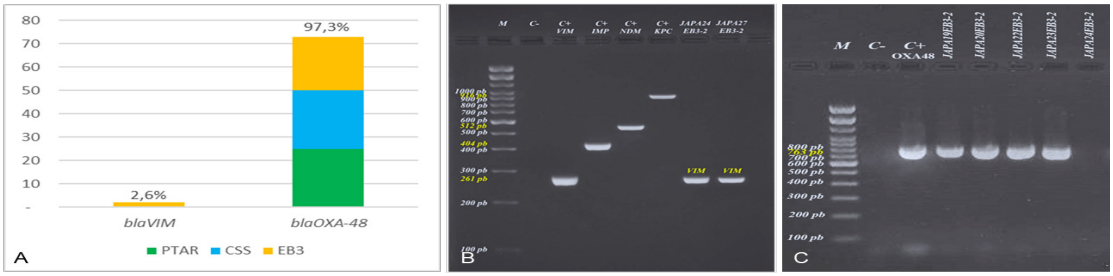


Fig. 4. Genes de resistencia detectados en cepas de P. aeruginosa. A) Distribución de genes de resistencia. B) Detección del gen blaVIM. C) Detección del gen blaOXA-48.

4. CONCLUSIONES

El presente estudio demostró la relevancia de la vigilancia de las aguas residuales, principalmente de origen hospitalario como puntos estratégicos para la detección de patógenos multirresistentes. El análisis permitió la identificación de 75 cepas de P. aeruginosa y 75 de A. baumannii a partir de dos efluentes hospitalarios (CSS y EB3) y la PTAR. Los hallazgos de resistencia antimicrobiana revelaron cepas de P. aeruginosa con resistencia intrínseca a cefalosporinas (100 %), con niveles menores pero significativos de resistencia a penicilinas (2.6 %), carbapenémicos (2.6 %) y fluoroquinolonas (1.3 %), y un pequeño grupo multirresistente (1.3 %). Por su parte, en A. baumannii, la resistencia fue intrínseca a cefalosporinas (100 %) y a penicilinas (9.3%), sin casos de multirresistencia. A nivel molecular, se detectaron los genes blaVIM (2.6 %) y blaOXA-48 (97.3 %) en P. aeruginosa, mientras que A. baumannii no presentó ninguno de los genes de resistencia evaluados. Estos resultados evidencian que las aguas residuales son un reservorio y un vehículo clave para la circulación de bacterias multirresistentes y resaltan el riesgo que representa su dispersión para los ecosistemas naturales y la salud pública.

Referencias

[1] E. Saldarriaga, L. Echeverri, y S. Ospina, “Factores clínicos asociados a multirresistencia bacteriana en un hospital de cuarto nivel,” Infectio: Rev. Asoc. Colomb. Infectol., vol. 19, no. 4, pp. 161–167, 2015. https://doi.org/10.1016/j.infect.2015.04.003

[2] M. Jiménez, M. Galas, A. Corso, J. Hormazabal, C. Duarte, N. Salgado, P. Ramón, y R. Melano, “Latin American consensus to define, categorize, and report multidrug-resistant, extensively drug-resistant, or pandrug-resistant pathogens,” Rev. Panam. Salud Pública, vol. 43, no. 1, p. 65, 2019. doi: 10.26633/RPSP.2019.65.

[3] L. Escolà, I. Los, y B. Almirante, “New antibiotics for the treatment of infections by multidrug-resistant microorganisms,” Med. Clin. (Barc), vol. 154, no. 9, pp. 351–357, 2020. doi:10.1016/j.medcli.2019.11.002.

[4] M. Medell, M. Hart, y I. Mora, “Acinetobacter baumannii versus Pseudomonas aeruginosa. Comportamiento en pacientes críticos con ventilación mecánica,” Rev.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Cubana Med., vol. 51, no. 3, pp. 239–246, 2012. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75232012000300005

[5] M. Fariñas y L. Martínez, "Multiresistant Gram-negative bacterial infections: Enterobacteria, Pseudomonas aeruginosa, Acinetobacter baumannii and other non-fermenting Gram-negative bacilli," Enferm. Infecc. Microbiol. Clin., vol. 31, no. 6, pp. 402–409, 2013. https://doi.org/10.1016/j.eimc.2013.03.016

[6] D. Pincus, "MICROBIAL IDENTIFICATION USING THE BIOMÉRIEUX VITEK® 2 SYSTEM," BioMérieux. [En línea].https://www.researchgate.net/publication/315832305_MICROBIAL_IDENTIFICATION_USING_THE_BIOMERIEUX_VITEK_R_2_SYSTEM

[7] H. Choi, M. Kim, M. Cho, B. Kim, J. Kim, C. Kim, y D. Park, "Improved PCR for identification of Pseudomonas aeruginosa," Appl. Microbiol. Biotechnol., vol. 97, no. 8, pp. 3643–3651, 2013. https://doi.org/10.1007/s00253-013-4709-0

[8] F. Falah, L. Shokoohizadeh, y M. Adabi, "Molecular identification and genotyping of Acinetobacter baumannii isolated from burn patients by PCR and ERIC-PCR," Scars Burns Heal., vol. 5, 2019. https://doi.org/10.1177/2059513119831369

[9] C. Malbran, "Protocolo de PCR múltiple para la detección de los genes blaKPC, blaOXA-48-like, blaVIM, blaIMP y blaNDM en bacilos gram negativos," Serv. Antimicrob., Inst. Nac. Enferm. Infecc.-ANLIS, Buenos Aires, Argentina, 2019. [En línea]. http://antimicrobianos.com.ar/ATB/wp-content/uploads/2019/10/Detecci%C3%B3n-CBP-Multiplex.pdf

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

UNA METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE LOS VIRUS ENDÉMICOS, EMERGENTES Y DE POTENCIAL EMERGENCIA EN LA REGIÓN DE COCLÉ DEL NORTE

Chang, Jim
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
jim.chang@utp.ac.pa

Sánchez-Galán, Javier E.
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
javier.sanchezgalan@utp.ac.pa

Martínez, Alexander
Instituto Conmemorativo Gorgas en Estudios de la Salud
Ciudad de Panamá, Panamá
almartinez@gorgas.gob.pa

Díaz, Yamilka
Instituto Conmemorativo Gorgas en Estudios de la Salud
Ciudad de Panamá, Panamá
ydiaz@gorgas.gob.pa

Wallau, Gabriel
Fundação oswaldo cruz
Pernambuco, Brasil
gabriel.wallau@fiocruz.br

Abstract

Panama acts as a biological bridge for the American continent, which gives it a high diversity of pathogens due to its geographical position, tropical climate, transit of migratory species, and high human mobility. Viruses such as dengue, Zika, and chikungunya, along with others with emergency potential, have a significant impact on the morbidity and mortality of the population, in addition to representing an economic and social burden on the health system. The Coclé del Norte region has become a critical point in this context due to mining activity in the area. These activities have affected biodiversity and natural resources, altering

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

environmental conditions and forcing the displacement of endemic species to other regions, facilitating the spread of these pathogens. This project aims to characterize the viral diversity present in reservoirs using state-of-the-art techniques in sequencing, metagenomics, and bioinformatic analysis.
Biological samples were collected from wild reservoirs, mainly bats. For the identification and characterization of viruses present, massive sequencing techniques and bioinformatics tools focused on metagenomics were applied. The analysis of the data generated provided preliminary results with information on the microbial composition of the reservoirs, as well as relevant data to advance the discovery of potentially dangerous viruses.

Keywords: Metagenomics, Virome, Reservoirs, Biodiversity, Pathogens.

Resumen

Panamá funciona como puente biológico del continente americano, lo que le confiere una alta diversidad de patógenos debido a su posición geográfica, clima tropical, tránsito de especies migratorias y alta movilidad humana. Virus como el dengue, zika y chikungunya, junto con otros de potencial emergencia, tienen un impacto significativo en la morbilidad y mortalidad de la población, además de representar una carga económica y social para el sistema de salud.
La región de Coclé del Norte se ha convertido en un punto crítico en este contexto debido a la intervención minera en la zona. Estas actividades han afectado la biodiversidad y los recursos naturales, alterando las condiciones ambientales y forzando el desplazamiento de especies endémicas hacia otras regiones, facilitando la propagación de estos patógenos. Este proyecto tiene como objetivo caracterizar la diversidad viral presente en reservorios mediante las técnicas de última generación en secuenciación, metagenómica y análisis bioinformático.
Se recolectaron muestras biológicas de reservorios silvestres, principalmente de murciélagos. Para la identificación y caracterización de virus presentes, se aplicaron técnicas de secuenciación masiva y herramientas bioinformáticas enfocadas en metagenómica. El análisis de los datos generados permitió obtener resultados preliminares con información sobre la composición microbiana de los reservorios, así como datos relevantes para avanzar en el descubrimiento de virus potencialmente nuevos, su posible capacidad patogénica y sus patrones de evolución viral.
Este estudio permitirá generar un conocimiento integral sobre la diversidad viral en reservorios silvestres de la región de Coclé del Norte, contribuyendo a la identificación temprana de virus emergentes y potencialmente patógenos.

Palabras claves: Metagenómica, Viroma, Reservorios, Biodiversidad, Patógenos.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Nuestro país constituye una alta complejidad ecológica, caracterizado por una convergencia de ecosistemas tropicales que favorecen la diversidad de microorganismos, como los virus de importancia epidemiológica [1]. Su posición como corredor biológico, sumada a patrones climáticos tropicales, movilidad humana intensa y tránsito de especies migratorias, genera un escenario propicio para la introducción, mantenimiento y circulación de patógenos emergentes y reemergentes [2]. Estos factores en conjunto, convierten a Panamá en un punto crítico para el estudio de dinámicas virales y procesos de transmisión [3].

Panamá ha desempeñado un rol central en la investigación de arbovirus, aportando evidencia esencial para el desarrollo de estrategias de control vectorial durante el siglo XX [4]. Sin embargo, la reintroducción sostenida de dengue desde la década de 1990 y la incursión de chikungunya y Zika han modificado significativamente la ecología viral regional, evidenciando la limitada capacidad del sistema de vigilancia tradicional para caracterizar escenarios de co-circulación y sintomatología superpuesta. Esta debilidad metodológica se reflejó en la epidemia de Zika de 2015–2017, donde la ausencia de un enfoque genómico integrado dificultó la discriminación entre patógenos coexistentes, generando subdiagnóstico y errores en la vigilancia epidemiológica [5],[6].

La metagenómica se ha consolidado como una herramienta clave para la detección no dirigida de virus, permitiendo explorar el viroma de diversas matrices biológicas, identificar agentes infecciosos conocidos y novedosos, y estimar patrones evolutivos con alta resolución [7],[8]. Este estudio propone un enfoque interdisciplinario que combina secuenciación masiva, análisis bioinformático y modelos matemático-epidemiológicos para caracterizar la filogeografía y la co-circulación viral en Panamá, fortaleciendo la capacidad nacional de vigilancia y respuesta ante virus endémicos, emergentes y de potencial emergencia.

2. MÉTODO

1. RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

Las muestras biológicas fueron obtenidas a partir de murciélagos capturados en sitios definidos según criterios ecológicos y gradientes de perturbación. Se aplicaron protocolos estandarizados para garantizar bioseguridad y calidad del material. La extracción de ácidos nucleicos se realizó mediante kits comerciales, incorporando controles internos y cuantificación, asegurando el rendimiento e integridad del material genético.

2. SECUENCIACIÓN Y ANÁLISIS METAGENÓMICO

Las librerías fueron preparadas siguiendo el protocolo optimizado “Unbiased metagenomic protocol: from RNA to sequencing” [9] del Departamento de Genómica y Proteómica del

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ICGES para plataformas de tercera generación. Las lecturas crudas fueron evaluadas con FastQC, filtradas y recortadas mediante fastp, normalizadas en longitud con chopper y formateadas usando reformat. El ensamblaje se realizó con SPAdes, seguido de la clasificación taxonómica con Kraken2 y la confirmación de identidad mediante BLAST.

3. RESULTADOS

Los resultados de este análisis preliminar se muestran en las Figuras 1 y 2.

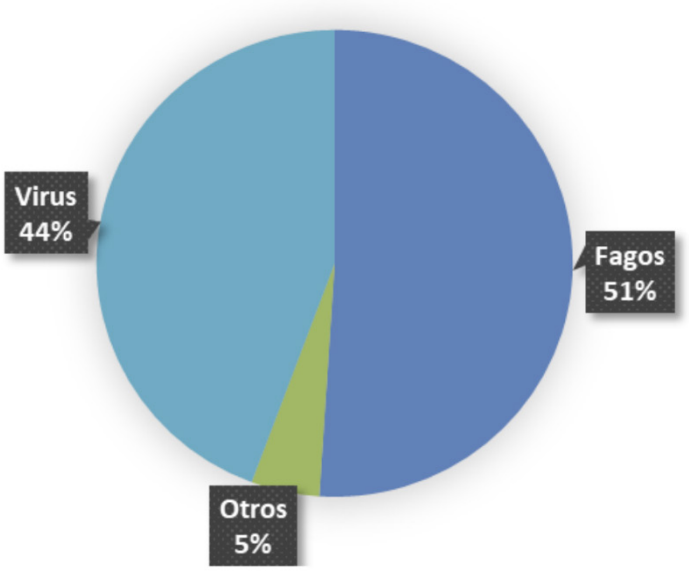


Fig. 1. Composición taxonómica global del metagenoma (porcentaje de lecturas clasificadas) Proporción porcentual de lecturas clasificadas en muestras de reservorios (murciélagos), determinada mediante clasificación taxonómica con Kraken2. Los resultados muestran predominio de fagos (51%), seguido por virus no bacterianos (44%) y otros (5%), indicando una alta representación bacteriana en las muestras y una fracción viral relevante para análisis ecológicos y zoonóticos.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

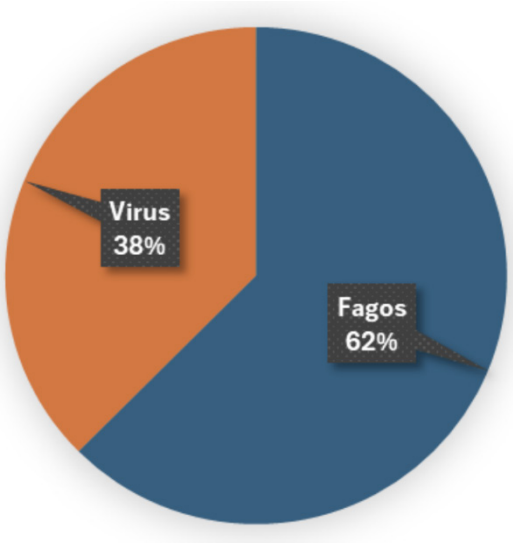


Fig. 2. Distribución de secuencias largas y de alta similitud por categoría
Porcentaje de secuencias más largas y con mayores índices de similitud taxonómica, analizadas tras ensamblaje y clasificación. El 62% corresponde a fagos y el 38% a virus con homología reportada en mamíferos, lo que sugiere la presencia de secuencias virales de interés zoonótico en las muestras.

4. CONCLUSIONES

Los análisis metagenómicos revelan un predominio de fagos en las muestras, tanto en la distribución global de lecturas (51%) como en las secuencias más largas y con mayor similitud (62%). Este patrón sugiere una elevada actividad bacteriana en los reservorios y resalta el papel ecológico de los fagos como moduladores claves de las comunidades microbianas. La detección de virus no bacterianos que constituyen el 44% de las lecturas clasificadas y el 38% de las secuencias de mayor homología indica la presencia de una fracción viral con posible relevancia zoonótica.

La identificación de secuencias con similitud a virus reportados en mamíferos no solo refleja la sensibilidad del enfoque metagenómico, sino que también sugiere, de manera plausible y consistente, que los murciélagos podrían actuar como reservorios de virus de ARN.

Hacia el futuro se prevé que la detección de estas secuencias refleje la presencia de virus reales o de variantes altamente similares de relevancia para la vigilancia viral nacional. Se avanzará en el análisis de las secuencias no clasificadas para permitir explorar la existencia de virus aún no descritos, así como desarrollar y evaluar modelos matemáticos o computacionales para estudiar la dinámica de circulación y co-circulación viral.

Referencias

[1] N. Myers, R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, and J. Kent, 'Biodiversity hotspots for conservation priorities', Nature, vol. 403, no. 6772, pp. 853–858, Feb. 2000, doi:

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

10.1038/35002501.
[2] M. K. Parvez and S. Parveen, 'Evolution and Emergence of Pathogenic Viruses: Past, Present, and Future', Oct. 01, 2017, S. Karger AG. doi: 10.1159/000478729.
[3] D. Franco et al., 'Early Transmission Dynamics, Spread, and Genomic Characterization of SARS-CoV-2 in Panama', Emerg Infect Dis, vol. 27, no. 2, pp. 612–615, Feb. 2021, doi: 10.3201/eid2702.203767.
[4] Y. Díaz et al., 'Molecular epidemiology of dengue in Panama: 25 years of circulation', Viruses, vol. 11, no. 8, Aug. 2019, doi: 10.3390/v11080764.
[5] P. C. S. Farias et al., 'Epidemiological profile of arboviruses in two different scenarios: dengue circulation vs. dengue, chikungunya and Zika co-circulation', BMC Infect Dis, vol. 23, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s12879-023-08139-6.
[6] R. J. Oidtman, G. España, and T. Alex Perkins, 'Co-circulation and misdiagnosis led to underestimation of the 2015–2017 zika epidemic in the americas', PLoS Negl Trop Dis, vol. 15, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.1371/journal.pntd.0009208.
[7] J. V. C. Souza et al., 'Viral Metagenomics for the Identification of Emerging Infections in Clinical Samples with Inconclusive Dengue, Zika, and Chikungunya Viral Amplification', Viruses, vol. 14, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/v14091933.
[8] H. Cholleti, M. Berg, J. Hayer, and A. L. Blomström, 'Vector-borne viruses and their detection by viral metagenomics', Jan. 01, 2018, Taylor and Francis Ltd. doi: 10.1080/20008686.2018.1553465.
[9] A. Martínez, C. González, S. Whitmer, O. Chavarría, J. Góndola, and A. Moreno, 'Unbiased metagenomic protocol: from RNA to sequencing', Panamá.

Agradecimientos

Agradezco a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por el apoyo brindado a través del Programa de Doctorado en Biociencias y Biotecnología, en el cual soy estudiante becario. Asimismo, expreso mi agradecimiento a mis tutores, Javier Sánchez Galán y Alexander Martínez, por su acompañamiento académico y por el respaldo financiero proporcionado mediante sus fondos del Sistema Nacional de Investigación (SNI), que han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.
Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Estimación del perfil de velocidad de onda cortante en suelos residuales de Panamá mediante correlaciones con ensayo de penetración estándar

Pinzon-Atencio, Wenddy
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0009-9857-6262

Vergara, Nicomedes
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0006-4781-0707

Harris, José
Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
jose.harris@utp.ac.pa

Mojica, Alexis
Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0000-0002-9069-7336

Vergara, Rosana
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0002-1382-2823

Castillero, Manuel
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
manuel.castillero@utp.ac.pa

Agudo, Naicolette
Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
naicolette.agudo@utp.ac.pa

Liao, Boris
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0008-4639-4179

Mogoruza, Rogelio
Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0000-3578-3189

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Velásquez, Yarisel
Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
yarisel.velasquez@utp.ac.pa

Grajales-Saavedra, Francisco
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0000-0003-1705-864X

Abstract

Panama is a territory with predominantly residual soils and highly seismic zones. An important parameter for site categorization and dynamic analysis of soil-structure interaction is the shear wave velocity profile at the first 30 m depth (Vs30). The purpose is to determine which set of correlations for rocks, estimates more accurately the Vs30 profile in relation to one measured in-situ for residual soils with similar characteristics in Panama. For this, the standard penetration test, laboratory tests and geophysical tests were carried out at the Victor Levi Sasso campus of the Technological University of Panama. The least squares method was applied to determine 3 combinations of equations that best estimated the Vs30 profile.

Keywords: Shear wave velocity, SPT, correlations, microtremors, rock

Resumen

Panamá es un territorio con suelo predominantemente de carácter residual y zonas altamente sísmicas. Un parámetro importante para la categorización del sitio y el análisis dinámico de la interacción suelo - estructura es el perfil de velocidad de onda cortante en los primeros 30 m de profundidad (Vs30). El propósito es determinar qué conjunto de correlaciones para rocas, estiman con mayor precisión el perfil Vs30 con relación a uno medido in-situ para suelos residuales con características similares en Panamá. Para ello, se realizó una prueba de penetración estándar, ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos en el campus Victor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se aplicó el método de los mínimos cuadrados para determinar 3 combinaciones de ecuaciones estimaba mejor el perfil Vs30.

Palabras claves: velocidad de onda cortante, SPT, correlaciones, microtremores, roca.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

Panamá es un territorio con formaciones geológicas relativamente nuevas, con suelo predominantemente de carácter residual. El mismo forma parte de la microplaca de Panamá, y cuenta con zonas altamente sísmicas [1]. Por lo que en la industria de la construcción se hace indispensable la correcta caracterización del suelo previo al diseño de cualquier estructura, para estos efectos un parámetro del suelo importante es el perfil de velocidad de onda cortante en los primeros 30 m de profundidad[2]. Pues este se utiliza para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo. La misma se puede obtener mediante ensayos de alto costo como, por ejemplo: downhole y crosshole, y de bajo costo como refracción de microtremores; así como también por correlaciones [3], [4].

La estimación de la velocidad de onda cortante mediante ecuaciones tiene la desventaja que la mayoría son ecuaciones basadas en los números de golpes del ensayo de penetración estándar (SPT) en las capas de suelo. Por lo que en zonas donde hay afloramientos de roca previo a los 30 m de profundidad se deben utilizar ecuaciones que tengan correlaciones con las propiedades de la roca encontrada en sitio. Algunas de las correlaciones para roca involucran parámetros como velocidad de onda compresiva, densidad y esfuerzo no confinado [5], [6].

Esta investigación está basada en un estudio previo realizado dentro del campus Victor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá. La cuál posee formaciones intrusivas y extrusivas de basalto del mioceno medio y tardío de acuerdo con el mapa de caracterización geológica de [7]. El objetivo es determinar si existen otras correlaciones para rocas que estimen con mayor precisión el perfil de velocidad de onda cortante con relación a un perfil medido en sitio, además de aquellas propuestas por [8].

2. MÉTODO

La investigación se basa en los estudios geotécnicos realizados en [8], la cual consistió en realizar ensayos de campo y laboratorio del sitio para obtener las propiedades del suelo. En esta se realizó una prueba de penetración estándar (SPT) y ensayos geofísicos para determinar propiedades dinámicas del suelo; refracción de microtremores (ReMi) y ensayo de la razón del espectro horizontal-vertical (HVSR). De igual forma, usaron 25 correlaciones existentes, que utilizan el número de golpes SPT no corregidos para arcillas, incluidas dentro de la “Guía de estimaciones de perfiles de velocidad de onda cortante” del PEER por sus siglas en inglés Pacific Earthquake Engineering Research de California para los estratos de suelo. Mientras que, para los estratos de roca, se usan dos correlaciones basadas en la densidad y velocidad de onda compresiva del material. La figura 1, muestra esquemáticamente la metodología presentada.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

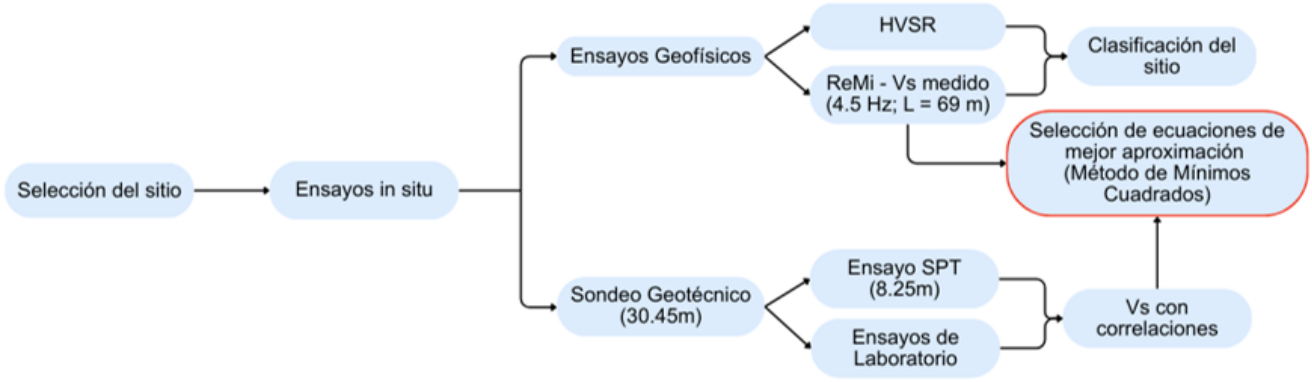


Figura 1. Esquema de la metodología.

Esta investigación realiza una revisión literaria sobre las correlaciones existentes para el cálculo de onda cortante correspondientes a la roca ígnea encontrada en el sitio. Se evalúan 3 ecuaciones adicionales a [8] basadas en la densidad, onda compresiva y esfuerzo no confinado de la roca. La tabla 1, muestra las correlaciones encontradas en la revisión literaria y empleadas en la investigación.

Tabla 1. Correlaciones para roca ígnea

Gómez & Tobón (2017) $V_p = 67.683\rho_w - 875.91$ (1) donde V_p está en m/s ρ_w está en kN/m^3	**Carroll (1969)** $V_s = 0.937562V_p^{0.81846}$ (2) donde V_s y V_p están en kft/s
Brocher (2005) $V_p = 39.128\rho - 63.064\rho^2 + 37.083\rho^3 - 9.1819\rho^4 + 0.8228\rho^5$ (3) $V_s = 0.7858 - 1.2344V_p + 0.7949V_p^2 - 0.1238V_p^3 + 0.0064V_p^4$ (4) donde V_s y V_p están en km/s; y ρ está en g/cm^3	
Majstorovic, et al. (2019) $V_s = \frac{UCS + 153.58}{0.1121}$ (5) donde UCS está en MPa	

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. RESULTADOS

Las correlaciones existentes para las capas de suelo sugeridas por [8] con el número de golpes SPT tienen la forma de a*Nsptb, en donde cada uno de los diferentes autores ha calibrado los factores “a” y “b” para su sitio de estudio conforme al tipo de suelo. Para el estrato de roca se encontraron las ecuaciones (1) con muestras de rocas de Colombia [9], (2) con muestras de rocas de Nevada, U.S.A. [5], (3) y (4) con muestras de rocas de California, USA [6] y por último (5) [10] con muestras de rocas de Serbia.

La figura 2 muestra en color rojo el perfil de velocidad de onda cortante medido en campo y en tonalidades verdes, azules, naranjas y moradas los perfiles obtenidos mediante correlaciones. Cabe destacar, la numeración de las ecuaciones para el estrato de suelo corresponde a la numeración de [8]. Se observa que, para el estrato de suelo, hay varias ecuaciones que se aproximan al valor medido (línea roja); no obstante, para el estrato de roca, 2/3 de las ecuaciones encontradas se alejan notoriamente.

La figura 3 muestra las tres mejores combinaciones de ecuaciones que de acuerdo con el método de mínimos cuadrados, se aproximan al perfil medido en campo con el ensayo ReMi (línea roja). Siendo el gráfico “a” la de mayor ajuste, “b” y “c” las siguientes respectivamente. Se observa que para los estratos de roca solo las ecuaciones propuestas por [8] se aproximan al perfil medido.

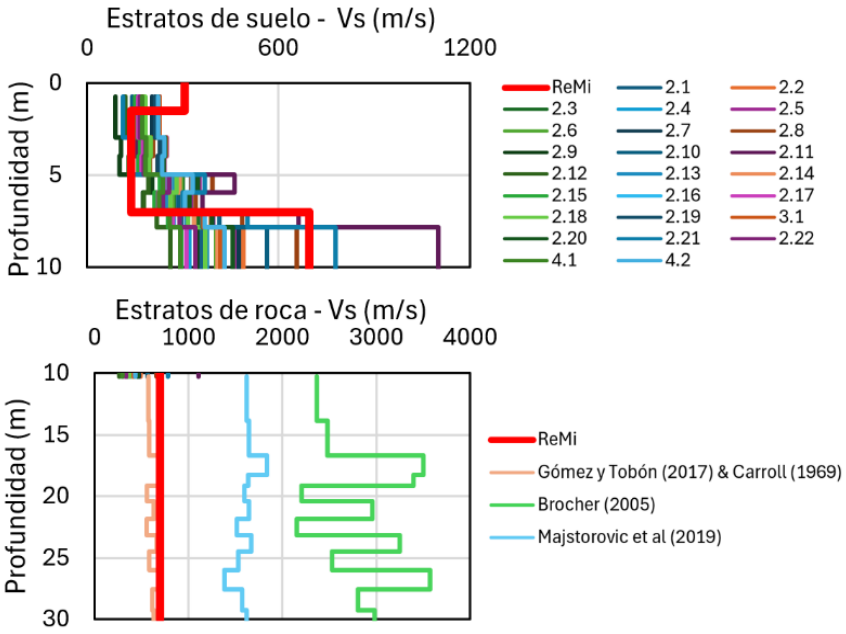


Figura 2. Perfiles Vs30 estimados con correlaciones versus medido.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

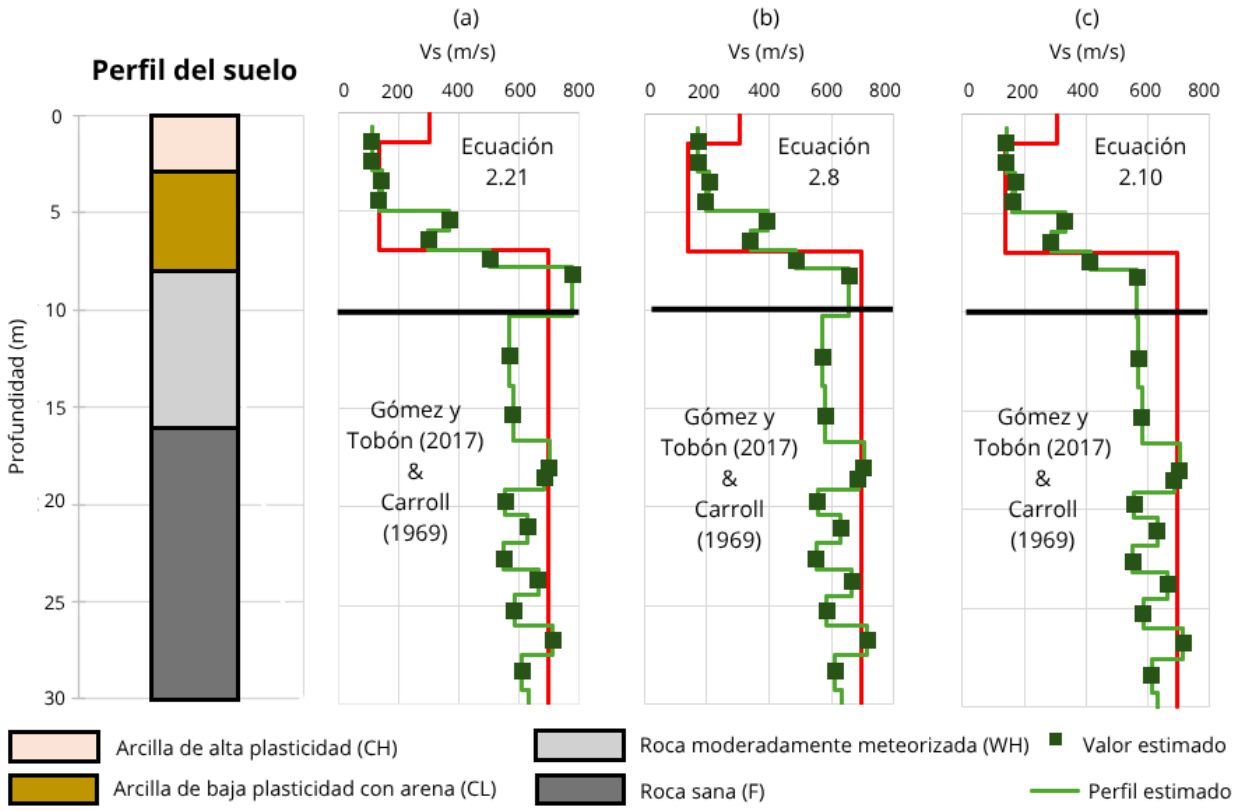


Figura 3. Perfiles Vs30 con mayor aproximación al medido.

4. CONCLUSIONES

No se encontraron correlaciones específicas para suelos residuales similares a los de Panamá. Sin embargo, algunas ecuaciones se aproximan de manera aceptable a los valores medidos.

Se encontraron 3 correlaciones de velocidad de onda cortante para rocas ígneas en función de la densidad o compresión axial no confinada

Se observó que 2 de 3 correlaciones para rocas, pese a ser para el tipo encontrado en campo, sobrestiman los valores de onda cortante, brindando resultados que están asociados a una roca con mejor calidad a la encontrada. Por lo que, la ecuación 2 [5], a partir de la velocidad de onda compresiva estimada de la ecuación 1 [9] es la más conveniente para las rocas ígneas encontradas en el sitio de estudio.

Se evidenció que las correlaciones utilizadas están calibradas para diferentes tipos de rocas distintos a los presentes en Panamá. Por lo que el uso de algunas ecuaciones sin previo conocimiento puede resultar en estimaciones erróneas, esto en atención a la diferencia en las características geológicas de Panamá.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] T. L. Pratt, M. Holmes, E. S. Schweig, J. Gomberg, y H. A. Cowan, “High resolution seismic imaging of faults beneath Limón Bay, northern Panama Canal, Republic of Panama”, Tectonophysics, vol. 368, núm. 1–4, pp. 211–227, jun. 2003, doi: 10.1016/S0040-1951(03)00159-8.

[2] ASCE, Minimum design loads for buildings and other structures 7-05. American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute, 2006.

[3] M. K. Akin, S. L. Kramer, y T. Topal, “Empirical correlations of shear wave velocity (Vs) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey)”, Eng Geol, vol. 119, núm. 1–2, pp. 1–17, abr. 2011, doi: 10.1016/j.enggeo.2011.01.007.

[4] H. A. Muktaf, Wiyono, y B. D. Tampubolon, “New Approach for Developing Correlation of NSPT and Shear-Wave Velocity (Vs): Bantul Case Study”, Indonesian Journal on Geoscience, vol. 9, núm. 3, pp. 395–413, dic. 2022, doi: 10.17014/ijog.9.3.395-413.

[5] R. D. Carroll, “THE DETERMINATION OF THE ACOUSTIC PARAMETERS OF VOLCANIC ROCKS FROM COMPRESSIONAL VELOCITY MEASUREMENTS*”, Pergamon Press, 1969.

[6] T. M. Brocher, “Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth’s crust”, Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 95, núm. 6, pp. 2081–2092, dic. 2005, doi: 10.1785/0120050077.

[7] R. H. Stewart, J. L. Stewart, y W. P. with collaboration by Woodring, “Geologic map of the Panama Canal and vicinity, Republic of Panama”, IMAP, 1980, doi: 10.3133/I1232.

[8] W. Pinzon-Atencio et al., “Seismic soil classification for tropical residual soils using non-destructive geophysical methods and SPT blow count correlations”, LACCEI (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions), ago. 2025. doi: 10.18687/laccei2025.1.1.2149.

[9] D. Gómez Ramírez y D. Tobón Angel, “CORRELACIONES ENTRE ALGUNAS VARIABLES GEOTÉCNICAS Y VELOCIDADES DE ONDA COMPRESIVA (Vp) Y DE CORTE (Vs)”, Universidad EAFIT, 2017.

[10] J. Majstorović, M. Gligorić, S. Lutovac, M. Negovanović, y L. Crnogorac, “CORRELATION OF UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH WITH THE DYNAMIC ELASTIC MODULUS, P-WAVE VELOCITY AND S-WAVE VELOCITY OF DIFFERENT ROCK TYPES”, 2019.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Arqueosub Portobelo. Modelo para la implementación de cartas arqueológicas subacuáticas en América Central. Caso de Estudio Bahía de Portobelo

Alberda, Abner
Universidad de Panamá, Centro de Investigaciones de la Facultad de Humanidades (CIFHU);
Coiba AIP, Línea en Arqueología Subacuática
Panamá, Panamá
abner.alberda@up.ac.pa ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2500-0499

Suira Araúz, Linneth
Universidad de Sevilla, Programa de Doctorado Ifarhu-Senacyt,
Panamá, Panamá
linsuiara@alum.us.es, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8586-7882

Roa Brynildsen, Eduardo
Södertörn University, Maritime Archaeological Research Institute (MARIS)
Estocolmo, Suecia
roa_eduardo@hotmail.com

Ramos Pérez, Rita Liss
Universidad de Panamá, Departamento de Sociología
Panamá, Panamá
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0635-876X

Bracho, Aarón
Universidad de Panamá, Centro Regional de San Miguelito
Panamá, Panamá
aaron.bracho@up.ac.pa ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6311-4414

Martínez Mendieta, Manuel
Investigador independiente
Panamá, Panamá
manuelrpg7@gmail.com

Rojas Montes, María Andrea
Universidad del Valle de Guatemala, Centro de Investigaciones de Arqueología y Antropología
Guatemala, Guatemala
andrea.rojasmontes@alum.uca.es ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9381-0189

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Abstract

The Bay of Portobelo, named by Christopher Columbus in 1502 and later established as a strategic center of the Spanish defensive system after the city's foundation in 1597, became a recurrent setting for shipwrecks from the late sixteenth to the nineteenth century. The ArqueoSub Portobelo Project aims to assess the underwater archaeological potential of this bay through the analysis of historical sources and underwater surveys conducted within the framework of Maritime Cultural Landscape studies. Another major objective is to contribute to the protection and public appreciation of Panama's underwater cultural heritage.

The project applies specialized technologies for documenting the submerged landscape, including echo sounders, remotely operated vehicles (ROVs), and drones, which enhance the accuracy of prospection and recording. Local community participation is also incorporated as a key component of the research and heritage management process.

Preliminary results have enabled the establishment of an interpretive framework for the archaeological resources of the bay, integrating ethical and research considerations aimed at the sustainable protection and management of these sites. Additionally, the project has promoted scientific outreach and heritage education activities, such as the "Mysteries of the Ocean" workshop, designed to raise awareness among children and young people regarding the importance of underwater heritage. Collectively, the progress of the ArqueoSub Portobelo Project contributes to the understanding, preservation, and social engagement with Panama's maritime cultural heritage.

Keywords: Portobelo, Panamá, Underwater Archaeology, Underwater Cultural Heritage, Maritime Cultural Landscape

Resumen

La bahía de Portobelo, nombrada por Cristóbal Colón en 1502 y convertida en centro estratégico del sistema defensivo hispano tras la fundación de la ciudad en 1597, fue escenario recurrente de naufragios desde finales del siglo XVI. El Proyecto ArqueoSub Portobelo busca caracterizar el potencial arqueológico subacuático de esta bahía mediante el análisis de fuentes históricas y la prospección subacuática, abordada desde el enfoque del Paisaje Cultural Marítimo. Sus objetivos incluyen también contribuir a la protección y puesta en valor del patrimonio cultural subacuático de Panamá.

El proyecto emplea tecnologías especializadas para el registro del paisaje subacuático, entre ellas ecosondas, vehículos operados remotamente (ROV) y drones, lo que permite ampliar la precisión en la prospección y documentación. Se incorpora la participación de la comunidad local como parte del proceso de investigación y gestión patrimonial.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Los resultados preliminares han permitido establecer un marco de interpretación para los recursos arqueológicos de la bahía, incorporando consideraciones éticas y de investigación orientadas a la protección y gestión sostenible de los sitios. De manera complementaria, el proyecto ha impulsado actividades de divulgación y educación patrimonial.

Palabras claves: Portobelo, Panamá, Arqueología Subacuática, Patrimonio Cultural Sumergido, Paisaje Cultural Marítimo

1.INTRODUCCIÓN

La arqueología subacuática suele ser reducida erróneamente a la búsqueda de naufragios, una visión influida por el sensacionalismo mediático y el interés comercial en supuestos "tesoros". En Panamá, esta percepción se ha intensificado por la atención hacia galeones y cargamentos valiosos. Sin embargo, el objetivo de esta disciplina va más allá de localizar pecios: busca comprender las relaciones culturales construidas por las sociedades con los entornos acuáticos, a partir del estudio de evidencias materiales como cerámicas, metales, maderas y estructuras portuarias [1].

Desde la perspectiva de la arqueología marítima, la práctica subacuática se concibe como investigación arqueológica en espacios marinos y costeros, incorporando tanto sitios sumergidos como aquellos terrestres vinculados con actividades marítimas, como puertos, faros o astilleros [2]. Las fuentes coloniales tempranas —provenientes de expediciones como las de Bastidas y Colón— documentaron embarcaciones indígenas, redes de intercambio y explotación de recursos como las perlas, evidenciando complejas tradiciones marítimas prehispánicas [3].

En América Latina y el Caribe, la elaboración de cartas arqueológicas ha permitido inventariar el patrimonio subacuático, promover la conservación in situ y fortalecer capacidades locales mediante el uso combinado de documentación histórica, relatos orales y evidencias materiales [4]. Aunque Panamá ratificó en 2003 la Convención UNESCO sobre patrimonio subacuático, aún carece de un inventario nacional, lo que dificulta la gestión y priorización de investigaciones. Estudios previos señalan a Portobelo como el área con mayor número de naufragios documentados, pero la mayoría carece de verificación material, lo que resalta la necesidad de confirmar su existencia, estado, profundidad, composición y condiciones de preservación [5].

2. METODOLOGÍA

La primera fase del proyecto, realizada en febrero de 2025, aplicó un enfoque multidisciplinario

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

que integró historia, antropología, arqueología, etnografía, sociología y oceanografía. La metodología contempló investigación documental, trabajo etnográfico, prospección geofísica, prospección visual, sondeos arqueológicos subacuáticos y procesamiento de datos, aunque este apartado se enfoca únicamente en las fuentes documentales y la prospección geofísica.

El desarrollo metodológico se divide en dos etapas principales:

A. ANÁLISIS DE FUENTES DOCUMENTALES

La investigación documental consistió en la localización y análisis de fuentes primarias y secundarias relacionadas con la historia marítima y arqueológica del área, junto con cartografía histórica obtenida en repositorios digitales y archivos como el Archivo General de Indias y la Biblioteca Nacional de Francia. También se consultaron ilustraciones navales y rutas comerciales en el Archivo General de Marina Álvaro de Bazán. Este análisis permitió prever los posibles vestigios antes del trabajo de campo.

B. PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA

La prospectiva arqueológica subacuática se orientó a identificar anomalías magnéticas y rasgos geomorfológicos para interpretar el paisaje sumergido. Se estructuró en cinco fases: diseño de bloques de rastreo, prospección geofísica y visual, verificación de anomalías, análisis del potencial arqueológico y elaboración del informe. Para ello se definieron líneas de rastreo equidistantes entre 15 y 30 m y se emplearon equipos no invasivos como ecosonda, sonar de barrido lateral, GPS, dron y ROV. Las anomalías fueron registradas, procesadas y verificadas mediante buceo, utilizando técnicas estandarizadas de relocalización, búsqueda circular y registro in situ con instrumentos métricos y de orientación.

3. RESULTADOS

La revisión documental permitió identificar referencias a varios naufragios ocurridos en Portobelo entre finales del siglo XVI y comienzos del XVII, entre ellos la pérdida del navío La Capitana en 1579, un barco hundido en 1606 y el hundimiento del San Francisco en 1617. Esta información apoyó la prospección arqueológica subacuática mediante georreferenciación y comparación con cartografía histórica.

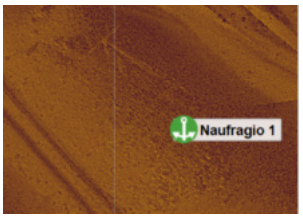
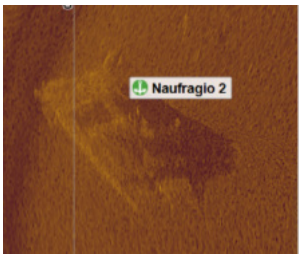
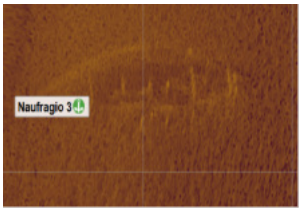
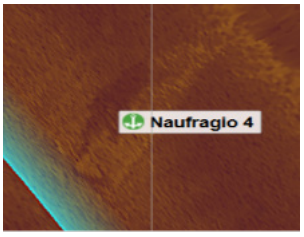
El estudio empleó una ecosonda calibrada a frecuencias de 83/200 kHz, utilizando funciones como DownScan Imaging y StructureScan para obtener imágenes de alta resolución y detectar posibles estructuras anómalas. Los datos fueron registrados digitalmente y procesados en gabinete, mientras que la localización de anomalías se integró a un sistema de información geográfica (SIG).

Las prospecciones se realizaron mediante transectos sistemáticos que abarcaron tanto sectores costeros como zonas más profundas. Entre las principales dificultades se

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

encontraron la alta sedimentación y la turbidez del agua, factores que limitaron la visibilidad y la capacidad de distinguir con precisión estructuras arqueológicas de formaciones naturales. El sonar de barrido lateral fue clave en la detección de anomalías, operado desde una embarcación mediante transectos paralelos y planificados para asegurar cobertura homogénea. Con la calibración adecuada, este equipo permitió identificar objetos modernos y posibles estructuras históricas asociadas a cascos de embarcaciones o acumulaciones materiales, aportando información relevante para el análisis arqueológico posterior.

Tabla 1. Algunos resultados de sonar de barrido lateral. Fuente: autores.

Anomalía	Método	Prof. (m)	Coord.	Características y Observaciones	Sonograma
1	Ecosonda / SSS	3.5	N009.33.412 W079.39.440	Desechos modernos de posible embarcación de metal.	
2	Ecosonda / SSS	5	N009.33.346 W079.39.438	Parte de embarcación moderna de metal con gran parte que sobresale el fondo	
3	Ecosonda / SSS	3	N009.33.377 W079.39.397	Yate velero de plástico moderno con mástil que llega casi a superficie. Se encuentra verticalmente sobre el fondo.	
4	Ecosonda / SSS	16	N009.33.436 W079.39.876	Naufragio de madera moderno carguero se encuentra enterrado en sedimento. Muy mala visibilidad.	

A consecuencia de que esta zona es de difícil acceso, con condiciones de riesgo para el buceo humano debido a las aguas contaminadas de la bahía, la visibilidad reducida y las profundidades superiores a los 25 m, se empleó el Vehículo Operado Remotamente (ROV)

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Chasing Gladius Mini S. Este dispositivo, dotado de cámara 4K UHD, luces LED y un alcance operativo de hasta 100 metros de profundidad, permitió registrar con gran detalle diversos elementos del fondo marino, al parecer embarcaciones contemporáneas. Las imágenes obtenidas han sido claves para evaluar la integridad y el contexto de estructuras sumergidas, sin comprometer la seguridad del personal técnico (Fig. 1).

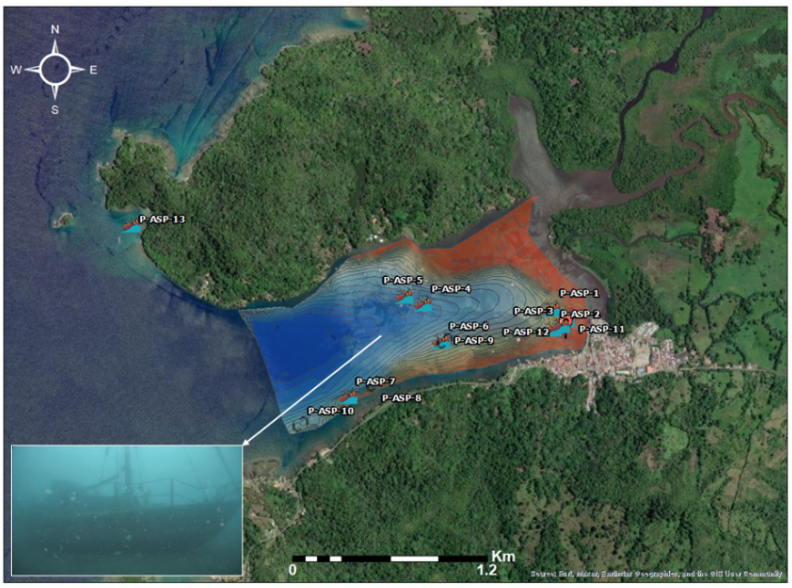


Fig. 1: registro de anomalías acústicas y documentación visual mediante ROV. Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

El Proyecto ArqueoSub Portobelo constituyó el primer estudio integral del patrimonio subacuático de la bahía, combinando investigación histórica, prospección arqueológica y divulgación. Los resultados confirman una alta concentración de naufragios asociados a la Carrera de Indias, pero también revelan dificultades para documentarlos debido al expolio, rescates antiguos, contaminación y fuerte sedimentación.

Las condiciones costeras y de navegación en Portobelo —marcadas por arrecifes, estuarios y manglares— exigían conocimientos precisos de cartas náuticas, mareas y puntos de referencia para una navegación segura. En este contexto, las técnicas geofísicas aplicadas demostraron baja eficacia, principalmente porque la intensa sedimentación del fondo marino puede ocultar restos arqueológicos no detectados, especialmente con sonar de barrido lateral.

Pese a estas limitaciones, el estudio confirma el elevado potencial arqueológico de la bahía, cuyo manejo adecuado puede favorecer tanto la investigación científica como el desarrollo cultural y turístico de la región.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] [1] X. Nieto, “Introducción a la arqueología subacuática”, Barcelona: CYMYS, 1984.
[2] [2] K. Muckelroy, “Maritime Archaeology”, Cambridge; New York, Cambridge University Press, 1978.
[3] [3] A. Castillero Calvo, “Nueva Historia General de Panamá”. vol. 1, tomo 1. Comisión del Bicentenario de la Fundación de Panamá, Alcaldía de Panamá. 2019; /E. Ibarra Rojas, “Nosotros y los otros: migraciones tardías precolombinas de Mesoamérica al sur de Centroamérica”, 1. edición, Costa Rica, 2020; L. Suira-Araúz, “La población multiétnica y pluricultural de San Felipe de Portobelo en la época hispánica” en La historia y las artes como ejes para un discurso humanista, J. Rodríguez Torres, D. Navas Carrillo, y S. López Pérez, Eds., Berlín, Alemania: Peter Lang, 2024, pp. 477-488.
[4] [4] M. Rojas-Montes et al., A Review of Development of Underwater Cultural Heritage in Central America, en Journal of Maritime Archaeology, pp. 113-150, Mayo 2024, https://doi.org/10.1007/s11457-024-09395-6
[5] [5] A. Alberda y O. Ortega, Análisis histórico de la arqueología en contextos subacuáticos en Panamá en Societas, vol. 25, N°1, pp. 180-194, 2023.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Desarrollo de un modelo hidrogeológico conceptual, utilizando hidrología isotópica y variables hidroquímicas para la cuenca del río La Villa, Panamá

Muñoz, Yaxuri
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0004-7866-7945

Salceda, Miguel
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) – Universidad Tecnológica de Panamá;
Investigador Asociado CEMCIT-AIP.
Panamá, Panamá
Miguel.salceda@utp.ac.pa

Fábrega, José
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) – Universidad Tecnológica de Panamá;
Miembro del sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá; Investigador Asociado CEMCIT-AIP.
Panamá, Panamá
Jose.fabrega@utp.ac.pa

Abstract

The La Villa River basin, located in Panama's Dry Arc region, is one of the most important and vulnerable areas in terms of water resources due to its seasonal aridity, high dependence on groundwater, and increasing pressure from human activities. However, its hydrogeological dynamics are not yet fully understood because of the lack of continuous monitoring and the limited application of integrated approaches that combine hydrogeological, isotopic, and chemical aspects.

This research aims to develop a conceptual hydrogeological model of the basin by integrating the analysis of stable isotopes ($\delta^{18}O$ and $\delta^{2}H$) with physicochemical and hydrogeochemical parameters to characterize the recharge, flow, and discharge processes of the aquifer system. The methodology includes hydrogeological characterization of the basin, groundwater sampling campaigns during the dry and wet seasons, and laboratory analyses to determine the chemical and isotopic composition of the samples.

The results will enable the construction of an integrated conceptual model representing the main hydrological processes and the interactions between groundwater and surface water. In addition, recharge and discharge zones will be visualized using geographic information system (GIS) tools, and the model is expected to be validated through numerical modelling

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

(MODFLOW). This work will contribute to strengthening the sustainable management of water resources in the region, in alignment with the National Water Security Plan and the Sustainable Development Goals.

Keywords: Conceptual model, Groundwater, isotopic hydrology, La Villa River basin, water quality.

Resumen

La cuenca del río La Villa, ubicada en el Arco Seco de Panamá, es una de las regiones más importantes y vulnerables en términos de recursos hídricos debido a su aridez estacional, alta dependencia de aguas subterráneas y creciente presión por actividades humanas. No obstante, su dinámica hidrogeológica aún no se comprende plenamente debido a la escasez de monitoreo continuo y de enfoques integrales que combinen aspectos hidrogeológicos, isotópicos y químicos.

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca, integrando el análisis de isótopos estables ($\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$) junto con parámetros fisicoquímicos e hidro-geoquímicos, para caracterizar los procesos de recarga, flujo y descarga del sistema acuífero. La metodología incluye la caracterización hidrogeológica de la cuenca, campañas de muestreo de aguas subterráneas en las temporadas seca y lluviosa, así como el análisis de laboratorio para determinar la composición química e isotópica de las muestras.

Los resultados permitirán construir un modelo conceptual integrado que representará los principales procesos hidrológicos y las interacciones entre las aguas subterráneas y superficiales. Así mismo, se visualizarán las zonas de recarga y descarga mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), y se prevé validar el modelo mediante modelación numérica (MODFLOW). Este trabajo contribuirá a fortalecer la gestión sostenible del recurso hídrico en la región, alineándose con el Plan Nacional de Seguridad Hídrica y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Palabras claves: Aguas subterráneas, hidrología isotópica, calidad del agua, cuenca del río La Villa, modelo conceptual.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas representan el 30 % del agua dulce disponible a nivel mundial [1], y son producto de la lluvia que se infiltra en el suelo, representando una garantía de abastecimiento de agua asequible y seguro para la población mundial actual y futura, puesto

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

que, es un recurso renovable que, gestionado adecuadamente, garantiza satisfacer a largo plazo demandas futuras y a mitigar los impactos del cambio climático [2]. No obstante, retos apremiantes por atender en el mundo especialmente en el a área de Centroamérica [3] tales como el aumento de la demanda y contaminación de recurso hídrico debido al crecimiento poblacional y económico de los países, y la variabilidad climática hacen apremiante que se mejore la gestión del recurso hídrico en general y de las aguas subterráneas en particular.

En Panamá, en las últimas décadas, los cambios en la variabilidad climática se han evidenciado con la creciente vulnerabilidad en los recursos hídricos, la agricultura y la energía. Uno de los cambios más notables ha sido en los patrones de precipitación, que modifican la disponibilidad del agua para diversos tipos de consumo [4].

Desde una perspectiva hidrológica, las principales variaciones en la precipitación en el país son las siguientes: disminución de la disponibilidad de agua en los acuíferos, incremento en la temperatura, especialmente en época seca, disminución del flujo de agua en ríos y arroyos, así como también un aumento en la frecuencia, intensidad y duración de los eventos de sequías en el área del Arco Seco, que comprende las provincias de Herrera, Los Santos, Coclé y la Sabana Veragüense [4]. El Arco Seco es una región que se caracteriza por el uso intensivo, pero no eficiente de las aguas subterráneas. En el período comprendido entre los años 2002 hasta el 2010, la extracción de aguas subterráneas se incrementó en un 75%, alcanzando volúmenes de extracción que oscilan por los 700,000 m3/día [5]; esto se debe principalmente a que esta zona tiene la precipitación anual más baja del país, con una precipitación máxima de 400 mm durante la temporada seca y 1600 mm en la temporada lluviosa [6]; lo que la convierte en una región con aridez estacional. En esta región se da una perforación de pozos por personas naturales. Por otro lado, los estudios hidrogeológicos basados únicamente en análisis hidráulicos no son suficientes para describir un sistema de aguas subterráneas y superficiales, ni para evaluar su sostenibilidad. Así, la integración de métodos hidro-geoquímicos e isotópicos podrían ayudar a cerrar esta brecha y proporcionar información para determinar las fuentes de recarga de agua y los tiempos de residencia para su explotación sostenible [7].

Las metodologías para calcular la recarga de aguas subterráneas suelen dividirse en enfoques de modelado físico, numérico y trazadores [8]. Los isótopos estables de hidrógeno y oxígeno son isótopos que se encuentran de manera generalizada en las aguas naturales; constituyen una técnica innovadora de trazadores utilizada en hidrología para analizar la composición y el movimiento del agua a lo largo del ciclo del agua [9]. La composición isotópica estable en el agua está influenciada por factores meteorológicos (como la temperatura, la humedad, etc.), geográficos (latitud, longitud y altitud), y en menor medida, por reacciones con materiales geológicos, lo que los hace apropiados para investigar el origen del agua subterránea [10].

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un modelo conceptual de las aguas subterráneas en la cuenca del río La Villa, utilizando análisis isotópico y

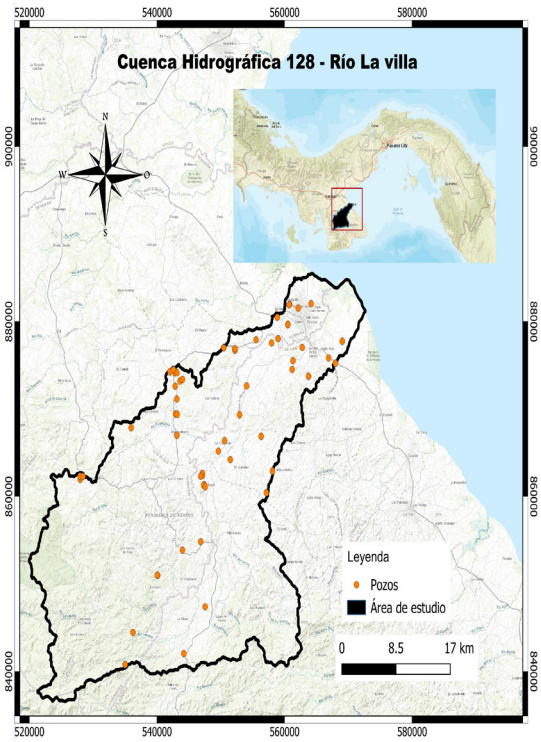
https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

parámetros de calidad del agua, para determinar los procesos de recarga, flujo y descarga.

2. METODOLOGÍA

A. Ubicación área de estudio

La cuenca hidrográfica río La Villa, 128, tiene una superficie de 1,296.64 km2, su afluente principal es el río La Villa, con una longitud de 117 km, y un caudal medio de 24.34 m3/s [11]. Se localiza en la parte central de la península de Azuero, ubicada entre las cordilleras de El Montuoso y el Canajagua principalmente, sus márgenes, cauce y potencial hidráulico se encuentran compartidos por las provincias de Herrera y Los Santos. Los nacimientos principales de este río se ubican en la cordillera de El Montuoso, aunque afluentes secundarios con singular importancia y potencial se registran hacia territorios de la provincia de Los Santos como el caso del río Estibaná [12].



B. Equipo utilizado

Durante las giras de campo se emplearon equipos especializados para la caracterización in situ Se utilizó un medidor de temperatura y conductividad eléctrica (Figura 1) para obtener perfiles en pozos, un transductor de presión (Figura 2) (Solinst Levelogger 5) para el registro continuo de niveles freáticos y temperatura, y un multiparámetro portátil (Figura 3) (Hanna

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

HI98194) para medir parámetros básicos como pH, oxígeno disuelto, conductividad y sólidos disueltos. Estos instrumentos permitirán complementar los análisis isotópicos e hidroquímicos de laboratorio, asegurando una descripción más integral de los procesos de recarga, flujo y descarga en la cuenca.

Figura 1. Medidor de temperatura y conductividad eléctrica

Figura 2. Transductor de presión

Figura 3. Multiparámetro portátil

3. RESULTADOS ESPERADOS

Entre los principales resultados que se esperan obtener de esta investigación podemos lista los siguientes:

- Un mapa detallado de las zonas de recarga y descarga de la cuenca del río La Villa, que identifique espacialmente las áreas donde ocurre la infiltración de agua meteórica hacia el sistema acuífero, así como las zonas donde el agua subterránea emerge o contribuye al flujo superficial. Este resultado constituirá una herramienta fundamental para la gestión y protección de áreas estratégicas para la sostenibilidad del recurso hídrico.
- Diferenciación de recarga reciente vs. reservas profundas de acuerdo con los criterios establecidos por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esta distinción permitirá evaluar los tiempos de residencia del agua subterránea y su grado de renovación, aportando información clave para la explotación racional de los acuíferos.
- Identificación de patrones hidrogeoquímicos que evidencien la evolución química del agua subterránea a lo largo del sistema acuífero, permitiendo reconocer procesos como mezcla de aguas, disolución mineral, intercambio iónico y posibles influencias antrópicas. Estos patrones contribuirán a una mejor comprensión de la dinámica hidrogeológica de la cuenca.
- Desarrollo de un modelo hidrogeológico conceptual, el cual representará de manera esquemática y funcional los principales procesos de recarga, flujo y descarga, así como las interacciones entre las aguas subterráneas y superficiales. Este modelo constituirá una base técnica para fortalecer la planificación, la gestión sostenible del recurso hídrico y la toma de decisiones a nivel regional.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

4. PROYECCIONES FUTURAS

Como fase posterior al desarrollo del modelo conceptual, se contempla la validación y análisis numérico del sistema acuífero mediante el uso de modelos como MODFLOW, integrando información hidrodinámica y geoquímica, así como la aplicación de SWAT+ para el análisis hidrológico superficial y la estimación de recarga a escala de cuenca. Esta integración permitirá evaluar distintos escenarios de uso y gestión del agua bajo condiciones climáticas actuales y futuras.

Recopilar y comparar metodologías aplicadas en otras cuencas con aridez estacional en Panamá, con el fin de establecer similitudes, diferencias y lecciones aprendidas que puedan fortalecer el enfoque metodológico y facilitar su replicabilidad en regiones con características hidroclimáticas similares.

Los resultados obtenidos serán difundidos a través de artículos científicos, presentaciones en congresos nacionales e internacionales y talleres dirigidos a comunidades locales y actores clave, promoviendo la transferencia de conocimiento y el fortalecimiento de capacidades para la gestión integrada de los recursos hídricos.

5. CONCLUSIONES PRELIMINARES

La integración de la hidrología isotópica e hidrogeoquímica constituye una herramienta robusta que permite una caracterización más precisa y confiable de los sistemas acuíferos, superando las limitaciones de los enfoques tradicionales basados únicamente en análisis hidráulicos.

Esta investigación representará un aporte significativo para la seguridad hídrica del Arco Seco de Panamá, una región altamente vulnerable a la variabilidad climática y donde la presión sobre los recursos de aguas subterráneas continúa en aumento debido a la demanda agrícola, doméstica y productiva.

El estudio se encuentra alineado al Plan Nacional de Seguridad Hídrica y contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en particular el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y el ODS 13 (Acción por el clima), fortaleciendo la base científica necesaria para una gestión sostenible y resiliente del recurso hídrico.

Referencias

[1] comité de alto nivel de seguridad hídrica. (2016). Plan nacional de seguridad hídrica: agua para todos. Panamá: isbn: 978-9962-5581-0-1.

[2] autoridad nacional del ambiente. (2013). Las aguas subterráneas de la región del arco seco y la importancia de su conservación. Panamá: anam.

[3] global water partnership. (2022). Plan de acción para la gestión integrada de los recursos hídricos (pagirh) de panamá (2022 – 2026). Panamá: miambiente.

[4] ministerio de ambiente. (2022). Plan de acción para la gestión integrada de los recursos hídricos

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

(pagirh) de panamá (2022 – 2026). Panamá: gwp.
[5] castrellón, m. (2016). Hydrogeological conceptual model of la villa river watershed, republic of panama. Honors scholar theses, 545.
[6] castrellón, m., muñoz, m., guerra, g., leiva, j., foglia, l., & fábrega, j. (2021, junio 29). Las aguas subterráneas en el arco seco de panamá: un tesoro por explorar. Apanac, 113-119 https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3180
[7] ettayfi, n., bouchaou, l., michelot, j. L., tagma, t., warner, n., boutaleb, s., . . . Vengosh, a. (2012). Geochemical and isotopic (oxygen, hydrogen, carbon, strontium) constraints for the origin, salinity, and residence time of groundwater from a carbonate aquifer in the western anti-atlas mountains, morocco. Jounal of hydrology - elsevier, 97-111 https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.003.
[8] scanlon, B, healy, r., & cook, p. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology journal vol10, 18-39.
[9] liu, y., yamanaka, t., zhou, x., tian, f., & ma, w. (2014). Combined use of tracer approach and numerical simulation to estimate groundwater recharge in an alluvial aquifer system: a case study of nasunogahara area, central japan. Journal of hydrology, 833-847.
[10] clark, i., & fritz, p. (1997). Environmental isotopes in hydrogeology. Crc press: taylor & francis group https://doi.org/10.1201/9781482242911.
[11] cathalac. (2016). Ministerio de ambiente. Obtenido de ministerio de ambiente: http://cuencas.cathalac.int/cuencas/cuencas-prioritarias/rio-la-villa
[12] tierragrande. (21 de abril de 2011). Tierragrande. Obtenido de tierragrande: https://www.tierragrande.co/2011/04/la-cuenca-del-rio-la-villa/

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

La Bioinspiración como Camino hacia la Innovación Tecnológica

Peters, Carlos
Research Group in Design, Manufacturing and Materials (DM + M), School of Mechanical Engineering, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
carlos.peters@utp.ac.pa

Ortega, Maria De Los Ángeles
Research Group in Design, Manufacturing and Materials (DM + M), School of Mechanical Engineering, Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
maria.ortega@utp.ac.pa

Abstract

Bioinspiration has become a relevant approach for technological development by translating principles observed in living organisms into actionable engineering design criteria. This work presents a structured qualitative mini-review that compiles representative biological models and organizes them into transferable functions and application domains in robotics, mechanics, and adaptive technologies. The methodology consists of classifying each biological model according to the functional principle it exemplifies, including locomotion, adhesion, sensing, material properties, structural optimization, and energy-related mechanisms, and mapping these functions to technological domains where their contribution can be assessed. The synthesis highlights four integrative outcomes. First, multiscale hierarchy emerges as a unifying principle, as gecko-inspired adhesion, nacre-like architectures, and Bouligand-type structures converge in hierarchical designs that redistribute stresses and control damage pathways. Second, passive actuation oriented toward efficiency is supported by plant hygromorphy and related biobased strategies, enabling low-complexity adaptability with scaling potential in built environments. Third, mechanical energy is consolidated as a functional resource, as recent soft materials demonstrate low-dissipative energy storage and release that align with resilience principles and the needs of robotics and impact mitigation. Finally, the review underscores the importance of documenting bioinspired design as a traceable translation chain from biology to engineering with comparable performance criteria, particularly when sustainability claims are advanced.

Keywords: bioinspiration, biomimicry, bibliometric analysis, engineering design, biological models.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Resumen

La bioinspiración se ha consolidado como un enfoque para traducir principios observados en organismos vivos en criterios de diseño aplicables a ingeniería. Este trabajo presenta una revisión cualitativa estructurada que recopila y organiza modelos biológicos y los vincula con funciones transferibles y dominios de aplicación en robótica, materiales y tecnologías adaptativas. La metodología consistió en clasificar los modelos según el principio funcional que inspiran, incluyendo locomoción, adhesión, detección, propiedades materiales, optimización estructural y mecanismos asociados a la energía, y mapear estas funciones hacia aplicaciones donde su contribución pueda evaluarse. La síntesis evidencia recurrencia de cuatro patrones integradores: jerarquía multiescala como principio unificador en adhesión y materiales estructurales, actuación pasiva orientada a eficiencia en sistemas vegetales higromórficos, uso de energía mecánica como recurso funcional en almacenamiento y liberación de baja disipación, y la necesidad de documentar la traducción biología–ingeniería como una cadena verificable con criterios comparables, especialmente cuando se argumentan beneficios de sostenibilidad.

Palabras clave: bioinspiración, biomimética, análisis bibliométrico, diseño ingenieril, modelos biológicos.

1. INTRODUCCIÓN

La bioinspiración se ha posicionado como una estrategia central en la ingeniería moderna, al permitir que principios funcionales observados en organismos vivos sirvan de base conceptual para el desarrollo de tecnologías innovadoras [1]. A diferencia de los enfoques tradicionales de diseño, este campo se nutre de soluciones naturales optimizadas, fruto de millones de años de evolución. Los enfoques desarrollados en este campo actualmente permiten abordar desafíos como la locomoción, la adhesión, la resistencia estructural y la sensorización mediante estrategias probadas en la naturaleza [2]. Marcos recientes abordan explícitamente la relación entre el biodiseño y la sostenibilidad, señalando que la promesa de “diseños más sostenibles” no es automática y depende de cómo se definan los criterios, las métricas y los límites del sistema de evaluación. En ese contexto, se proponen guías metodológicas para traducir la biología al diseño con mayor rigor y reproducibilidad, que incluyen herramientas para la enseñanza y la práctica profesional [3], [4]. La revisión realizada reúne una amplia diversidad de organismos (insectos, reptiles, peces, plantas, moluscos, medusas y estructuras internas) utilizados como referencia para resolver problemas ingenieriles desde perspectivas adaptativas y eficientes. Estas fuentes biológicas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

han impulsado avances en campos como la robótica suave, la manipulación bioinspirada y la locomoción adaptable [2],[5].

2. MÉTODOLOGÍA

La metodología consistió en una revisión cualitativa estructurada de modelos biológicos aplicados a tecnologías emergentes. Los organismos y estructuras se clasificaron según su principio funcional y se agruparon en categorías como locomoción, adhesión, detección, propiedades materiales, optimización estructural y mecanismos asociados a la energía [6],[7]. A partir de esta organización se identificaron patrones recurrentes, incluyendo geometrías naturales, estrategias de movimiento y materiales bioinspirados, y se sintetizó su transferencia a aplicaciones como robots suaves, sistemas de agarre y dispositivos de inspección [8].

La búsqueda se guió por la pregunta: ¿De qué manera los sistemas biológicos ofrecen principios funcionales aplicables al diseño y la ingeniería? La evidencia se estructuró con una lógica “reto-función-mecanismo-métrica” para mapear funciones a dominios de aplicación con criterios de evaluación verificables, en línea con enfoques metodológicos recientes [3], [4].

3. RESULTADOS

3.1 Sistemas biológicos aprovechados y su valor como repositorio de estrategias

La inspiración biológica se organizó en seis familias recurrentes: insectos, reptiles, peces, vegetales, gusanos y humanos. Esta clasificación separa la fuente biológica del objetivo tecnológico y permite seleccionar modelos según la función y las condiciones de operación, en línea con marcos de biodiseño orientados al desempeño medible y la sostenibilidad.

3.2 Adhesión y fricción como función transferible

La adhesión destaca en la literatura por las estrategias optimizadas presentes en los sistemas biológicos. El gecko es un caso paradigmático, ya que su arquitectura jerárquica de micro y nanoestructuras permite una adhesión reversible y controlable en diversas superficies, habilitando aplicaciones como agarre robótico, fijación temporal y superficies funcionales, con avances orientados a control del estado adhesivo, mayor durabilidad cíclica y multifuncionalidad [9], [10]. En ambientes húmedos o sumergidos, el reto es mantener la cohesión interfacial pese a la presencia de capas de agua, sales, flujo y degradación; estudios recientes resaltan mecanismos moleculares y estrategias basadas en química funcional, coacervación y coordinación metálica, además de revisiones que sistematizan múltiples sistemas adhesivos bioinspirados y amplían el panorama de mecanismos y diseños. En

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

conjunto, estos hallazgos indican que el biodiseño aporta tanto geometrías como rutas químicas e interfaciales para desarrollar adhesivos robustos [11], [12].

3.3 Geometría como base funcional y arquitectura jerárquica de materiales

El biodiseño estructural muestra que gran parte del desempeño proviene de la arquitectura interna y la jerarquía multiescala, más que del material base. Revisiones recientes sobre estructuras tipo “ladrillo y mortero”, inspiradas en el nácar, describen mecanismos como la deflexión de grietas y el deslizamiento interfacial para mejorar el equilibrio entre rigidez, resistencia y tenacidad en composites [13], [14]. Asimismo, las estructuras Bouligand, con arquitecturas helicoidales, se destacan por su relación estructura–propiedad y por las oportunidades de manufactura que las hacen relevantes para el diseño de estructuras y sistemas de amortiguación [15], [16]. En este contexto, la manufactura aditiva se consolida como habilitadora para implementar geometrías jerárquicas y lattices con desempeño programable; revisiones recientes subrayan el impacto de los defectos de fabricación, la necesidad de modelos computacionales robustos y el potencial de integrar monitoreo en tiempo real [17], [18].

3.4 Actuación higroscópica y adaptabilidad inspirada en vegetales

La inspiración vegetal se asocia con “actuación pasiva”, en la que la geometría y la anisotropía del material producen movimiento o cambio de forma en respuesta a estímulos ambientales, lo que reduce la dependencia de actuadores electromecánicos. En los últimos años, se ha reforzado el vínculo entre la higromorfía bioinspirada y sus aplicaciones en la arquitectura. Cheng et al. presentaron un caso que demuestra un sombreado adaptativo basado en biláminas higromórficas biobasadas, con orientación a la escalabilidad arquitectónica [19]. Otros trabajos discuten cómo la higroscopicidad y los materiales con cambio de forma pueden reemplazar actuadores mecánicos en fachadas adaptativas, con un consumo energético nulo durante su actuación [20]. La literatura muestra indicios de que el biodiseño vegetal es especialmente útil cuando se requiere adaptación con mínima complejidad, pero exige reportar ventanas de operación, histéresis, tiempos de respuesta y de envejecimiento del material.

3.5 Almacenamiento y liberación de energía inspirada en insectos

El almacenamiento y la liberación rápida de energía son funciones centrales en insectos, asociadas a locomoción eficiente y absorción de impactos. En ingeniería, este principio se ha aplicado a materiales y sistemas blandos que buscan almacenar energía mecánica con baja disipación. Savolainen et al. demuestran hidrogeles con almacenamiento y liberación

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

mecánicos altamente reversibles, inspirados en principios biológicos de resiliencia [21]. Estas estrategias sugieren criterios de diseño orientados a maximizar la energía almacenada, controlar la liberación y asegurar la estabilidad a lo largo de los ciclos, con aplicaciones directas en robótica blanda, amortiguación y, potencialmente, verificación cuando el sistema integra estados detectables o autorreportados.

3.6 Locomoción y coordinación inspirada en peces e insectos

Se han desarrollado sistemas robóticos de tipo anfibio, inspirados en peces, capaces de transitar entre medios y coordinar sus mecanismos propulsivos para mejorar el desempeño. Lin et al. presentan un robot inspirado en el mudskipper que integra la locomoción acuática y terrestre mediante la coordinación de las aletas [22]. Otro ejemplo es en sistemas colectivos, como por ejemplo, Duan et al, quienes discuten cómo reglas locales simples producen comportamientos globales robustos y adaptativos, y señalan retos críticos para despliegue real, como comunicación intermitente, ruido y métricas estandarizadas de desempeño [23].

S3.7 ensorización y verificación como extensión natural del biodiseño

La sensoración bioinspirada enfatiza el transductor y la forma de acoplarse al entorno mediante estructuras y propiedades de deformabilidad que filtran, amplifican o direccionan estímulos mecánicos antes de la etapa de adquisición electrónica. En la literatura reciente se observa una convergencia hacia sensores que emulan receptores biológicos y hacia sistemas que integran el sensado con la adaptación. Ejemplos recientes incluyen dispositivos y revisiones sobre sensores bioinspirados en robótica inteligente, así como desarrollos inspirados en vibrisas y antenas que amplían robustez mecánica y direccionalidad. Además, existe un impulso contemporáneo hacia sensores con adaptación sensorial inspirada biológicamente, lo que fortalece el dominio de la verificación como parte del diseño, no solo como etapa final de ensayo [24], [25], [26].

3.8 Síntesis de la literatura y oportunidades

De la evidencia reciente y del marco funcional propuesto se desprenden cuatro resultados integradores. En primer lugar, la jerarquía multiescala emerge como principio unificador, ya que la adhesión tipo gecko, las arquitecturas inspiradas en el nácar y las estructuras Bouligand convergen en configuraciones jerárquicas que redistribuyen esfuerzos y controlan rutas de daño. En segundo lugar, la actuación pasiva orientada a la eficiencia se consolida mediante la higromorfía vegetal y sus equivalentes biobasados, que habilitan adaptabilidad de baja complejidad y con potencial de escalamiento en entornos construidos. En tercer

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

lugar, la energía mecánica como recurso funcional se evidencia en materiales recientes que logran almacenamiento y liberación con baja disipación, alineándose con principios biológicos de resiliencia y con requerimientos de robótica y amortiguación. Finalmente, se observa un desplazamiento de la inspiración hacia una metodología verificable, donde marcos contemporáneos enfatizan documentar la traducción biología–ingeniería como una cadena trazable, con métricas y validación comparables, especialmente cuando se argumentan beneficios de sostenibilidad.

4. CONCLUSIONES

El biodiseño ofrece una base sólida para desarrollar soluciones tecnológicas adaptativas cuando se estructura mediante un marco funcional que conecta el sistema biológico, la función transferible y el dominio de aplicación. La evidencia reciente respalda la idea de que las contribuciones más robustas se concentran en adhesión y fricción, arquitectura jerárquica de estructuras, actuación higroscópica, almacenamiento y liberación de energía, coordinación colectiva y sensorización bioinspirada.

Referencias

[1] M. D. L. A. Ortega Del Rosario, C. Castaño, and M. Chen Austin, "Biodesign as a Tool to Achieve Sustainable Construction Through Additive Manufacturing," in *Biomimetics, Biodesign and Bionics: Technological Advances Toward Sustainable Development*, A. J. V. Arruda and F. L. Palombini, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 251–282. doi: 10.1007/978-3-031-51311-4_10.

[2] D. Li *et al.*, "Bioinspired Ultrathin Piecewise Controllable Soft Robots," *Adv Materials Technologies*, vol. 6, no. 5, p. 2001095, May 2021, doi: 10.1002/admt.202001095.

[3] L. Ilieva *et al.*, "Biomimicry as a Sustainable Design Methodology—Introducing the 'Biomimicry for Sustainability' Framework," *Biomimetics*, vol. 7, no. 2, Mar. 2022, doi: 10.3390/biomimetics7020037.

[4] B. Linder, J. Huang, B. Linder, and J. Huang, "A Design Process Framework and Tools for Teaching and Practicing Biomimicry," *Biomimetics*, vol. 10, no. 6, June 2025, doi: 10.3390/biomimetics10060376.

[5] R. An *et al.*, "Fabrication of bifocal curved compound eyes for large-DOF and wide-FOV imaging via femtosecond laser 3D printing," *Optics Communications*, vol. 585, p. 131864, July 2025, doi: 10.1016/j.optcom.2025.131864.

[6] H. Lu *et al.*, "Liquid Metal Chameleon Tongues: Modulating Surface Tension and Phase Transition to Enable Bioinspired Soft Actuators," *Advanced Intelligent Systems*, vol. 6, no. 10, p. 2400231, Oct. 2024, doi: 10.1002/aisy.202400231.

[7] Y. Zhou, J. Zhao, P. Lu, Z. Wang, and B. He, "TacSuit: A Wearable Large-Area, Bioinspired Multimodal Tactile Skin for Collaborative Robots," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 71, no. 2, pp. 1708–1717, Feb. 2024, doi: 10.1109/TIE.2023.3253921.

[8] X. Huang *et al.*, "4D Printing Hybrid Soft Robots Enabled by Shape-Transformable Liquid Metal Nanoparticles," *Advanced Materials*, vol. 36, no. 46, p. 2409789, Nov. 2024, doi: 10.1002/adma.202409789.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[9] W. Wang, Y. Liu, and Z. Xie, "Gecko-Like Dry Adhesive Surfaces and Their Applications: A Review," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 18, pp. 1–34, Oct. 2021, doi: 10.1007/s42235-021-00088-7.
[10] Y. Liu *et al.*, "Gecko-Inspired Controllable Adhesive: Structure, Fabrication, and Application," *Biomimetics*, vol. 9, no. 3, Feb. 2024, doi: 10.3390/biomimetics9030149.
[11] J. Chen and H. Zeng, "Designing Bio-Inspired Wet Adhesives through Tunable Molecular Interactions," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 645, pp. 591–606, Sept. 2023, doi: 10.1016/j.jcis.2023.04.150.
[12] J. Liu *et al.*, "An Overview on the Adhesion Mechanisms of Typical Aquatic Organisms and the Applications of Biomimetic Adhesives in Aquatic Environments," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 25, no. 14, July 2024, doi: 10.3390/ijms25147994.
[13] D. Madhav, B. Buffel, P. Moldenaers, F. Desplentere, and V. Vandeginste, "A review of nacre-inspired materials: Chemistry, strengthening-deformation mechanism, synthesis, and applications," *Progress in Materials Science*, vol. 139, p. 101168, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.pmatsci.2023.101168.
[14] K. Ko, S. Lee, Y. K. Hwang, S. Jin, and J.-W. Hong, "Investigation on the impact resistance of 3D printed nacre-like composites," *Thin-Walled Structures*, vol. 177, p. 109392, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.tws.2022.109392.
[15] J. Liu, S. Li, K. Fox, and P. Tran, "3D concrete printing of bioinspired Bouligand structure: A study on impact resistance," *Additive Manufacturing*, vol. 50, p. 102544, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.addma.2021.102544.
[16] S.-M. Chen, S.-M. Wen, S.-C. Zhang, C.-X. Wang, and S.-H. Yu, "Biological and bioinspired Bouligand structural materials: Recent advances and perspectives," *Matter*, vol. 7, no. 2, pp. 378–407, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.matt.2023.11.013.
[17] W. Haipeng *et al.*, "A review of recent research on bionic structural characteristics and performance mechanisms of biomimetic materials," *Composites Part B: Engineering*, vol. 304, p. 112681, Sept. 2025, doi: 10.1016/j.compositesb.2025.112681.
[18] V. Tuninetti *et al.*, "Biomimetic Lattice Structures Design and Manufacturing for High Stress, Deformation, and Energy Absorption Performance," *Biomimetics*, vol. 10, no. 7, July 2025, doi: 10.3390/biomimetics10070458.
[19] T. Cheng *et al.*, "Weather-responsive adaptive shading through biobased and bioinspired hygromorphic 4D-printing," *Nat Commun*, vol. 15, no. 1, p. 10366, Nov. 2024, doi: 10.1038/s41467-024-54808-8.
[20] R. El-Dabaa and S. Abdelmohsen, "Hygroscopy and adaptive architectural façades: an overview," *Wood Sci Technol*, vol. 57, no. 3, pp. 557–582, May 2023, doi: 10.1007/s00226-023-01464-8.
[21] H. Savolainen, N. Hosseiniyan, M. Piedrahita-Bello, and O. Ikkala, "Bioinspired nondissipative mechanical energy storage and release in hydrogels via hierarchical sequentially swollen stretched chains," *Nat Commun*, vol. 16, no. 1, p. 4544, May 2025, doi: 10.1038/s41467-025-59743-w.
[22] Z. Lin *et al.*, "Mudskipper-inspired amphibious robotic fish enhances locomotion performance by pectoral-caudal fins coordination," *Cell Reports Physical Science*, vol. 4, no. 10, p. 101589, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.xcrp.2023.101589.
[23] H. Duan, M. Huo, and Y. Fan, "From animal collective behaviors to swarm robotic cooperation," *Natl Sci Rev*, vol. 10, no. 5, p. nwad040, May 2023, doi: 10.1093/nsr/nwad040.
[24] Y. Zhou *et al.*, "Bioinspired sensors and applications in intelligent robots: a review," *Robotic Intelligence and Automation*, vol. 44, no. 2, pp. 215–228, Apr. 2024, doi: 10.1108/RIA-07-2023-0088.
[25] H. Ren *et al.*, "A robust and omnidirectional-sensitive electronic antenna for tactile-induced

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

perception," *Nat Commun*, vol. 16, p. 3135, Apr. 2025, doi: 10.1038/s41467-025-58403-3.
[26] G. Gong *et al.*, "Bioinspired Adaptive Sensors: A Review on Current Developments in Theory and Application," *Advanced Materials*, vol. n/a, no. n/a, p. 2505420, 2025, doi: 10.1002/adma.202505420.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.*

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

XX Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología
APANAC 2025
40 años de ciencias y tecnología

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Red de Tiempo y Frecuencia del SIM: Aplicación de la Diplomacia Científica en la Metrología y su Resultado en Panamá

Solís Betancur, Raúl Fernando
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID 0000-0003-1043-4294

Abstract

Since the founding of modern metrology on May 20, 1875, with the signing of the Treaty of the Metre, the developing an International System of Units that standardized units, their use, and even the methodology for comparing them has only been possible through a great diplomatic effort, and therefore the use of Scientific Diplomacy has made this possible. In Panama, the work carried out through Scientific Diplomacy, through the SIM Time and Frequency Network, helped to rapidly advance the Time and Frequency Metrology through an open flow of information, constant cooperation, and participation in regional projects. This resulted in an increase in our technical capabilities, an improvement in the laboratory and county reputation, and the inclusion in projects of international impact, concluding with the positioning of Time and Frequency Metrology within CENAMEP AIP as a reference in Central America and the Caribbean.

Keywords: Metrology, time, science diplomacy, comparisons, GPS.

Resumen

Desde la fundación de la metrología moderna el 20 de mayo de 1875 con la Firma del Tratado del Metro, desarrollando un Sistema Internacional de Unidades que normalizó tanto las unidades, como su empleo y hasta la metodología de compararse, solo fue posible mediante un gran esfuerzo diplomático y por ello el empleo de una Diplomacia Científica que lo ha permitido. En Panamá, el trabajo realizado por medio de la Diplomacia Científica, a través de la Red de Tiempo y Frecuencia del SIM ayudó a avanzar rápidamente la Metrología de Tiempo y Frecuencia mediante el flujo abierto de información, cooperación constante y la participación en proyectos a nivel regional. Esto trajo como resultado un incremento en nuestras capacidades técnicas, mejora en la reputación del laboratorio y el país, y la inclusión en proyectos de impacto internacional, concluyendo en el posicionamiento

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de la Metrología de Tiempo y Frecuencia en el CENAMEP AIP como una referente en Centroamérica y el Caribe.

Palabras claves: Metrología, tiempo, diplomacia científica, comparaciones, GPS.

1. INTRODUCCIÓN

La metrología moderna nace del Tratado del Metro, buscando normalizar las capacidad técnicas y científicas con respecto a las mediciones y la expresión de los resultados, ya que un mundo conectado debería comunicarse empleando el mismo lenguaje técnico (especificaciones de tamaños de rieles, tuercas y hasta unidades para describir velocidades y distancias): “Medidas para todos los tiempos, todas las personas”. En 1976, a manos del Prof. Anselmo Araolaza, se establece la metrología en Panamá bajo el proyecto de la ONUDI “Long Term Metrification” [1]. En el año 2002 surge la Metrología de Tiempo y Frecuencia (MTF) en el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP), cuando se adquirieron los primeros dos Relojes Atómicos de Cesio 133, bajo la iniciativa de la SENACYT para impulsar la Ciencia y la Tecnología (CyT).

Al firmar Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) en 2003 (como se muestra en la Figura 1), se reconoce al CENAMEP como el Instituto Nacional de Metrología (INM) de Panamá y miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM), un Organismo Regional de Metrología (ORM). Con la incorporación a la realización del Tiempo Universal Coordinado (UTC) mediante el UTC(CNMP), se busca establecer lazos para el desarrollo de la MTF en Panamá, con el objetivo de que las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) desarrolladas sean reconocidas. Como parte de esas ayudas, el Departamento de Tiempo del BIPM envía un receptor GPS, sin costos adicionales al del proceso de transporte, para realizar la calibración de nuestro receptor GPS empleado para comparar el UTC(CNMP) con el resto del mundo.

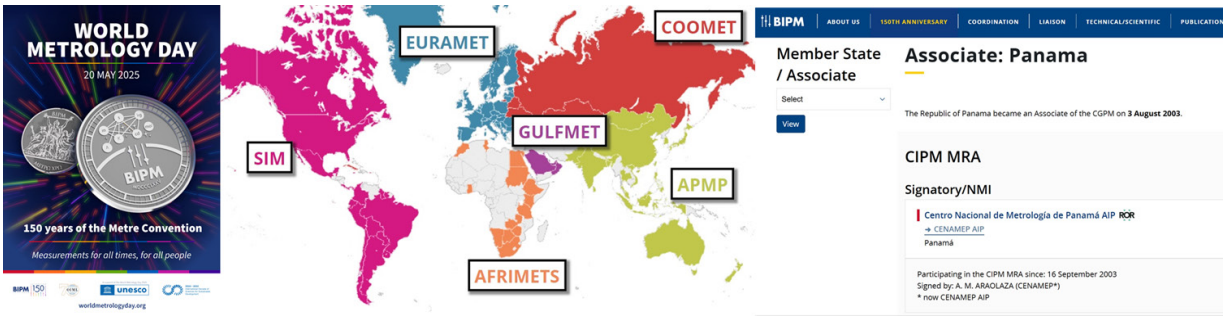


Figura 1. El desarrollo de la metrología moderna ha sido en base a la diplomacia. Desde la Firma del Tratado Diplomático del Metro el 20 de mayo de 1875 (reconocido por la UNESCO como el día de la Metrología), hasta la forma en cómo se organizan los ORM, responden principalmente a elementos diplomáticos (política, cultura, economía e integración).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En el año 2005, se crea la Red de Tiempo y Frecuencia del SIM [2] o SIMTN, con la cual se buscó potenciar la coordinación y consolidación de las realizaciones de UTC en las zonas del Norte, Centro, el Caribe y el Sur del SIM, debido a la alta desigualdad que estaba teniendo el desarrollo de la MTF. En diciembre de 2005, el CENAMEP recibe un receptor GPS especializado para el proyecto de parte del NIST (INM de EE. UU.) y se consolida como el 4to participante en este proyecto. Esto fue planificado por parte del Dr. J. Mauricio López Romero del CENAM (México) siendo Chair del Grupo de Trabajo de Metrología de Tiempo y Frecuencia (GTMTF) debido a: 1) la participación del Panamá en el UTC y, 2) la posición geográfica que permite ver todos los satélites GPS en ambos hemisferios. Estos dos elementos permitían emplear a Panamá como un pivote para comparar los INM en el hemisferio norte y hemisferio sur del SIM en "tiempo real" [3], ayudando a que el proyecto siguiera creciendo e incluyendo más INM de América [4]. Como parte de participar en el proyecto, se accedió a expertos dispuestos a apoyar en lo necesario para el éxito de la SIMTN, comenzando un proceso de transferencia de conocimiento técnico y de acercamiento a los tomadores de decisiones para sensibilizarlos sobre la importancia de la MTF en los INM. Esto ayudó al posicionamiento de Panamá como un país de referencia en la región de Centroamérica y el Caribe en términos de MTF.

2. MÉTODO

A. Enfoque del Grupo de Trabajo en Metrología de Tiempo y Frecuencia

El grupo tuvo como enfoque trabajar siempre en tres puntos: Comunicación entre Pares, Trabajo en el Liderazgo y la Sensibilización de la Dirección. El trabajo en el punto de la Comunicación entre Pares fue: el tener siempre una comunicación directa con el personal de los INM, manteniendo un flujo libre y de amplio acceso a toda información técnica y documentación posible para que la comunidad así pueda mejorar sus capacidades, apoyo constante al trabajo en equipo impulsando la colaboración en proyectos regionales y la participación en talleres, entrenamientos y visitas a INM más avanzados. Con esto se busca mitigar los efectos de la alta rotación de los metrólogos (en los INM del SIM la rotación es muy elevada y en los objetivos directivos no está el gestionar el conocimiento adquirido).
El trabajo en el punto de Trabajo en el Liderazgo: se buscó el potenciar nuevos líderes en la región y no enfocar el liderazgo solo en los grandes INM, sino que el liderazgo cambie de acuerdo con las necesidades de la comunidad. Y con respecto al trabajo en el punto de Sensibilización de la Dirección fue: cada vez que se diera la oportunidad, los miembros siempre buscarían tener divulgación constante con directores y otras partes interesadas de los INM y ecosistemas institucionales que los soportan, sobre la importancia de la MTF para visualizar el INM, mejorar la calidad de la producción del país y abrir paso al desarrollo de CyT avanzada.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

B. Fortalecer la presencia del SIM frente a otras ORM

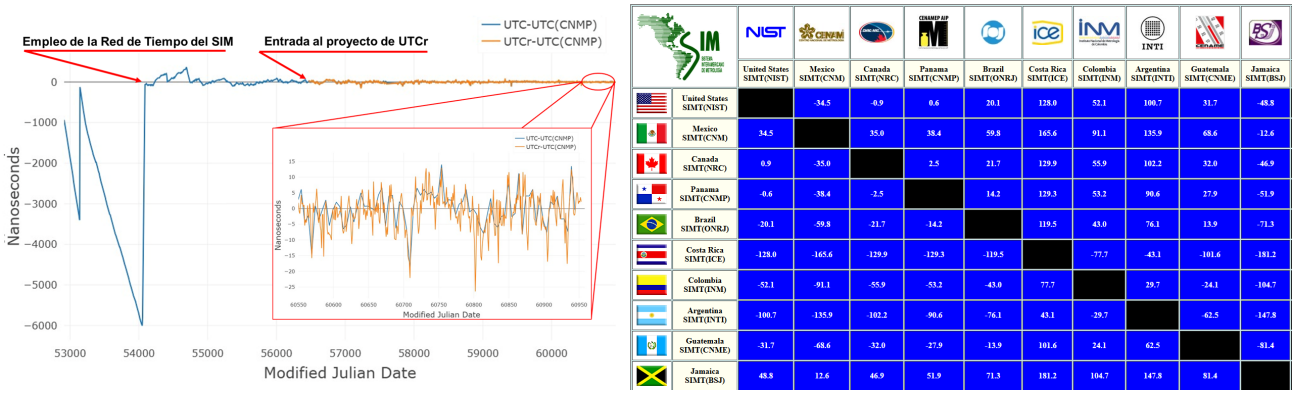
Como parte del fortalecimiento de la presencia del SIM en términos de MTF, se creó la página del GTMTF teniendo como objetivo de ser un portal de libre acceso a las actividades del grupo (https://tf.nist.gov/sim/), con el objetivo que el mundo viera las comparaciones, mostrando el trabajo del mantenimiento de los patrones de cada INM participante. Además, se muestran los encuentros realizados, junto con los participantes y las presentaciones realizadas para que se pueda acceder y darle transparencia al uso de los fondos otorgados por el SIM y los INM. Además, se busca ser un escaparate de las publicaciones realizadas para visibilizar el trabajo de los INM y que pueda usarse libremente ese conocimiento por nuestros habitantes de la región SIM.

3. RESULTADOS

A. Mejoras en las Capacidades Técnicas y Científicas

Con apoyo irrestricto, comunicaciones fluidas y la realización de estadías en otros INM más experimentado, se logró un gran avance en las capacidades técnicas en MTF del CENAMEP. Solo pasaron 3 años desde que nos incorporáramos a la realización del UTC hasta que en 2006 logramos publicar las primeras CMC en MTF (que, además, fueron las primeras declaradas en el SIM en MTF). En 2011, nuevamente logramos publicar nuevas CMC, pasando de incertidumbres en frecuencia iniciales de 1.8E-8 Hz/Hz a incertidumbres de 6E-13 Hz/Hz (una mejora de 5 órdenes de magnitud), información de acceso libre a través de la Key Comparison Data Base (KCDB). Mientras que, en 2013, se establece el primer servicio controlado de diseminación del UTC mediante NTP en la región Centroamericana y del Caribe [5]. En términos de mantenimiento del UTC(CNMP), con la participación en proyectos como el SIMT y el UTCr (una versión rápida del UTC, en respuesta al SIMTN) se lograron mejoras [6] a un nivel comparable con otros INM de más experiencia. En la Figura 2, se muestra la mejora que ha tenido el UTC(CNNMP) desde su inicio, incorporación al SIMTN y demás proyectos desarrollados.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/



	United States SIMT(NIST)	Mexico SIMT(CNM)	Canada SIMT(NRC)	Panama SIMT(CNMP)	Brazil SIMT(ONRJ)	Costa Rica SIMT(ICE)	Colombia SIMT(INM)	Argentina SIMT(INTI)	Guatemala SIMT(CNME)	Jamaica SIMT(BSJ)
United States SIMT(NIST)		-34.5	-0.9	0.6	20.1	128.0	52.1	100.7	31.7	-48.8
Mexico SIMT(CNM)	34.5		35.0	38.4	59.8	165.6	91.1	135.9	68.6	-12.6
Canada SIMT(NRC)	0.9	-35.0		2.5	21.7	129.9	55.9	102.2	32.0	-46.9
Panama SIMT(CNMP)	-0.6	-38.4	-2.5		14.2	129.3	53.2	90.6	27.9	-51.9
Brazil SIMT(ONRJ)	-20.1	-59.8	-21.7	-14.2		119.5	43.0	76.1	13.9	-71.3
Costa Rica SIMT(ICE)	-128.0	-165.6	-129.9	-129.3	-119.5		-77.7	-43.1	-101.6	-181.2
Colombia SIMT(INM)	-52.1	-91.1	-55.9	-53.2	-43.0	77.7		29.7	-24.1	-104.7
Argentina SIMT(INTI)	-100.7	-135.9	-102.2	-90.6	-76.1	43.1	-29.7		-62.5	-147.8
Guatemala SIMT(CNME)	-31.7	-68.6	-32.0	-27.9	-13.9	101.6	24.1	62.5		-81.4
Jamaica SIMT(BSJ)	48.8	12.6	46.9	51.9	71.3	181.2	104.7	147.8	81.4	

Figura 2. La mejora ha sido notable desde que se incluyó al CENAMEP en el SIMTN y la participación en el UTCr, y como esto ha ayudado en el proceso de predicción, ajuste y seguimiento del UTC(CNMP).

B. Mejora en la reputación del laboratorio

La mejora de las capacidades técnicas y la participación en proyectos regionales mejoró la reputación del CENAMEP, ya que se pasó de ser un INM principiante y seguidor de las tendencias, a ser uno generador de conocimiento y tomador de decisiones de impacto global, transformándose en una referencia técnica en mantenimiento de Patrones Atómicos de Tiempo y Frecuencia y la creación e implementación de soluciones y servicios industriales. En 2012, se incluye formalmente un representante del CENAMEP en el Comité Consultativo de Tiempo y Frecuencia (CCTF) en Tiempo Atómico Internacional (TAI), cuando se estableció el proyecto piloto del UTCr. En el año 2013, se participa ser entrenador en MTF en el primer SIM Metrology Summer School, llevado en las instalaciones del NIST en Gaithersburg, Maryland.

En 2014, los INM de México, Ecuador y Perú nos convocan para actuar como experto técnico en la evaluación de sus CMC en MTF. Mientras que los INM de Costa Rica, Paraguay y Jamaica nos convocan para entrenarlos y ayudarlos a levantar o mejorar sus capacidades. Con estas acciones nos motivaron a realizar en el año 2015 el encuentro del GTMTF en Panamá lográndose, por votación unánime, que Panamá obtuviera la posición Chair del GTMTF por dos años y su posterior reelección en 2018 por dos años más. Como Chair, Panamá representó al SIM en discusiones de alto nivel, como la reestructuración de KCDB del BIPM, la reforma de la documentación del CCTF para alinearlo a las nuevas directrices del ARM, la eliminación del Leap Second y la nueva definición del Segundo en términos ópticos. En la Figura 3, se muestra parte del resultado de este trabajo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 3. Panamá a través del CENAMEP (código CNMP) es reconocida como una referencia de tiempo, parte del proceso de desarrollo del TAI, la base del UTC. Además, participamos también como entrenadores en eventos internacionales como el BIPM–SIM UTC Summer School 2025.

C. Incorporación a proyectos a nivel internacional

Con el incremento de la reputación y el reconocimiento de las capacidades técnicas del CENAMEP, comenzamos a ser incorporados en más proyectos a nivel internacional, y ya no solo como participantes, sino también diseñando y liderando: desde la incorporación al proyecto en 2005, en 2006 participamos en el establecimiento de la Escala de Tiempo del SIM. Para probar las capacidades de medida, en 2009 se desarrolló una comparación piloto para calibrar generadores de señales y se realizó el proyecto del Reloj Parlante para Panamá, ambos en colaboración con el CENAM (México), y en 2010 el CENAMEP diseño y piloteó la primera comparación SIM de Cronómetros [7], que incluía al INM de Kenia. En 2012, fuimos uno de los primeros INM en unirse al proyecto para la creación del UTCr y, en 2014, nos incorporamos a la primera Comparación Internacional de Servidores NTP [8]. Ahora, en este año 2025, nos sumamos al proyecto de actualización del SIMTN, ahora empleando mediciones GPS de doble frecuencia.

4. CONCLUSIONES

Podemos concluir que sin este tipo de acciones transnacionales de trabajo en conjunto y desarrollos de acuerdos de cooperación, el desarrollo de la Metrología de Tiempo y Frecuencia en América Latina, y en especial en Panamá, no pudiese haberse desarrollado adecuadamente o tal vez no se hubiera desarrollado, y los logros que se han llevado a cabo, desde la participación en la Hora Mundial, el proyecto de la Red de Tiempo y Frecuencia, la declaración y reconocimiento internacional de nuestras primeras CMC habrían quedado rezagados o incluso eliminados del desarrollo nacional, en términos de CyT y su influencia en el desarrollo de Panamá.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Referencias

[1] A Arolaza, “METROLOGÍA EN PANAMÁ”, Historia de la Metrología en Panamá, 30 de septiembre de 2017 [En línea]. https://araolaza.wordpress.com/opuscul/

[2] M. A. Lombardi, A. N. Novick, J. M. López-Romero, J. S. Boulanger, and R. Pelletier, “The Interamerican Metrology System (SIM) Common-View GPS Comparison Network,” Proceedings of the Joint 2005 IEEE Frequency Control Symposium and Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, pp. 691-698, August 2005.

[3] J. M. López-Romero, M. A. Lombardi, A. N. Novick, J. S. Boulanger, R. de Carvalho, R. Solis, and F. Jimenez, 2008, “The SIM Network: Improved Time Coordination for North, Central, and South America,” Proceedings of the 22nd European Frequency and Time Forum (EFTF), 9 p., April 2008.

[4] J. M. López-Romero, M. Lombardi, E. de Carlos-Lopez, N. Díaz-Muñoz, C. A. Ortiz, R. de Carvalho, and R. Solis, “SIM Time Scale: 10 years of operation,” IEEE Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) Digest, 2 p., July 2018.

[5] Raúl Fernando Solís Betancur, “Servicio de Diseminación de Tiempo Por Red en el CENAMEP AIP,” Proceedings of the 2016 Simposio de Metrologia, Querétaro, Mexico, 2 p., September 2016.

[6] R. F. Solis and L. M. Mojica, “Application of SIMT and UTCr timescales for the maintenance of the Universal Time Coordinated in Panama,” Proceedings of the 2014 IEEE Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIV), Panama City, Panama, 5 p., November 2014.

[7] R. F. Solis, L. M. Mojica, H. Sanchez, O. G. Fallas, J. M. López-Romero, F. Jiménez, H. Diaz, H. Postigo, D. Perez, W. Adad, V. Masi, A. Ibrahim, M. A. Lombardi, B. Hoger, R. de Carvalho, J. L. M. Kronenberg, G. C. Orozco, T. Reddock, D. Slomovitz, and L. Trigo, “An Interlaboratory Stopwatch Comparision in the SIM Region,” NCSLI Measure: The Journal of Measurement Science, vol. 6, no. 3, pp. 56-62, September 2011.

[8] M. A. Lombardi, J. Levine, J. M. López-Romero, F. Jiménez, J. Bernard, M. Gertsvolf, H. Sanchez, O. G. Fallas, L. C. Hernández Forero, R. J. de Carvalho, M. N. Fittipaldi, R. F. Solis, and F. Espejo, “International Comparisons of Network Time Protocol Servers,” Proceedings of the 46th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, pp. 57-66, December 2014.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC 2025 a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Análisis de calidad de jarabes herbarios pediátricos mediante cromatografía de gases acoplado a un detector FID

Gómez, Ilein
Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá AIP; Universidad Latina de Panamá, sede David.
Ciudad de Panamá, Panamá
ileingomez1014@gmail.com

González, Annyurith
Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
agonzalez@indicasat.org.pa

De León, Mirla
Universidad Latina de Panamá, sede David; Hospital Regional Dr. Rafael Hernández
Ciudad de David, Panamá
mirldeleon@ch.ulatina.edu.pa

Caballero-George, Catherina
Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ccaballero@indicasat.org.pa

Abstract

Between 2022 and 2024, the World Health Organization issued multiple alerts regarding pediatric syrups and diluents contaminated with diethylene glycol and ethylene glycol. In 2006, Panama was the scene of one of the largest poisoning incidents caused by cough syrups contaminated with diethylene glycol, whose cause was linked to contaminated glycerin and falsified certificates of analysis that circulated from China and Spain before reaching Panama. In this context, the borders between Panama and Costa Rica have become areas where Panamanians access macrobiotic stores that sell herbal products without Panamanian sanitary registration. Due to the high risk this represents to public health, five brands of syrups obtained from four macrobiotic establishments were analyzed. The objective of this study was to verify the quality and safety of the analyzed syrups. For this purpose, gas chromatography coupled to an FID detector and the “Limit of Diethylene Glycol and Ethylene Glycol” test from the glycerin monograph of the USP–NF pharmacopeia were employed.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Although no contaminants were detected in the analyzed samples, other types of problems were observed. Among the most relevant findings were poor labeling of these products, such as the lack of clear description of components and the absence of batch numbers. The results of this work support the importance of educating the Panamanian population on the responsible consumption of products with Panamanian sanitary registration and promoting further research in this area of Pharmaceutical Sciences.

Keywords: contaminants, gas chromatography, herbal product, labeling, pediatric syrups

Resumen

Entre 2022 y 2024, la Organización Mundial de la Salud emitió múltiples alertas por jarabes pediátricos y diluyentes contaminados con dietilenglicol y etilenglicol. En 2006, Panamá fue protagonista de uno de los mayores casos de intoxicación por jarabes para la tos contaminados con dietilenglicol, cuya causa se relacionó con glicerina contaminada y certificados de análisis falsificados que circularon desde China y España hasta llegar a Panamá. En este contexto, las fronteras entre Panamá y Costa Rica, se han consolidado como espacios donde los panameños acceden a macrobióticas que venden productos herbarios sin registro sanitario panameño. Debido al alto riesgo que esto representa sobre la salud pública panameña, se analizaron cinco marcas de jarabes obtenidos de cuatro establecimientos macrobióticos. El objetivo de este estudio fue verificar la calidad y seguridad de los jarabes analizados. Para este fin se empleó la cromatografía de gases acoplada a un detector FID y el ensayo “Límite de dietilenglicol y etilenglicol” de la monografía de glicerina de la farmacopea USP-NF. Aunque no se encontraron los contaminantes en las muestras analizadas, otro tipo de problemas se pudieron evidenciar. Entre los hallazgos más relevantes podemos destacar un pobre etiquetado de estos productos, como la falta de descripción clara de los componentes y la ausencia de números de lote. Los resultados de este trabajo respaldan la importancia de educar a la población panameña sobre un consumo responsable de productos con registro sanitario de Panamá, y de promover las investigaciones en esta área de las Ciencias Farmacéuticas.

Palabras claves: contaminantes, cromatografía de gases, etiquetado, jarabes pediátricos, producto herbario.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

1. INTRODUCCIÓN

El dietilenglicol (DEG) y el etilenglicol (EG) representan una amenaza persistente para la salud pública a nivel mundial, incluida la población infantil [1]. Entre 2022 y 2024, la Organización Mundial de la Salud emitió varias alertas sobre jarabes pediátricos y diluyentes contaminados con DEG y EG [2]. En 2006, Panamá enfrentó uno de los mayores casos de intoxicación por jarabes para la tos contaminados con dietilenglicol. Este hecho se asoció con el uso de glicerina contaminada y certificados de análisis falsificados que habían circulado desde China y España antes de llegar al país [3].

Las zonas fronterizas, como Paso Canoas y Río Sereno, se han consolidado como espacios con un funcionamiento propio, donde panameños cruzan la frontera para sus actividades cotidianas [4]. En estas áreas, la presencia de macrobióticas, establecimientos que se dedican a la venta de alimentos y productos naturales, representa un riesgo potencial para la salud pública de la región, ya que, en Costa Rica, este tipo de establecimientos cuentan con una regulación limitada. Estas se consideran comercios especializados de venta al por menor con riesgo sanitario bajo, y no se clasifican como establecimientos de salud, ni requieren regencia profesional o dirección técnico-científica. Sin embargo, estos productos han presentado múltiples irregularidades, como indicaciones terapéuticas sin respaldo científico ni información del fabricante [5].

Un estudio reciente reveló que varios productos naturales no contenían los principios activos declarados o no fue posible verificarlos debido al uso de distintas especies dentro de un mismo género [6]. Por el riesgo asociado con la fácil adquisición de jarabes pediátricos con extractos de plantas en la región fronteriza de Panamá y Costa Rica, se propuso un estudio inicial basado en la cromatografía de gases para determinar la presencia de contaminantes como dietilenglicol y etilenglicol en cinco tipos de jarabes obtenidos en las macrobióticas del área fronteriza.

método

A. MATERIALES Y EQUIPOS

Para el análisis, se empleó un cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama (Shimadzu Nexus GC-2030) acoplado a una columna capilar (6% cianopropilfenil / 94% dimetilpolisiloxano; fase USP G43). Las muestras fueron preparadas utilizando micropipetas, discos de filtro (nylon, 0.2 µm) y matraces volumétricos. Se utilizó metanol grado HPLC como solventes. Los estándares analíticos incluyeron etilenglicol USP, dietilenglicol USP, glicerina USP y 2,2,2-tricloroetanol como estándar interno.

B. PROCESO

Se visitaron cuatro macrobióticas ubicadas en territorio costarricense, cercanas a la línea fronteriza en las localidades de Paso Canoas y Río Sereno. Se obtuvieron seis jarabes

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de cinco marcas diferentes. Estos estaban destinados a enfermedades respiratorias como: resfriados, faringitis, gripe, asma, bronquitis (aguda y crónica), bronconeumonía, amigdalitis y rinitis. Los jarabes se seleccionaron siguiendo las recomendaciones de los vendedores. Las etiquetas fueron evaluadas mediante los requisitos de la Resolución N° 280-2012 (COMIECO-LXII), emitida el 14 de mayo de 2012, y su anexo correspondiente: el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.01.07:10, relativo al Etiquetado General de los Alimentos Previamente Envasados (alimentos preenvasados) utilizada en Costa Rica. Estas fueron clasificadas en presente, ausente o parcial.

Luego de analizar el etiquetado se procedió a realizar el análisis mediante cromatografía de gases acoplado a un detector de ionización de llama (FID). Las muestras se prepararon invirtiendo los jarabes y vertiéndolos en vasos precipitados. Con ayuda de una pipeta Pasteur, se transfirieron gotas a un matraz volumétrico de 10 mL colocado sobre una balanza analítica, hasta obtener aproximadamente 50 mg de muestra dentro del matraz. Posteriormente, se añadieron 185 µg de la solución interna para fortificar la solución de trabajo y se llevó a volumen final con metanol grado HPLC. En el caso de las muestras LAFI-081-24 y LAFI-082-24, que no se disolvieron completamente en metanol tras la mezcla por inversión, se sometieron a sonicación durante 4 minutos. De la solución final (10 mL), se tomaron 3 mL, se filtraron y se transfirió 1 mL al vial ámbar del automuestreador, el cual se selló y etiquetó antes de colocarse en el carrusel del inyector.

Además, se utilizó el software LabSolution para programar y ejecutar las corridas. Se siguió el ensayo “Límite de dietilenglicol y etilenglicol” que se encuentra dentro de la monografía de glicerina de la farmacopea USP-NF. Posteriormente, se realizó el análisis mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de ionización de llama (FID), siguiendo el ensayo “Límite de dietilenglicol y etilenglicol” descrito en la monografía de glicerina de la farmacopea USP-NF. Se prepararon soluciones estándar de glicerina, dietilenglicol, etilenglicol y 2,2,2-tricloroetanol, conformando el conjunto denominado MIXGLY. Las muestras fueron analizadas mediante el software LabSolution, verificando la idoneidad del sistema antes de cada corrida cromatográfica y entre cada una de ellas se inyectaba metanol HPLC.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del etiquetado mostró varias irregularidades, detalladas en la Tabla 1. Entre los más relevantes, algunos productos tenían el número de lote y la fecha de vencimiento en stickers de papel, los cuales pueden desprenderse y provocar la pérdida de información clave para la trazabilidad. Además, hubo jarabes que ni siquiera incluían número de lote,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

y en varios casos la información del fabricante era incompleta o estaba ausente. También se encontró que los ingredientes estaban mal descritos (sin especificar especie vegetal, parte utilizada y en algunos casos, concentración). Estas omisiones dificultan conocer con precisión la composición real de los productos, así como su origen y calidad.

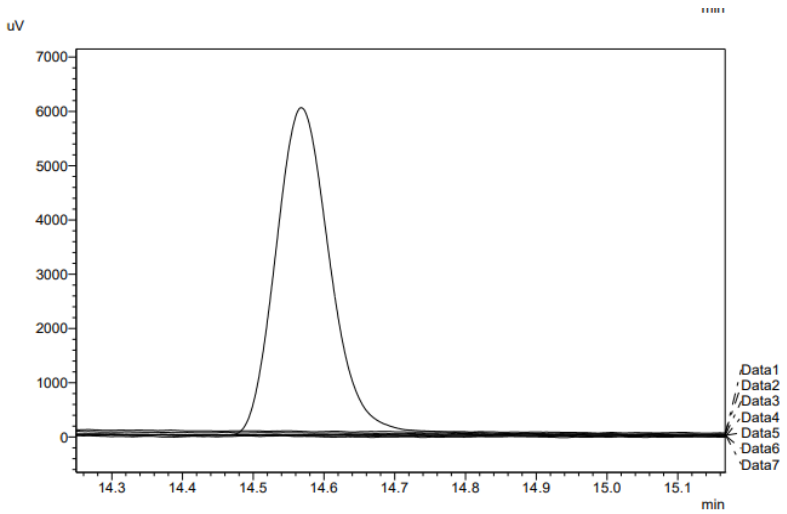
Tabla 1. Resultados del análisis de las etiquetas de los jarabes

Aspecto analizado	**Hallazgos**
Datos básicos	Nombre, dosis y contenido neto presentes; vencimiento parcial (sticker de papel).
Ingredientes	Tres productos con información parcial: sin especie, sin parte de planta o sin concentración.
Indicaciones	Enfermedades respiratorias como resfriados, faringitis, gripe, asma, bronquitis y rinitis, a pesar de que los productos no son medicamentos.
Lote y registro	Cuatro productos con lote ausente; dos con lote parcial (sticker de papel); uno con registro sanitario ausente.
Advertencias y uso	Dos productos con contraindicaciones ausentes; cuatro con instrucciones de uso ausentes.
Etiqueta nutricional	Cinco productos con información ausente.
Fabricación y origen	Un producto con nombre del fabricante parcial; dirección parcial en uno y ausente en tres; un producto sin país de origen; uno sin fecha de fabricación.
Conservación	Un producto con información ausente; dos con información parcial.

Respecto al análisis cromatográfico, no se detectó la presencia de dietilenglicol ni etilenglicol en ninguna de las muestras, lo que puede ser observadas en las Figuras 1 y 2, donde solo se muestra el pico del estándar de referencia. El 2,2,2-tricloroetanol estuvo presente en todas ellas, cumpliendo su función como estándar interno, lo que ayuda a asegurar la confiabilidad de los resultados (Figura 3). Por otro lado, las áreas correspondientes a la glicerina en los jarabes fueron mucho menores que las del estándar MIXGLY, lo que indica que, aunque estaba presente, no constituye el diluyente principal del producto, mostrado en la Figura 4.

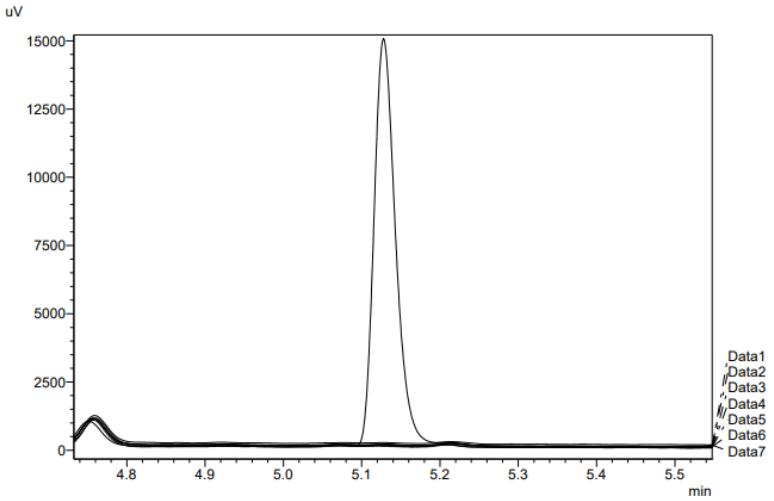
https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 1. Cromatograma comparativo de etilenglicol en jarabes pediátricos



Leyenda: Data1 muestra el estándar de etilenglicol incluido en MIXGLY; Data2–Data7 corresponden a los seis jarabes analizados bajo las mismas condiciones. No se detectaron picos para etilenglicol.

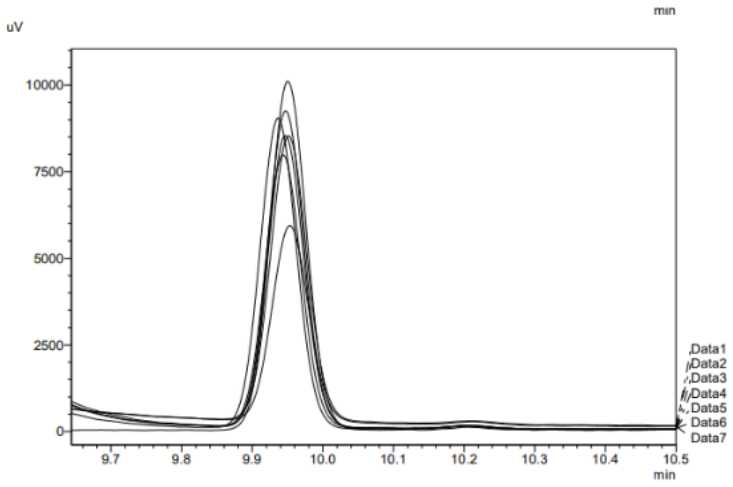
Figura 2. Cromatograma comparativo de dietilenglicol en jarabes pediátricos



Leyenda: Data1 muestra el estándar de dietilenglicol incluido en MIXGLY; Data2–Data7 corresponden a los seis jarabes analizados bajo las mismas condiciones. No se detectaron picos para etilenglicol.

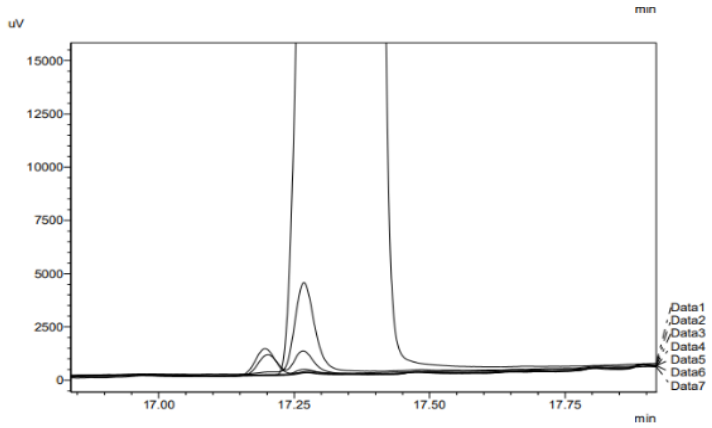
https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Figura 3. Cromatograma comparativo de 2,2,2-tricloroetanol en jarabes pediátricos



Leyenda: Data1 muestra el estándar de 2,2,2-tricloreranol incluido en MIXGLY; Data2–Data7 corresponden a los seis jarabes analizados bajo las mismas condiciones. Todas las muestras presentaron la presencia del estándar interno.

Figura 4. Cromatograma comparativo de glicerina en jarabes pediátricos



Leyenda: Data1 muestra el estándar de glicerina incluido en MIXGLY; Data2–Data7 corresponden a los seis jarabes analizados bajo las mismas condiciones. Algunas muestras presentaron glicerina, pero en niveles mucho menores que el estándar.

4. CONCLUSIONES

Los jarabes evaluados presentaron múltiples deficiencias en sus etiquetados, lo que puede afectar significativamente su trazabilidad y control de calidad. No se detectó la presencia de etilenglicol ni dietilenglicol, potenciales contaminantes en formas farmacéuticas líquidas

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

que usan glicerina. En algunos jarabes se detectó glicerina en rangos de 0 a 11,049, mientras que en el estándar el valor fue 1,654,117. Este valor es considerablemente menor y no representa una cantidad suficiente para considerarla el diluyente principal. Estos hallazgos resaltan la importancia de educar a la población sobre el consumo de productos con registro sanitario en Panamá y fomentar la realización de más investigaciones en esta área de las Ciencias Farmacéuticas.

Referencias

[1] S. Alkahtani, H. Sammons, e I. Choonara, "Epidemics of acute renal failure in children (diethylene glycol toxicity)," Arch Dis Child, vol. 95, pp. 1062–1064, 2010. doi: 10.1136/ard.2010.183392.

[2] Organización Mundial de la Salud, "Alerta n.° 4/2024 sobre productos médicos: PROPILENGLICOL USP/Ph. Eur. falsificado detectado en la Región del Mediterráneo Oriental de la OMS," 2024. [En línea]. Disponible: https://www.who.int/es/news/item/10-10-2024-medical-product-alert-n-4-2024--falsified-usp-ep-propylene-glycol.

[3] Organización Mundial de la Salud y Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, Contaminated Medicines and Integrity of the Pharmaceutical Excipients Supply Chain, 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.unodc.org/pdf/publications/WHO-UNODC_landmark-report-on-contaminated-medicines.pdf

[4] R. Atencio y R. Campos, "Reflexión de la realidad comercial y social de la frontera de Paso Canoa," en Fronteras Latinoamericanas: Ejemplo Para Su Comprensión, pp. 253–264, 2017. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/download/62402511/fronteras_latinoamericanas_ejemplos_para_su_comprension20200318-120167-1kbocmh.pdf#page=253.

[5] R. Madrigal, L. Villegas Zúñiga, y B. Baltodano, "Consideraciones jurídico-sanitarias en orden al funcionamiento de las macrobióticas en Costa Rica," Revista de Ciencias Jurídicas, vol. 159, pp. 1–14, 2022. [En línea]. Disponible: https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/noticias/noticias-2018/1330-operativo-macrobiotico.

[6] J. Quesada-Espinoza y R. Murillo-Masís, "Control de calidad de fitofármacos con la utilización de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y la aplicación del análisis de componentes principales (PCA)," Revista Tecnología En Marcha, vol. 32, no. 4, 2019. doi: 10.18845/tm.v32i4.4794.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Sustainable Practices for Farming Around Forests

Sarmiento, Aneth
Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA),
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
aneth.sarmiento@utp.ac.pa

García, Karina
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
karina.garcia@utp.ac.pa

Añino, Yostin
Departamento de Biología, Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
yostin0660@gmail.com

Carrera, Jean-Paul
Centro Carson de Investigación en Salud y Ecosistemas
Darién, Panamá
jpcarrera@centrocarson.org

Sanchez-Galan, Javier E.
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
javier.sanchezgalan@utp.ac.pa

Abstract

Many rural families living near forested areas depend heavily on agriculture as their primary or only source of income. This reality requires not only ecological awareness but economically viable alternatives that respond to local needs. This paper examines the challenges and opportunities for sustainable agriculture in communities adjacent to forested areas in Panama. It proposes a methodological framework to identify and promote sustainable farming practices that enhance ecosystem services, improve farm resilience, and support the livelihoods of rural communities. The proposed methodology integrates spatial analysis, stakeholder mapping, and the development of a longitudinal

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

survey to assess the adoption and impact of sustainable practices. The expected results include the identification of critical areas for intervention, a comprehensive understanding of the socio-ecological context, and the development of a tailored guide for sustainable farming practices. This work promotes a dignosis to favor the broadening of sustainable agricultural practices integrated into forested landscapes, recognizing forests not merely as boundaries but as active allies for resilient and productive farming. In alignment with global sustainability goals, climate governance and support the One Health approach, which links ecosystem integrity ith human and animal well-being.

Keywords: Sustainable agriculture, Forest conservation, One Health, Climate resilience, Stakeholder engagement, Panama.

Resumen

Muchas familias rurales que viven cerca de áreas boscosas dependen de la agricultura como su fuente principal o ùnica de ingresos. Esta realidad requiere no solo conciencia ecológica, sino también alternativas económicamente viables que respondan a las necesidades locales. Este artículo examina los desafíos y oportunidades para la agricultura sostenible en comunidades adyacentes a áreas boscosas en Panamá. Se propone un marco metodológico para identificar y promover prácticas agrícolas sostenibles que mejoren los servicios ecosistémicos, aumenten la resiliencia de las fincas y apoyen los medios de vida de las comunidades rurales. La metodología propuesta integra análisis espacial, mapeo de actores y el desarrollo de una encuesta longitudinal para evaluar la adopción y el impacto de las prácticas sostenibles. Los resultados esperados incluyen la identificación de áreas críticas para la intervención, una comprensión integral del contexto socioecológico y el desarrollo de una guía adaptada para prácticas agrícolas sostenibles. Este trabajo promueve un diagnóstico para favorecer la ampliación de las prácticas agrícolas sostenibles integradas en los paisajes boscosos, reconociendo los bosques no solo como límites, sino como aliados activos para una agricultura resiliente y productiva. En línea con los objetivos de sostenibilidad global, la gobernanza climática y el apoyo al enfoque de Una Salud, que vincula la integridad de los ecosistemas con el bienestar humano y animal.

Palabras claves: Agricultura sostenible, Conservación de bosques, Una Salud, Resiliencia climática, Participación de actores, Panamá.

1. INTRODUCTION

The expansion of the agricultural frontier in Panama has caused severe damage to forest ecosystems, compromising their ecological integrity and reducing the availability of critical ecosystem services such as water regulation, nutrient cycling, and functional biodiversity [1,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2]. This issue is particularly acute in regions like Darién, Bocas del Toro, Chiriquí, and Veraguas, where conventional agricultural models have promoted deforestation, soil degradation, and the excessive use of agrochemicals. These trends not only affect environmental quality but also threaten food security and long-term rural livelihoods.

This work emerges from the collaborative workshop "Climate Change and Planetary Health: A Panamanian Perspective" organize in the framework of McGill PRISM Initiative [3]. The workshop focused on the intricate interplay between climate change and planetary health in Panama. The workshop highlighted the broader implications for infectious and zoonotic diseases, the impact of land use and farming practices on biodiversity and disease dynamics, and the vulnerability of Panama's water systems to climate variability. This context underscores the need for a holistic understanding of the environmental and health challenges Panama faces and the importance of actionable approaches for sustainable resilience.

This manuscript promotes a diagnosis to favor the broadening of sustainable agricultural practices integrated into forested landscapes, recognizing forests not merely as boundaries but as active allies for resilient and productive farming. In alignment with global sustainability goals, climate governance and support the One Health approach, which links ecosystem integrity with human and animal well-being.

2. METHODS

The proposed methodology is articulated in three main phases:

A. Spatial Analysis

Perform a documentary review and analysis of structured measures, plans, legal frameworks and projects within the country, that apply good practices in climate resilience and environmental sustainability farming already in place. Considering the important role of conservation in maintaining ecosystem services to improve agricultural yields, restore essential ecological functions and foster climate-smart land management and planetary health, the use of geographic information systems is proposed to locate areas of overlap between protected areas and agricultural activities within 20 km of them.

B. Stakeholder Recognition

Once critical areas of interventions have been identified, develop a stakeholder map of relevant actors in these areas with potential and/or who have implemented environmental

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

sustainability measures. Through the application of a Stakeholder Mapping methodology, a list of actors within the intervention areas is being developed, identifying those who play key roles in the implementation, governance, and evaluation of progress in sustainable agroecological practices in the target region. Once consolidated, these stakeholders will be invited to participate in a Longitudinal Survey.

C. Survey development and validation

Following a careful analysis of the selected criteria, a draft longitudinal survey questionnaire will be developed to enable repeated data collection from the same participants over time. A consultation process with external experts (including epidemiologists, biologists, social scientists, and specialists in socioeconomic and financial data) will be undertaken to ensure the questionnaire captures information relevant to a comprehensive One Health evaluation. After this multidisciplinary review and refinement, the instrument will be validated and submitted for bioethical evaluation.

The complete methodological framework is show in Figure 1.

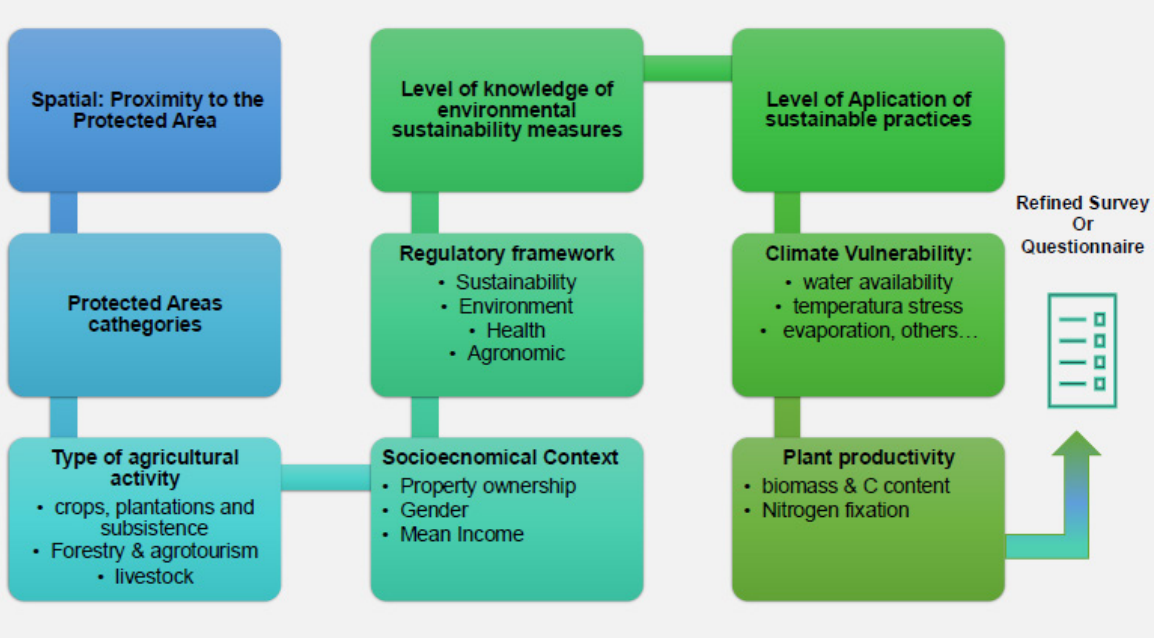


Figure 1. Proposed Methodology for Survey definition.

3. RESULTS

The expected results of this research are:

- Identification of critical areas for intervention: Analyzing multiple layers (land use, protected areas, satellite imagery, DEMs) in territories allows to identify the critical areas to intervene.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

- A comprehensive understanding of the socio-ecological context: The individual results of the interviews will be assessed to develop a tailored Guide to key actors that encompass specific measures for application and monitoring of sustainable farming practices in the region, and property owners.
- A tailored Guide for sustainable farming practices: The guide will provide recommendations for agroforestry, chemical composition alteration in soil, enhancing biodiversity ecosystem services and water provisioning under climate change.

4. CONCLUSIONS

This collaboration demonstrates how integrating physiological, ecological, geophysical, climate, health, and socio-environmental knowledge can transform rural land use into an effective tool for conservation and resilience. Validation of the methodological framework, followed by its further application, will enable the assessment of its utility as a tool for promoting sustainable agronomic practices in conservation areas, supporting technical, scientific, and governance decision-making. The approach promotes the scaling of bottom-up strategies aligned with international frameworks on climate change, biodiversity conservation, and health policies. By implementing such nature-based solutions, farmers of varying scales can actively contribute to the protection of forest ecosystems while securing their livelihoods over the long term.

Acknowledgements

This work was made possible through the collaborative efforts of several institutions and researchers. We extend our sincere gratitude to the Universidad Tecnológica de Panamá, the Centro Carson de Investigación en Salud y Ecosistemas, and the Universidad de Panamá for their institutional support.

We also acknowledge the funding and support from the UNESCO Chair for Dialogues on Sustainability, the Panama Research and Integrated Sustainability Model (PRISM), the NIH-Agroforestry Project, and the Sistema Nacional de Investigación (SNI) of Panama.

The initial conceptualization of this research was developed during the McGill University PRISM Workshop 2024, held on November 25-26 at the Summit Rainforest and Golf Resort in Panama. We thank the organizers and the 33 participants from six different projects who contributed to a rich, interdisciplinary dialogue that was foundational to this study.

References

[1] Clayton, S. (2022). 2022: Technical Summary. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[2] UNDRR (2021) Regional Assessmente Report on Disaster Risk in Latin America and the Caribbean, United Nations Office for Disaster Risk Reducction (UNDRR)
[3] Wolmuth-Gordon, H., & Mutebi, N. (2023). Public health and climate change: A One Health approach.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Caracterización Metrológica Integral de un Sistema Portátil de Microondas para la Inhibición del Crecimiento del Parásito de la Malaria desarrollado en Panamá

Solis Betancur, Raúl Fernando
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-1043-4294

Mojica, Luis
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0001-5594-9166

Ruiz, Isaac
CENAMEP AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0003-2207-2673

Chaw, Kevin
INDICASAT AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
EMAIL: kevinchaw729@gmail.com

Donado, Carlos
INDICASAT AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-7537-6550

Spadafora, Carmenza
INDICASAT AIP
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-3002-9467

Abstract

The development of innovative technologies to combat parasites like Plasmodium falciparum is crucial. One example is the project by INDICASAT and UTP, which aims to use microwave signals to inhibit its growth. But, in any technological development, a metrological approach is essential to control variables and better understand the actual behavior of the systems.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Therefore, CENAMEP developed a metrological verification process for all key elements of the system. The results provided a better understanding of the system's performance.

Keywords: Metrology, verification, microwaves, radiofrequencies, malaria.

Resumen

El desarrollo de tecnologías innovadoras para combatir parásitos como el Plasmodium falciparum es muy importante. Un ejemplo es el proyecto por parte del INDICASAT y la UTP con el cual se busca emplear señales de microondas para inhibir su crecimiento. Pero, en cualquier desarrollo tecnológico, es importante tener una aproximación metrológica que ayude a controlar las variables y conocer mejor el comportamiento real de los sistemas. Por ello el CENAMEP desarrolló un proceso de verificación metrológica sobre todos los elementos claves del sistema. El resultado permitió conocer de mejor manera el comportamiento del sistema.

Palabras claves: Metrología, verificación, microondas, radiofrecuencias, malaria.

1. INTRODUCCIÓN

Inhibir el crecimiento del Plasmodium falciparum, parásito causante de la malaria empleando señales de microondas, ideado por el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá (INDICASAT), es una tecnología innovadora [1], [2]. Pero al trabajar con equipamiento involucrado en la emisión de señales de microondas, es crucial tomar en cuenta el componente metrológico que permite verificar el adecuado comportamiento de los sistemas involucrados, asegurando que cumpla con las funciones para las cuales fue diseñado y ayudar a mitigar posibles problemas al entorno en el que se utiliza. Este componente metrológico es aportado por el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP) [3] al cual, bajo un trabajo de colaboración entre laboratorios, el INDICASAT ha solicitado la verificación del funcionamiento del dispositivo portátil de bajo costo creado en conjunto con la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), al igual que con los aplicadores de señales y los componentes de trabajo en el sistema.

2. MÉTODO

El desarrollo de este trabajo requirió una serie de mediciones buscando encontrar anomalías, cumplimiento con especificaciones y reproducibilidad metrológica. Los componentes empleados por el laboratorio se muestran en la Figura 1.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

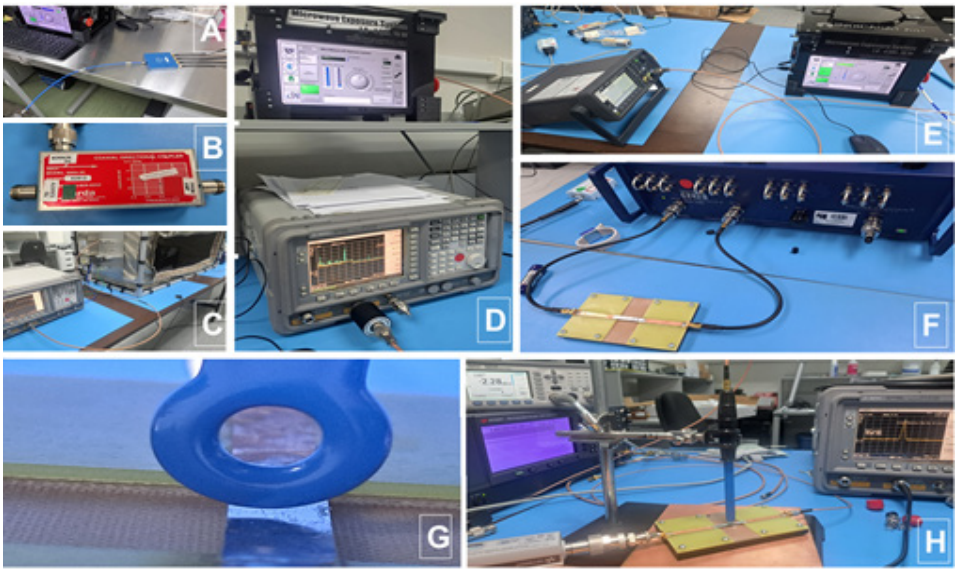


Figura 1. Vista de algunos de los equipamientos involucrados en el desarrollo del ejercicio.

En la Figura 1 se muestra: A) cable principal, divisor de potencia de 4 salidas y sus cables de conexión, B) acoplador direccional empleado para medir el SWR (Standing Wave Ratio) generado, C) configuración para medir emisiones del sistema generador dentro de la tolda apantallada, D) pureza espectral de la señal emitida del generador empleando un Analizador de Espectro (AE), E) medición de la exactitud en frecuencia del sistema generador, F) la configuración para el análisis de parámetros S de una placa dosificadora empleando el Analizador de Redes Vectoriales (ARV), G) empleo de sonda de campo magnético cercano para detectar emisiones sin tocar la cinta de emisión y, H) configuración para medir en las placas emisión, transmisión y distorsión de las señales.

A. Equipamiento involucrado

Para realizar la caracterización metrológica del sistema, se empleó equipamiento en control metrológico (norma internacional ISO/IEC 17025:2017) trazable al Tiempo Universal Coordinado (UTC) y a laboratorios con capacidades de medición reconocidas, para asegurar que los resultados siempre fueran confiables. En la Tabla 1, se muestra el equipamiento empleado para realizar la caracterización.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Tabla 1. Equipamiento de referencia empleado para la caracterización.

Equipamiento	Característica de trabajo
Patrones Atómicos de Tiempo y Generador de desvíos de frecuencia	Realización del UTC(CNMP) que participa de la comparación clave que define el UTC
Contadores de Frecuencia	Disciplinados a UTC(CNMP) con resoluciones de 13 dígitos en 3 GHz
Sintetizadores de señales	Disciplinados a UTC(CNMP) con ajuste de 1 Hz en 26,5 GHz
Medidor de potencia en RF	Calibrados bajo la ISO/IEC 17025:2017 en potencia, eficiencia y SWR
Analizador de espectro	Disciplinado a UTC(CNMP), verificado contra sintetizador de señales disciplinado a UTC(CNMP) y medidor de potencia calibrado
Analizador de Redes Vectoriales	Verificado contra kit de calibración ARV calibrado bajo la ISO/IEC 17025:2017
Sondas de campo cercano Eléctrico y Magnético	Verificado contra analizador de espectro, analizador de redes vectoriales, sintetizador de señales y medidor de potencia
Medidor de condiciones ambientales	Calibrado bajo la ISO/IEC 17025:2017 en temperatura y humedad relativa
Equipamiento auxiliar (cables, tolda apantallada, antenas, atenuadores y divisores de potencia)	Verificado contra analizador de espectro, analizador de redes vectoriales, sintetizador de señales y medidor de potencia

B. Realización de las pruebas

Se realizaron pruebas para determinar características y encontrar fallos: a los componentes auxiliares se verifico la atenuación y su SWR, a los conectores y la estructura física del cable trabajen adecuadamente (no quiebres, fallos o fugas de señales). Se verificó en el sistema de generación de señal la pureza espectral, la exactitud de la potencia suministrada y la frecuencia de trabajo de la señal emitida, se buscó emisiones de fuga de señal del equipo (que puedan generar interferencias a equipos alrededor) y se verificó su comportamiento bajo trabajo continuo sin incidentes en tiempo de trabajo por más de 24 horas encendido y mediante rutinas de trabajo continuas de más de 5 horas.

A los cinco aplicadores se analizó su atenuación y su SWR además de que exista emisión de señales en la frecuencia y potencia aplicada. La metodología del ejercicio se establece en el siguiente orden:

- Verificación metrológica de los equipos de referencia: Se asegura que todas las mediciones realizadas van a ser adecuadas (bajo norma ISO/IEC 17025:2017).
- Caracterización metrológica del sistema portátil de microondas: Se realizan pruebas a los componentes principales y elementos importantes para asegurar que el trabajo individual y completo del sistema sea acorde a lo esperado:

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

- Pruebas a los competentes auxiliares: Se analiza el estado de los componentes como cables, puente direccional y divisor de potencia con el objetivo de caracterizar pérdidas o distorsiones de señal y otros tipos de fallas.
- Pruebas al sistema de generación: Se analiza las características funcionales del sistema generador de señales de microondas en búsqueda de emisiones indeseadas o fugas de señales, nivel potencia aplicado sea correspondiente al seleccionado, pureza espectral de la señal de salida, aplicación correcta de rutinas de empleo y que su empleo a largo plazo no cause cambios en la salida.
- Pruebas a los aplicadores: Se analiza el comportamiento de emisión de los aplicadores y su relación con sus especificaciones de uso, sin afectar la forma de la cinta emisora.

- Análisis de datos y emisión de resultados: Se analizan los datos (por ejemplo, corrección de errores, análisis de variabilidades, etc.) para proceder a emitir resultados.

Los procedimientos internos del CENAMEP en conjunto con partes de normativa específica [4] fueron la base del desarrollo del proceso de caracterización metrológica integral de un sistema portátil de microondas para la inhibición del crecimiento del parásito de la malaria, desarrollado por INDICASAT y la UTP.

3. RESULTADOS

La verificación metrológica de los equipos de referencia demostró que todos los equipos cumplen con lo especificado por los fabricantes y por las condiciones locales de control cumpliendo con el Sistema de Calidad del CENAMEP AIP. Con respecto a los resultados de la caracterización metrológica del sistema portátil los resultados mostraron ser satisfactorios. En la Figura 2, se tienen las vistas de los resultados de las pruebas realizadas:

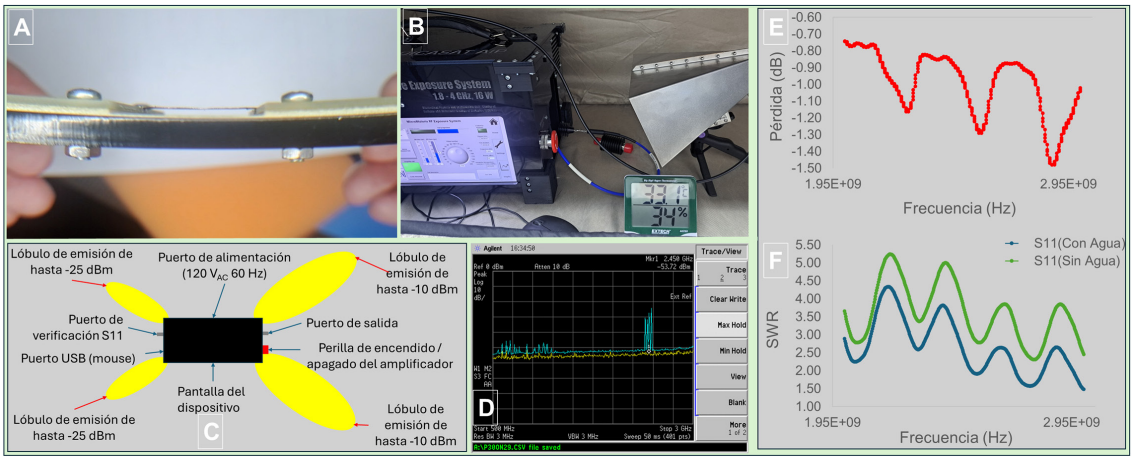


Figura 2. Resultados del proceso de caracterización metrológica del equipo de INDICASAT.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

En la Figura 2-A) se aprecia la verificación visual en la que se ve la vista transversal de una placa dosificadora donde se aprecian algunas deformaciones, lo que puede influir en el desempeño de los experimentos (posible cambio de la focalización de la energía de microondas). En la Figura 2-B) se aprecia la vista de la configuración de prueba de rendimiento en trabajos largos (temperatura y emisiones), con el objetivo de verificar si existían anomalías, y que como resultado se dieron que no. En la Figura 2-C) se muestra un esquema rápido de los lóbulos de emisión detectados (salida con terminal con potencia de salida de +39 dBm), los cuales deben ser atendidos como fugas de RF para evitar exposición innecesaria a usuarios del sistema e interferencias a equipamiento al rededor. En la Figura 2-D) Se aprecian algunas señales espurias detectadas en el AE (señales por debajo de 1,5 GHz y señales por encima de 3 GHz) en la prueba de rendimiento en bandas por debajo de la frecuencia de operación. En la Figura 2-E) se tiene el resultado del análisis del comportamiento de la pérdida del cable principal (componente S12 en dB) que conecta la fuente con los aplicadores, mientras que en la Figura 2-F) se tiene el SWR resultante del aplicador grande sin agua en el repositorio (verde) y con agua en el repositorio (azul). En este ejercicio nos ayudó la compañera metróloga Eyleen Espinosa del laboratorio de Volumetría, para lograr reproducibilidad en la aplicación del volumen de agua dentro del aplicador.

Con respecto a los resultados obtenidos para la caracterización del sistema portátil, las pruebas a los competentes auxiliares, al sistema de generación y a los aplicadores, la captura de datos y su análisis dio como resultado:

- Prueba a los equipos auxiliares: en las pruebas a los cables se encontró que solo uno tenía problemas (conector defectuoso) y los demás cables tenían pérdidas consistentes con sus longitudes (con variaciones de ±0,5 dB). Las pruebas en al divisor de potencia y puente direccional mostró que cumplen con las especificaciones indicadas por los fabricantes y no se encontraron ninguna anomalía en el desempeño de su trabajo (con variaciones de ±0,5 dB).
- Pruebas al sistema de generación: se encontró que sí entregaba la potencia en la frecuencia requerida (errores menores a 0,4 dB en +39 dB), mantenía una notable estabilidad en su trabajo (repetía el funcionamiento) ejecutando rutinas de trabajo seguido, pero se detectaron emisiones fuera de la frecuencia de la irradiación y la existencia de lóbulos de potencia emitidos fuera del sistema con potencias desde -25 dBm hasta -10 dBm a 50 cm de distancia del sistema.
- Pruebas a los dosificadores: se encontró que emiten señal dentro de lo especificado, responden a las aproximaciones de masa (un cuerpo absorbente) y su SWR cambia con respecto a la puesta de agua en el repositorio de verificación. Pero se observa que algunas cintas de conducción tienen pequeñas deformaciones (posiblemente por poner

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

y quitar los repositorios de vidrio donde van las muestras) que cambian ligeramente la potencia entregada a lo largo de la zona de aplicación.

4. CONCLUSIONES

Podemos resaltar la importancia de tener un enfoque metrológico en el desarrollo de la Ciencia y Tecnología: se pudo comprobar que los componentes individuales del sistema cumplen con los requisitos básicos de trabajo para lo que fueron diseñados, pero la caracterización permitió conocer que existen ciertas situaciones que deben ser analizadas para ver su impacto en términos de la aplicación del proyecto, como es el caso de las demás señales emitidas (lejanas a la frecuencia principal de operación de 2,45 GHz) que pudiesen causar algún efecto indeseado. Asimismo, al tratarse de un prototipo, se entienden que existan otras anomalías como las emisiones de señales con potencia por encima de -25 dBm, que deberán ser bloqueadas para el diseño final y para asegurar la integridad de equipos y sistemas circundantes, como otros equipamientos biomédicos con respecto al concepto de Compatibilidad y Emisiones Electromagnéticas.

Referencias

[1] Esteban Rua, Lorena Coronado, Carlos A. Donado Morcillo, Ricardo Correa, Lina Solís, Carmenza Spadafora, Alejandro Von Chong, A low-cost, portable device for the study of the malaria parasite's growth inhibition via microwave exposure, HardwareX, Volume 19, 2024, e00540, ISSN 2468-0672, https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00540

[2] Nadovich, Christopher & Jemison, W & Stoute, José & Spadafora, Carmenza. (2014). Microwave Exposure System for In Vitro and In Vivo Studies. 10.13140/2.1.2922.7843.

[3] R. F. Solis and L. M. Mojica, "Implementacion del Laboratorio de Calibración de Alta Frecuencia en el CENAMEP AIP," Simposio Metrologia 2011, Natal Brazil, Jun. 2018, doi: https://doi.org/10.13140/rg.2.2.22597.55524.

[4] IEC, CISPR 16-4-2:2011: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling - Measurement instrumentation uncertainty, edición 2.2 version consolidada 2018-08, ISBN 978-2-8322-5950-4

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

Workshop Report
EMAS-IA: Enseñanza de la Matemática Aplicada y Sostenible con Inteligencia Artificial

Chacón-Rivadeneira, Keila
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
ORCID: , https://orcid.org/0009-0004-5967-4613

Morales-Maure, Luisa
Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3905-9002

García-Marimón, Orlando
Universidad de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0334-6133

Sáez-Delgado, Fabiola
Universidad Católica de la Santísima Concepción
Concepción, Chile
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7993-5356

Alfaro Ponce, Berenice
Tecnológico de Monterrey
Monterrey, México
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7046-1019

Font Moll, Vicenç
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
ORCID: ; https://orcid.org/0000-0003-1405-0458
Correo de contacto: kchacori13@alumnes.ub.edu

Resumen

La irrupción de la inteligencia artificial (IA) en la educación está transformando de manera estructural la producción, circulación y validación del conocimiento matemático, especialmente en contextos latinoamericanos marcados por brechas de infraestructura,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

formación docente y apoyo institucional (Cobo, 2022; Salas-Pilco & Yang, 2022). Este artículo presenta avances de la tesis doctoral de Keila Chacón-Rivadeneira en didáctica de la matemática, enmarcada en el programa EMAS-IA: Enseñanza de la Matemática Aplicada y Sostenible con Inteligencia Artificial, articulado con los diplomados EDEM y EMAS desarrollados en Panamá. El estudio adopta un diseño mixto y multinivel, e incluye una encuesta en línea aplicada a 480 docentes de matemáticas de varios países latinoamericanos, complementada con análisis de casos en profundidad y experiencias de simulación y entornos inmersivos (Morales-Maure et al., 2025a). Los resultados preliminares muestran una adopción desigual de la IA entre regiones, brechas significativas de género en competencias digitales y una fuerte dependencia del apoyo institucional para la integración efectiva de herramientas basadas en IA (UNESCO, 2023; Banco Mundial, 2025a). Se discuten implicaciones para el desarrollo de "laboratorios de IA para la docencia de matemáticas" y para políticas de formación docente sostenible, apoyadas en marcos como el CCDM y el Enfoque Ontosemiótico (Font et al., 2010; Morales-Maure et al., 2025).

Palabras clave: inteligencia artificial, educación matemática, formación docente, sostenibilidad, América Latina, competencias digitales.

Abstract

The rise of artificial intelligence (AI) in education is structurally transforming the ways in which mathematical knowledge is produced, distributed, and validated, particularly in Latin American contexts marked by long-standing inequalities in infrastructure, teacher training, and institutional support (Cobo, 2022; Salas-Pilco & Yang, 2022). This paper reports on the progress of Keila Chacón-Rivadeneira's doctoral research in mathematics education, framed within EMAS-IA: Teaching Applied and Sustainable Mathematics with Artificial Intelligence, and connected to the EDEM and EMAS teacher-development programs implemented in Panama. The study adopts a mixed-methods, multilevel design, combining an online survey administered to 480 mathematics teachers across several Latin American countries with in-depth case studies and experiments using simulators and immersive learning environments (Morales-Maure et al., 2025). Preliminary findings indicate uneven AI adoption across regions, significant gender gaps in digital competencies, and a strong dependence on institutional support for the effective integration of AI-based tools (UNESCO, 2023; World Bank, 2025a). The paper discusses implications for the development of "AI laboratories for mathematics teaching" and for sustainable teacher education policies grounded in frameworks such as the Teacher's Didactic-Mathematical Knowledge model (CCDM) and the Onto-Semiotic Approach (Font et al., 2010; Morales-Maure et al., 2025).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Keywords: artificial intelligence, mathematics education, teacher education, sustainability, Latin America, digital competencies.

Figura 1. Participantes del Simposio Internacional EMAS-IA: Enseñanza de la Matemática Aplicada y Sostenible con Inteligencia Artificial, realizado en el marco del XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología APANAC 2025.

1. INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 aceleró la adopción de tecnologías digitales y, en particular, de herramientas basadas en IA en los sistemas educativos de todo el mundo (Bozkurt et al., 2021; Bhatt & Muduli, 2023). En América Latina, este proceso se superpone con desigualdades históricas de acceso, conectividad y formación docente, lo que genera una "transformación asimétrica" de la educación matemática: mientras algunos contextos avanzan hacia escenarios de analíticas de aprendizaje y tutores inteligentes, otros apenas garantizan el acceso básico a plataformas virtuales (Banco Mundial, 2025b; Cobo, 2022).

En este contexto, la tesis doctoral de Keila Chacón-Rivadeneira se sitúa en la intersección entre didáctica de la matemática, inteligencia artificial y sostenibilidad educativa. La investigación se vincula directamente con el ecosistema de perfeccionamiento docente constituido por los diplomados EDEM (Estrategias Didácticas para la Educación Matemática) y EMAS (Educación Matemática Aplicada a Secundaria), así como con el simposio internacional EMAS-IA, realizado en el marco del XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología APANAC 2025 (Morales-Maure et al., 2025b).

Tomando como referencia la estructura de reportes de simposio propuesta por Kirsebom,

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Frazao y Padovese (2020) para el área de bioacústica y aprendizaje profundo, este artículo se presenta como un informe de avances que:

a. reconstruye el marco conceptual de la tesis EMAS-IA;
b. describe el contexto EDEM–EMAS y la evolución del modelo de Conocimiento Didáctico-Matemático del Profesor (CCDM);
c. presenta resultados preliminares sobre adopción de IA en educación matemática en América Latina; y
d. propone una agenda de desarrollo de "laboratorios de IA" para la docencia de matemáticas.

2. MARCO CONCEPTUAL

La tesis se apoya en un marco conceptual interdisciplinar que integra tres componentes principales: Modelos de IA y aprendizaje profundo. De forma análoga a cómo los modelos de deep learning procesan grandes volúmenes de datos acústicos para detectar patrones en bioacústica marina (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016; Kirsebom et al., 2020), en EMAS-IA la IA se concibe como un conjunto de modelos capaces de analizar trayectorias de aprendizaje, identificar patrones de error y generar recomendaciones para la enseñanza de la matemática.

Didáctica de la matemática y CCDM. El marco del Conocimiento Didáctico-Matemático del Profesor (CCDM), desarrollado en la tradición del Enfoque Ontosemiótico (EOS), permite caracterizar el conocimiento del docente en términos de configuraciones epistémicas, cognitivas, afectivas y mediacionales (Font et al., 2010; Morales-Maure et al., 2025). La IA se interpreta como una nueva capa de mediación que modifica tanto las configuraciones de práctica como los criterios de idoneidad didáctica.

Sostenibilidad, equidad y gobernanza de la IA. Estudios recientes subrayan que la adopción de IA en educación solo puede considerarse sostenible cuando se acompaña de marcos de gobernanza, regulaciones éticas y políticas de formación docente que reduzcan brechas de género y de territorio (Aldowah et al., 2019; UNESCO, 2023; Rodríguez-Venegas & Ramírez-Vargas, 2024). En América Latina, esto implica diseñar dispositivos formativos que atiendan de manera prioritaria a contextos rurales y poblaciones vulnerables (Bermello & Cabañas, 2023; Profuturo & OEI, 2024).

Desde esta perspectiva, la IA no se concibe como un mero "recurso tecnológico", sino como infraestructura cognitiva y política que reconfigura los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática y las formas de evaluación de la práctica docente.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. CONTEXTO EDEM–EMAS Y DISEÑO DE LA TESIS EMAS-IA

3.1. Evolución del CCDM en Panamá

La tesis se inscribe en una trayectoria de más de una década de trabajo en perfeccionamiento docente en educación matemática en Panamá. A partir de la implementación del diplomado EDEM y de su posterior creación de EMAS, el CCDM se ha consolidado como marco para analizar la práctica de docentes de primaria y secundaria, en colaboración con la Universidad de Panamá, la SENACYT y grupos de investigación internacionales (Morales-Maure et al., 2025; Chacón-Rivadeneira et., 2024).

En esta evolución, EMAS puede entenderse como una "segunda generación" del ecosistema de perfeccionamiento docente iniciado con EDEM, en la que el CCDM se operacionaliza a través de secuencias didácticas centradas en modelización matemática, resolución de problemas contextualizados y uso sistemático de tecnologías digitales.

Los módulos de EMAS integran explícitamente los criterios de idoneidad didáctica y el enfoque de Lesson Study como dispositivos para que los docentes analicen, rediseñen y vuelvan a implementar sus clases, generando evidencias sobre cómo las configuraciones epistémicas, cognitivas, afectivas y mediacionales del CCDM se transforman cuando se incorporan herramientas tecnológicas avanzadas.

En términos de producción académica, los resultados de EMAS han dado lugar a un estudio bibliométrico sobre tendencias de investigación en conocimiento didáctico y tecnología en educación matemática, donde se muestra que el CCDM se sitúa en la intersección entre marcos de didáctica de la matemática y marcos de integración tecnológica (TPACK, TPACK-XK), consolidando a EMAS como un caso de referencia en la región. Este análisis permite justificar que la tesis EMAS-IA no surge de manera aislada, sino como profundización de una línea de trabajo donde la tecnología y ahora la IA se concibe como mediadora del desarrollo del conocimiento didáctico-matemático del profesorado.

Asimismo, la articulación de EMAS con la tesis EMAS-IA se hace explícita en el estudio sobre adopción de IA en la educación matemática latinoamericana, donde EMAS funciona como uno de los contextos empíricos clave para la recolección de datos y el análisis de condiciones institucionales, barreras y oportunidades para la integración de IA en la práctica docente.

En ese trabajo, vinculado directamente al proyecto doctoral de Keila Chacón-Rivadeneira, se muestra cómo los docentes formados en EDEM-EMAS presentan perfiles diferenciados de competencias digitales, uso de tecnologías y apertura hacia la IA, en comparación con

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

otros colectivos de la región, lo que refuerza la idea de EMAS como plataforma privilegiada para explorar la evolución del CCDM en un escenario de transformación digital acelerada.

De este modo, la Evolución del CCDM en Panamá que recoge la Figura 2 no solo documenta una secuencia de programas (EDEM → EMAS → EMAS-IA), sino que representa la consolidación de una línea de investigación-acción donde el perfeccionamiento docente, la producción científica y la innovación en aula se retroalimentan: los datos generados en EMAS nutren los análisis bibliométricos y empíricos de la tesis, y, recíprocamente, los resultados de la investigación doctoral orientan el rediseño de los módulos EMAS-IA y de las futuras cohortes de programas de formación.

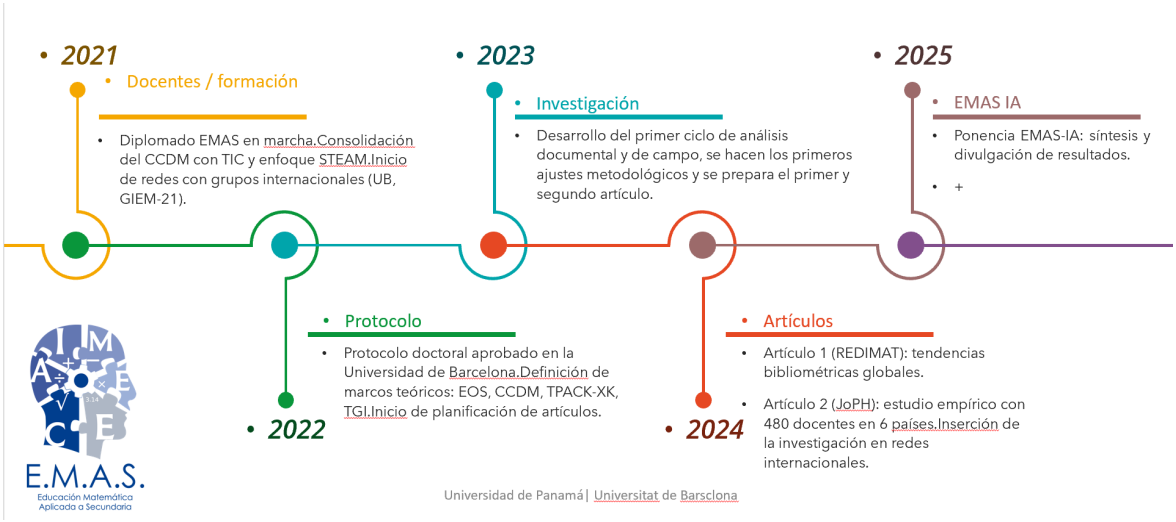


Figura 2. Evolución del CCDM en Panamá

La figura sintetiza hitos clave: diseño e implementación de EDEM con énfasis en estudios de clase y criterios de idoneidad; ampliación hacia EMAS con foco aplicado y perspectiva STEAM; consolidación de alianzas con la Universitat de Barcelona y otros socios; transición hacia EMAS-IA, donde la IA se incorpora explícitamente como objeto de estudio y como herramienta para analizar la práctica docente.

3.2. Cobertura, alcance y marcos teóricos integrados

La presentación EMAS-IA documenta la expansión territorial y disciplinar de estos programas.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

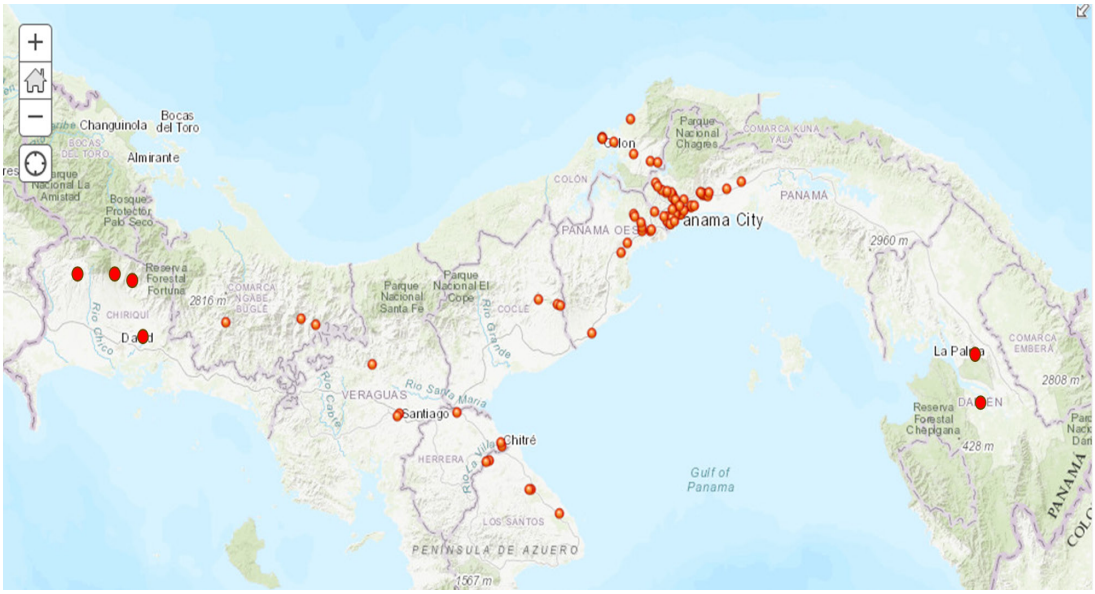


Figura 3. Cobertura y alcance de EMAS

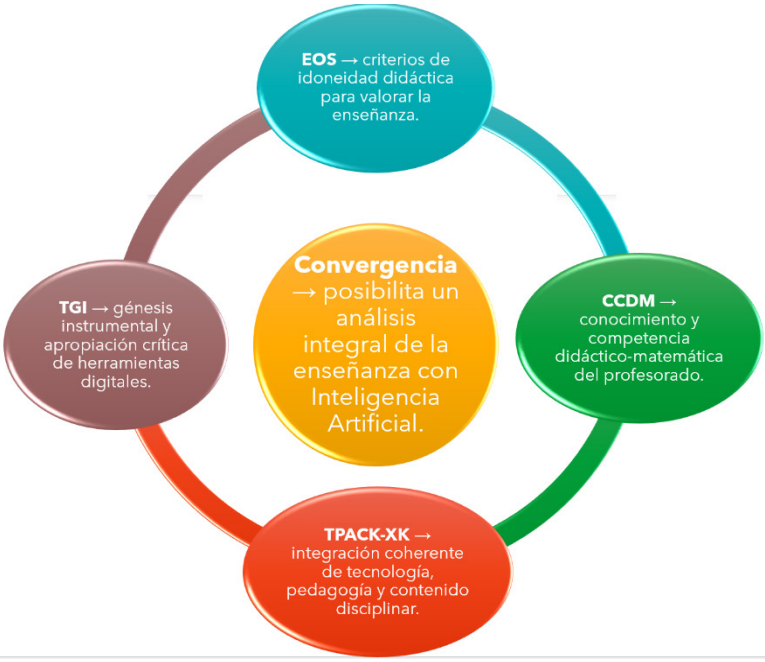


Figura 4. Marcos teóricos integrados en la tesis EMAS-IA

Estas figuras permiten situar la tesis doctoral dentro de un ecosistema de innovación que: combina marcos de didáctica de la matemática con teorías de integración tecnológica (TPACK, enfoques de competencias digitales); utiliza aulas virtuales y bancos de recursos como entornos de experimentación para el uso de IA (Bayounes et al., 2023; Chen, L.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

et al., 2020); comprende a los diplomados como “laboratorios vivos” donde se diseñan, implementan y evalúan secuencias didácticas mediadas por IA.

Durante el Simposio Internacional EMAS-IA, la Figura 3 fue empleada para mostrar de manera visual la amplitud geográfica y disciplinar de EMAS, destacando la participación de docentes de distintas provincias de Panamá y de otros países latinoamericanos, así como la diversidad de niveles educativos involucrados (primaria, premedia y media). Esta discusión permitió evidenciar que la tesis no se construye sobre un escenario piloto aislado, sino sobre una red consolidada de docentes en ejercicio que ya han transitado por procesos formativos estructurados en torno al CCDM, lo cual fortalece la validez ecológica de los resultados presentados.

Por su parte, la Figura 4 fue central en el simposio para explicitar cómo la tesis integra los marcos teóricos de referencia: el Enfoque Ontosemiótico (EOS), el modelo de Conocimiento Didáctico-Matemático del Profesor (CCDM), TPACK y las propuestas recientes sobre competencias digitales docentes. En las intervenciones de las expositoras se discutió cómo estos marcos se articulan en la práctica: por ejemplo, al diseñar secuencias de EMAS-IA en las que los docentes analizan configuraciones epistémicas y de práctica a la vez que toman decisiones sobre la selección y uso de herramientas de IA en aulas virtuales y contextos híbridos.

Asimismo, las figuras sirvieron como eje de diálogo entre las ponencias: desde la Universitat de Barcelona se enfatizó la consolidación teórica del CCDM y su vínculo con EOS; desde la Universidad de Panamá y la UCSC se presentaron experiencias de implementación de EMAS en contextos reales de aula; y desde el Tec de Monterrey se aportaron ejemplos de integración de analíticas de aprendizaje y entornos inmersivos como extensiones naturales de este entramado teórico. En conjunto, las discusiones del simposio subrayaron que la tesis EMAS-IA se apoya en un ecosistema en el que teoría, práctica, tecnología e investigación se retroalimentan de manera sistemática, reforzando la pertinencia de hablar de EMAS como un “laboratorio vivo” para estudiar la incorporación de la IA en educación matemática.

3.3. Objetivos y preguntas de investigación

La tesis plantea como objetivo general analizar cómo la adopción de herramientas de IA, en interacción con el CCDM y los contextos institucionales, transforma la enseñanza de la matemática en América Latina y, en particular, en Panamá.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Entre las preguntas de investigación destacan en este Simposio fue:
¿Qué patrones de adopción de IA se observan en docentes de matemáticas de distintos países y regiones latinoamericanas?
¿Cómo se relacionan las competencias digitales docentes, las percepciones sobre la IA y el apoyo institucional con la transformación de la práctica de aula?
¿De qué manera los dispositivos EMAS-IA (simuladores, entornos inmersivos, avatares con IA) inciden en las dimensiones del CCDM?

4. METODOLOGÍA Y RESULTADOS PRELIMINARES

4.1. Diseño mixto y participantes

La tesis adopta un diseño mixto secuencial explicativo (Creswell, 2014), combinando:
Fase cuantitativa: Encuesta en línea a 480 docentes de matemáticas de varios países latinoamericanos, con representación de Argentina, Brasil, México, Panamá, Chile y Colombia. Instrumento con secciones sobre competencias digitales, percepción de la IA, apoyo institucional y uso de IA en el aula y en el lugar de trabajo (Morales-Maure et al., 2025a).
Fase cualitativa: Entrevistas semiestructuradas a una submuestra de docentes de EMAS-IA. Análisis de secuencias didácticas que incorporan simuladores, entornos inmersivos y avatares generados por IA. Estudios de caso en profundidad en provincias con condiciones contrastantes de infraestructura y apoyo institucional.

Los datos cuantitativos se analizan mediante estadística descriptiva e inferencial (ANOVA, correlaciones, análisis de conglomerados), mientras que los datos cualitativos se procesan mediante codificación temática informada por los marcos CCDM y EOS (Rodríguez-Venegas & Ramírez-Vargas, 2024).

4.2. Diferencias regionales y brechas territoriales

Los resultados preliminares confirman que la adopción de IA en educación matemática es desigual entre países y regiones. Docentes de Argentina, Brasil y México reportan mayor uso de plataformas con analíticas de aprendizaje, sistemas adaptativos y herramientas de automatización de evaluación, en comparación con otros países de la región (Saat, Alias & Saat, 2024; Morales-Maure et al., 2025).

Desde el punto de vista territorial, se observan diferencias marcadas entre contextos urbanos y rurales, asociadas a niveles de conectividad, disponibilidad de dispositivos y existencia de programas de formación en IA (Bermello & Cabañas, 2023).

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

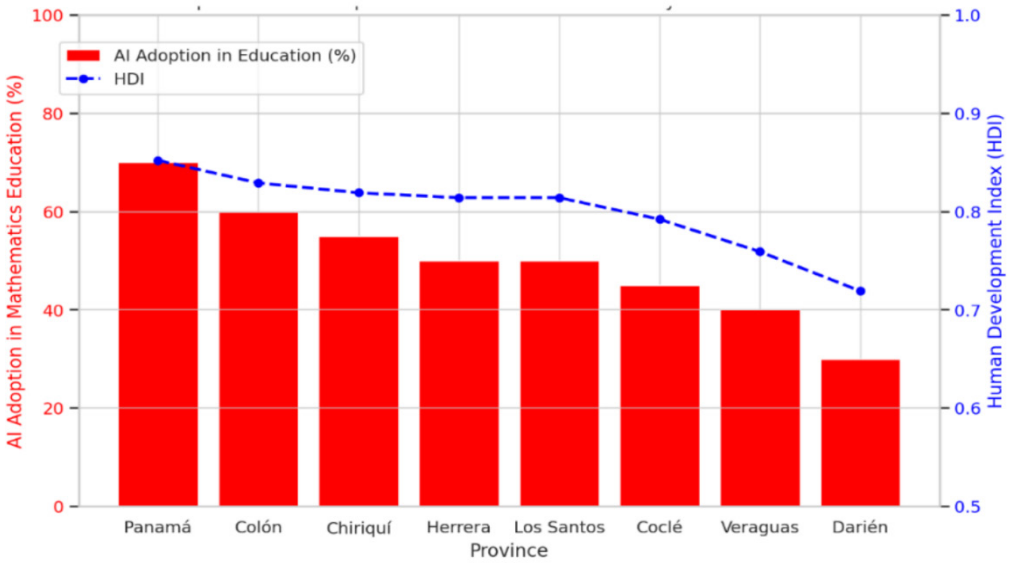


Figura 4. Comparación de adopción de IA en educación matemática por provincia

Esta figura, integrada en el informe de la tesis, permite visualizar cómo las provincias con mayor desarrollo económico y conectividad exhiben mayores índices de adopción de IA tanto en el aula como en el lugar de trabajo (World Economic Forum, 2023; World Bank, 2025a).

4.3. Perspectivas de género y competencias digitales

Un hallazgo central de la tesis es la presencia de brechas de género en la percepción y uso de la IA. En promedio, los docentes hombres reportan mayor confianza en sus competencias digitales y en su capacidad para integrar IA; sin embargo, las docentes mujeres declaran una preocupación más fuerte por la equidad de acceso y por el impacto de la IA en sus estudiantes, y demandan con más intensidad formación especializada (UNESCO, 2023; Torres et al., 2024).

Estos resultados dialogan con los diagnósticos recientes de la UNESCO sobre educación en la era de la IA, donde se subraya que la expansión acelerada de herramientas basadas en IA suele producirse sin marcos de política claros ni programas sistemáticos de alfabetización digital y ética para el profesorado, lo que amplifica las desigualdades existentes, incluidas las de género (UNESCO, 2023; Giannini, 2023). En particular, se advierte que menos del 10 % de las instituciones educativas dispone de lineamientos formales sobre el uso de IA en aula, y que las mujeres docentes se encuentran sobrerrepresentadas en contextos con menor acceso a infraestructura y formación, lo cual coincide con los patrones observados en la muestra de EMAS-IA.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

El trabajo de Torres et al. (2024) profundiza en esta dimensión al proponer marcos de política y prácticas sensibles al género para "empoderar" a las y los educadores en la era de la IA. Las autoras muestran que, aun cuando las docentes mujeres declaran niveles similares o superiores de compromiso pedagógico con la inclusión y la justicia social, se sienten menos seguras en el uso de herramientas avanzadas y reportan haber tenido menos oportunidades de formación específica en IA. Este patrón se observa también en los datos de la tesis: las docentes de EMAS-IA puntúan más alto en ítems relacionados con la preocupación por el impacto ético y social de la IA, pero menor autoeficacia en ítems vinculados a programación, analíticas de aprendizaje o diseño de experiencias inmersivas.

De acuerdo con estos estudios, la brecha no puede interpretarse como un "déficit individual" de las mujeres docentes, sino como el resultado de trayectorias formativas y condiciones institucionales diferenciadas: acceso desigual a dispositivos y conectividad, sobrecarga laboral y de cuidados, y menor participación en comunidades de práctica donde se experimenta con IA (UNESCO, 2023; Flores et al., 2025). En coherencia con ello, los datos de EMAS-IA sugieren que las estrategias para reducir la brecha deben ir más allá de ofrecer talleres genéricos de herramientas, e incluir espacios de co-diseño y liderazgo académico para las docentes en proyectos de IA educativa, así como políticas explícitas de equidad de género en la oferta de formación continua y en la asignación de recursos digitales.

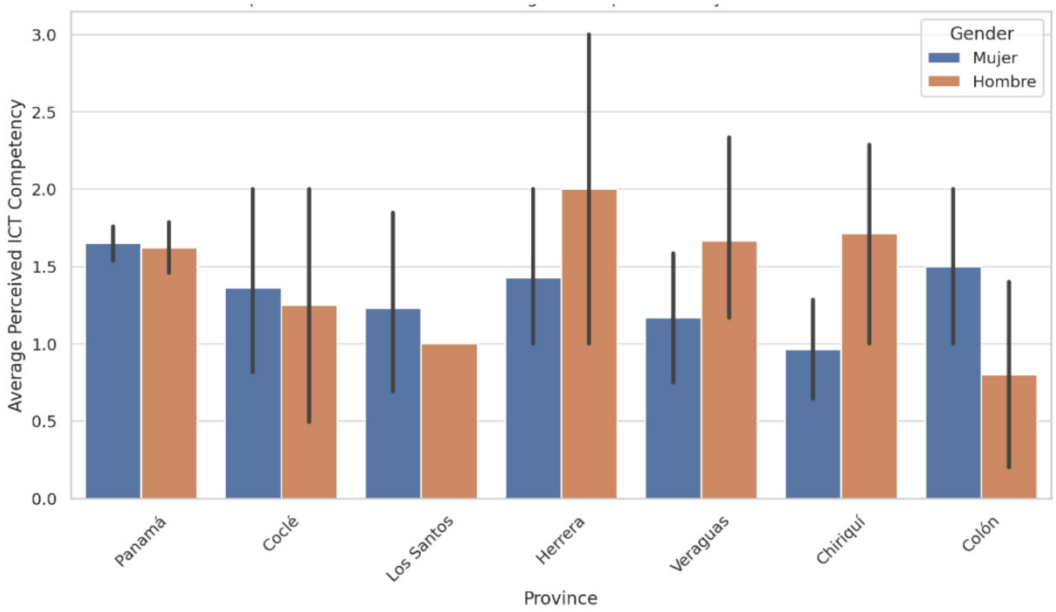


Figura 5. Percepción de competencias TIC del estudiantado por género y provincia

Estos resultados se interpretan a la luz de estudios previos que documentan cómo las desigualdades de género en STEM y en acceso a tecnologías se reproducen en la adopción

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

de IA, a menos que existan políticas y programas que aborden explícitamente estas brechas (Rodríguez & López, 2021; Salas-Pilco & Yang, 2022).

4.4. Apoyo institucional y uso de IA en el aula y el trabajo

La tesis identifica una relación positiva entre apoyo institucional y niveles de adopción de IA: docentes que reportan programas de formación, acompañamiento técnico y políticas claras de uso de IA muestran una integración más sofisticada de simuladores, entornos inmersivos y sistemas de recomendación en sus prácticas de aula (Aldowah et al., 2019; Bhatt & Muduli, 2023).

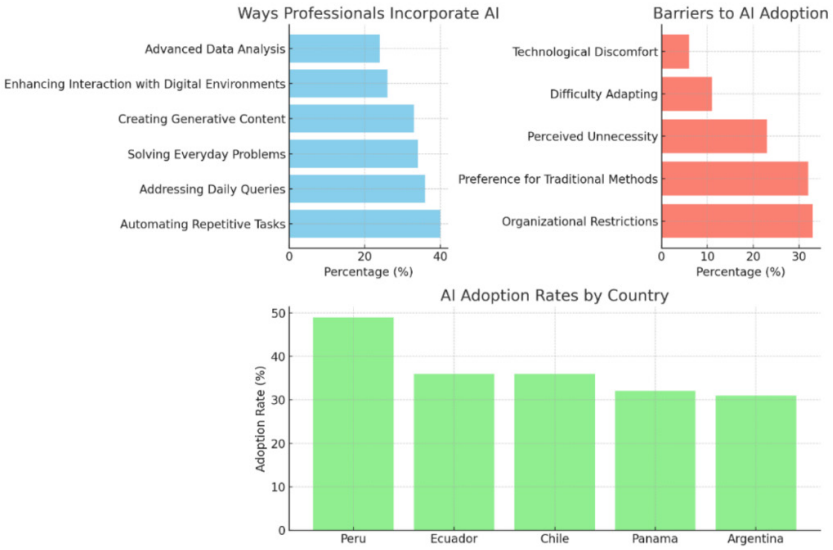


Figura 6. Uso de IA en el lugar de trabajo por país en América Latina

Esta figura muestra que, incluso más allá del ámbito escolar, la IA se está integrando de manera desigual en distintos sectores laborales, lo cual retroalimenta las expectativas y presiones sobre los docentes para incorporar estas tecnologías en la enseñanza (Frey & Osborne, 2017; Chen, H. et al., 2023).

5. LABORATORIOS DE IA PARA LA DOCENCIA DE MATEMÁTICAS: INNOVACIÓN EN EMAS-IA

Un aporte original de la tesis es la conceptualización de “laboratorios de IA para la docencia de matemáticas”, entendidos como espacios híbridos (virtuales y presenciales) donde se articulan: simuladores digitales interactivos para modelización de fenómenos reales; entornos inmersivos (realidad virtual/aumentada) para explorar objetos matemáticos complejos; avatares y agentes conversacionales generados por IA que actúan como mediadores didácticos.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

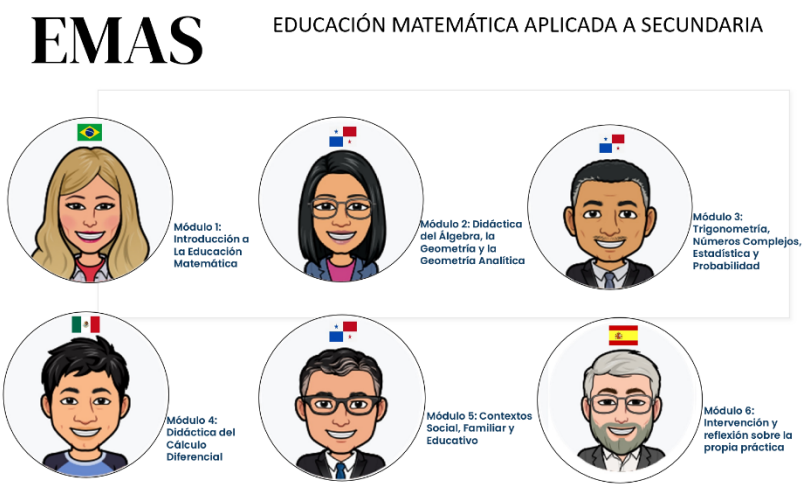


Figura 7. Innovación en EMAS: Avatares con IA como mediadores didácticos

Inspirándose en la lógica de los talleres de comunidad de práctica descritos por Kirsebom et al. (2020), estos laboratorios se conciben como dispositivos que: permiten a docentes no especialistas en informática experimentar con modelos de IA mediante interfaces amigables;
producen datos sobre la interacción profesor–estudiante–IA que pueden alimentar investigaciones futuras; sirven como "puente" entre la investigación en didáctica de la matemática y las políticas de formación docente (Flores-Vivar & García-Peñalvo, 2023; Smith et al., 2023).

6. CONCLUSIONES Y AGENDA DE LA TESIS DOCTORAL

Como informe de avances, este trabajo muestra que la tesis EMAS-IA se encuentra en una fase intermedia de desarrollo, con la fase cuantitativa concluida y la fase cualitativa en implementación. Los principales resultados preliminares pueden sintetizarse en cuatro puntos:

Adopción desigual y brechas estructurales. La IA se integra con mayor fuerza en contextos urbanos, con mejor conectividad y mayor inversión en infraestructura, lo que amenaza con profundizar la brecha digital entre territorios (Cobo, 2022; Profuturo & OEI, 2024).
Relevancia del género y de las competencias digitales. Las diferencias de género en percepción, formación y uso de la IA exigen políticas de formación docente con enfoque de equidad y estrategias específicas para empoderar a las docentes mujeres en el campo de la IA educativa (UNESCO, 2023; Torres et al., 2024).
Centralidad del apoyo institucional. Sin programas de formación continua, acompañamiento técnico y marcos normativos claros, la adopción de IA tiende a quedar reducida a experiencias

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

individuales o a usos superficiales (Aldowah et al., 2019; Bhatt & Muduli, 2023).
Potencial de los laboratorios de IA apoyados en EDEM–EMAS. El ecosistema EDEM–EMAS proporciona una plataforma privilegiada para diseñar, implementar y evaluar propuestas de IA en educación matemática que estén alineadas con marcos teóricos robustos como el CCDM y el EOS (Font et al., 2010; Morales-Maure et al., 2025b).

En las siguientes etapas de la tesis, se profundizará en el análisis cualitativo de las experiencias de aula con simuladores, entornos inmersivos y avatares, así como en el desarrollo de prototipos de herramientas de IA co-diseñadas con docentes de EMAS-IA. Se espera que estos resultados contribuyan tanto a la consolidación del campo de IA en educación matemática en América Latina como al diseño de políticas públicas de formación docente más justas y sostenibles.

REFERENCIAS

[1] Aldowah, H., Al-Samarraie, H., & Fauzy, W. M. (2019). ducational data mining and learning analytics for 21st-century higher education: A review and synthesis. Telematics and Informatics, 37, 13-49. https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.01.007

[2] Banco Mundial. (2025a). The AI revolution in education: What you need to know. Banco Mundial.

[3] Banco Mundial. (2025b). Transformación digital en la educación: Perspectivas para América Latina y el Caribe. Banco Mundial.

[4] Bayounes, W., Saâdi, I., & Hamroun, L. (2023). NajahniBot: An intelligent chatbot aware of educational context for adaptive learning. 2023 International Conference on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 1-5. https://doi.org/10.1109/INISTA59065.2023.10310456

[5] Bermello, A., & Cabañas, L. (2023). Innovación educativa en Latinoamérica: Desafíos y oportunidades del entorno digital. Innovación Educativa, 23(96), 134–145.

[6] Bhatt, P., & Muduli, A. (2023). Artificial intelligence in learning and development: A review of the literature. European Journal of Training and Development, 47(7–8), 677–694.

[7] Bozkurt, A., Karadeniz, A., Bañeres, D., Guerrero-Roldán, A., & Rodríguez, M. E. (2021). Emergency remote teaching: A paradigm shift in online education. Sustainability, 13(22).

[8] Chacón-Rivadeneira, K., Morales-Maure, L., & García-Marimón, O. (2024). Tendencias en la investigación sobre conocimiento didáctico y tecnología en la educación matemática: Un estudio bibliométrico. Journal of Research in Mathematics Education, 13(3), 220-244.

[9] Chacón-Rivadeneira, K., Morales-Maure, L., García-Marimón, O., Sáez-Delgado, F., Gutiérrez González, J., & Alfaro Ponce, B. (2024). Artificial intelligence adoption in Latin American mathematics education: Challenges and opportunities. Journal of Posthumanism, 4(3), 1141–1161. https://doi.org/10.63332/joph.v4i3.3195

[10] Chen, H., Liu, Y., & Roberts, J. (2023). The future of AI in education: Implications for teachers and learners. Journal of Educational Technology & Society, 26(4), 289–305.

[11] Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. IEEE Access, 8, 75264–75278.

[12] Cobo, C. (2022). Artificial intelligence and education in Latin America: Challenges and opportunities.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Educational Research Journal, 30(1), 99–113.
[13] Flores-Vivar, J. M., & García-Peñalvo, F. J. (2023). Reflections on the ethics, potential, and challenges of artificial intelligence in the framework of quality education (SDG4). Revista Científica de Comunicación y Educación Comunicar, 30(74), 35–44. https://doi.org/10.3916/c74-2023-03
[14] Font, V., Planas, N., & Godino, J. D. (2010). Modelo para el análisis didáctico en educación matemática. Infancia y Aprendizaje, 33(1), 89–105.
[15] Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? Technological Forecasting and Social Change, 114, 254–280.
[16] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press.
[17] Kirsebom, O. S., Frazao, F., & Padovese, B. (2020). Detection and classification in marine bioacoustics with deep learning: Workshop report. arXiv preprint arXiv:2002.08249
[18] Morales-Maure, L., Chacón-Rivadeneira, K., Garcia-Marimón, O., Sáez-Delgado, F., y Campos-Nava, M. (2025a). Mejora de la formación del profesorado de matemáticas en la educación superior: El papel del estudio de clases y los criterios de idoneidad didáctica en la innovación pedagógica. Tendencias en la Educación Superior, 4 (3), 39.
[19] Morales-Maure, L., García-Marimón, O., Chacón-Rivadeneira, K., Ponce, B. A., & Moll, V. F. (2025b). Between the Epistemic and the Affective: Mapping Didactic Suitability in Mathematics Education from a Territorial Perspective. Journal of Cultural Analysis and Social Change, 10(2), 195–206. https://doi.org/10.64753/jcasc.v10i2.1585
[20] Profuturo, & OEI. (2024). The future of artificial intelligence in mathematics education in Latin America. OEI.
[21] Rodríguez, N., & López, R. (2021). Bridging the digital divide in Latin American schools. Education Policy Review, 16(2), 75–89.
[22] Rodríguez-Venegas, S., & Ramírez-Vargas, S. (2024). Inteligencia artificial y educación matemática: una revisión sistemática. Uniciencia, 38(1), 357–372.
[23] Saat, N. A., Alias, A. F., & Saat, M. Z. (2024). Digital technology approach in mathematics education: A systematic review. International journal of academic research in progressive education and development, 13(4), 173-184.
[24] Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence and its role in Latin American education. International Journal of Educational Technology, 19(1), 26.
[25] Smith, T., Johnson, R., & Lee, H. (2023). AI and education: Transforming teaching and learning. Educational Review Journal, 28(1), 78–101.
[26] Torres, P., Castillo, J., & Méndez, S. (2024). Empowering educators in the age of AI: Gender-sensitive policies and practices. Educational Technology Review, 21(1), 61–78.
[27] UNESCO. (2023). Education in the AI era: Implications for teachers and students in Latin America. UNESCO.
[28] World Economic Forum. (2023). Future of jobs report 2023. World Economic Forum.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2805-1807
XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología
30 de septiembre al 3 de octubre 2025

El A-B-C de la investigación en neurociencias del envejecimiento del PARI-HD

Rodríguez-Araña, Sofía
INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
sofialerodarana@gmail.com| 0000-0002-0411-8431

Oviedo, Diana
INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
doviedo@indicasat.org.pa| 0000-0003-1987-5205

Santos, Luis
INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
guimej2022@gmail.com| 0009-0003-9536-0374

Rangel, Giselle
INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
grangel@indicasat.org.pa| 0000-0001-6825-3803

Villarreal, Alcibiades
INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
avillarreal@indicasat.org.pa| 0000-0002-6684-0593

Tratner, Adam
Florida State University
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
atratner@fsu.edu| 0000-0003-2439-4289

Britton, Gabrielle
CEVAXIN
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
gabrielle.britton@cevaxin.com| 0000-0002-1758-2495

Pauli-Quirós, Elianne
INDICASAT-AIP
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá
psic.espq@gmail.com| 0000-0002-3285-7805

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Liu, Marisol
Universidad Católica Santa María La Antigua
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá

Jaén, Ana Paula
Universidad Católica Santa María La Antigua
Ciudad de Panamá, Rep. Panamá

Abstract

In Panama, by 2020 adults aged 60 and older represented 12.4% of the population, and by 2050 it is projected to reach 24%. Despite this demographic increase, research on the key risk factors associated with aging has been limited in the Latin American and the Caribbean. This symposium brings together the latest findings from the Panama Aging Research Initiative – Health Disparities (PARI-HD), approaching various aspects of aging in Panama. Modifiable and non-modifiable risk factors for Alzheimer's disease (AD) are studied, particularly the ApoE4 allele, which has been linked to increased vulnerability and severity of viral infections such as hepatitis C, herpes simplex, HIV, and SARS-CoV-2.
PARI-HD also studies the relationship between blood-based biomarkers and cognitive function in older Panamanian adults to identify predictors of cognitive decline and neurodegenerative diseases such as AD. The combination of blood and cerebrospinal fluid biomarkers with brain imaging improves diagnostic accuracy, although its implementation poses bioethical and logistic challenges in resource-limited settings.
Given future possible health crises, the need for accessible alternatives that consider emotional, physical, and cognitive domains of older adults arise. Since pharmacological treatments for AD are limited, non-pharmacological interventions and teleneuropsychological evaluations surge as promising tools to preserve and improve quality of life, adapting primary care to local contexts and scientific progress.

Keywords: Aging, Biomarkers, Alzheimer's disease, Pathogens, Non-pharmacological Interventions.

Resumen

En Panamá, para 2020 las personas mayores de 60 años representaban el 12,4% de la población, y se proyecta que alcanzarán el 24% para el 2050. A pesar de este incremento demográfico, la investigación sobre los factores de riesgo asociados al envejecimiento ha sido limitada en la región. Este simposio reunió los avances del grupo Panama Aging Research Initiative – Health Disparities (PARI-HD), que aborda distintos aspectos del envejecimiento en el país. Se estudian los factores de riesgo modificables y no modificables de las demencias, particularmente la enfermedad de Alzheimer (EA), como el alelo ApoE4

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

como un factor de riesgo genético que incrementa la vulnerabilidad y severidad frente al SARS-CoV-2, así como frente a otras infecciones virales.
El PARI-HD investiga la relación entre biomarcadores en sangre y la función cognitiva en adultos mayores panameños, con el fin de identificar predictores del deterioro cognitivo y de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. La combinación de biomarcadores en sangre, líquido cefalorraquídeo e imágenes cerebrales mejora la precisión diagnóstica, aunque su implementación plantea retos éticos y logísticos en contextos de recursos limitados.
Ante la posibilidad de futuras crisis sanitarias, se enfatiza la necesidad de alternativas accesibles que consideren las dimensiones emocionales, físicas y cognitivas de las personas mayores. Dado que los tratamientos farmacológicos para la EA son aún limitados, las intervenciones no farmacológicas y las evaluaciones neuropsicológicas remotas surgen como herramientas prometedoras para preservar y mejorar la calidad de vida, adaptando la atención a las realidades locales y al progreso científico.

Palabras claves: Envejecimiento, Biomarcadores, Enfermedad de Alzheimer, Patógenos, Intervenciones no farmacológicas.

1. INTRODUCCIÓN

En Panamá, las personas mayores de 60 años representan el 12.4% de la población, y se estima que esta proporción alcanzará el 24% en 2050, reflejando un envejecimiento acelerado. A pesar de ello, la investigación sobre los factores biológicos, sociales y clínicos del envejecimiento ha sido limitada. En respuesta, surgió la Iniciativa de Investigación en Envejecimiento en Panamá–Disparidades en Salud (PARI-HD), dedicada a estudiar los determinantes de la salud cognitiva y del envejecimiento funcional en la población panameña.
Aunque el envejecimiento varía entre individuos, la edad sigue siendo el principal factor de riesgo para el deterioro cognitivo y las demencias, especialmente la enfermedad de Alzheimer (EA). Actualmente, más de 55 millones de personas viven con demencia en el mundo, una cifra que podría alcanzar los 150 millones para 2050, con un impacto particularmente alto en América Latina y el Caribe debido a limitaciones diagnósticas, de atención médica e investigación [1]. Además de la edad y las enfermedades crónicas, la genética también influye. Estudios recientes muestran que el alelo ApoE4, de la apolipoproteína E, se asocia con mayor susceptibilidad a infecciones virales como hepatitis C, herpes simple, VIH y COVID-19, sugiriendo una interacción entre genética e inmunidad.
La investigación local también explora biomarcadores sanguíneos asociados a la EA para

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

avanzar hacia diagnósticos más tempranos y accesibles. En este simposio se presentaron hallazgos sobre ApoE, exposición a patógenos y biomarcadores, así como la necesidad de protocolos éticos adaptados al contexto panameño para la comunicación de resultados. Asimismo, se destacaron nuevas líneas de trabajo en intervenciones no farmacológicas y el uso de tecnología para promover un envejecimiento saludable y digno en Panamá.

1. Asociaciones del Riesgo: ApoE y Patógenos en la neurodegeneración

A. La contribución de la ApoE al envejecimiento saludable y a la enfermedad

En los últimos años ha tomado relevancia la identificación de factores modificables y no modificables asociados al riesgo y progresión de enfermedades neurodegenerativas. Entre los factores genéticos no modificables, el gen de la apolipoproteína E (ApoE) destaca como el más estudiado en la enfermedad de Alzheimer (EA) esporádica, debido a su participación en el metabolismo lipídico y los procesos de reparación neuronal [2]. ApoE presenta tres isoformas principales (ε2, ε3 y ε4): el alelo ε4 es el principal factor genético de riesgo para la EA de inicio tardío; el ε3 se asocia con un perfil neutro o incluso protector; y el ε2 muestra efectos variables dependiendo del contexto poblacional.

En Panamá, estudios han demostrado que portar el alelo ε4 aumenta hasta cinco veces el riesgo de deterioro cognitivo leve y EA, además de asociarse con menor rendimiento en cognición global, así como en memoria y funciones ejecutivas, independientemente del diagnóstico clínico [3]. Aunque la frecuencia del ε4 en Panamá varía con respecto a otras regiones, su impacto sobre la cognición es igualmente relevante, posiblemente modulado por factores ambientales, educativos y sociales. Estos hallazgos subrayan la necesidad de modelos de envejecimiento adaptados al contexto latinoamericano que integren genética, biomarcadores y determinantes sociales de la salud, con el fin de promover un envejecimiento saludable en la región.

B. Infecciones y función cognitiva: evidencias desde la población adulta mayor en Panamá

La hipótesis infecciosa de la EA propone que diversos virus, bacterias, parásitos y hongos pueden actuar como desencadenantes o moduladores de los procesos neurodegenerativos [4]. Infecciones sistémicas pueden inducir respuestas inflamatorias persistentes en el sistema nervioso central, favoreciendo la agregación de β-amiloide (Aβ) y la hiperfosforilación de tau, y un ciclo de inflamación y daño neuronal progresivo [5]. Además, se ha planteado que tanto Aβ como tau podrían desempeñar funciones antimicrobianas adaptativas que se desregulan con el envejecimiento, especialmente cuando la capacidad inmunitaria de la microglía disminuye.

En Panamá, un estudio retrospectivo examinó la relación entre exposición a patógenos y función cognitiva en adultos mayores [6]. La muestra incluyó 96 personas con deterioro

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

cognitivo y 69 sin deterioro (2011-2015). Se determinaron anticuerpos contra Toxoplasma gondii, Trypanosoma cruzi, Treponema pallidum, HSV-1, citomegalovirus, Helicobacter pylori y Chlamydia pneumoniae, junto con biomarcadores inflamatorios. La seropositividad múltiple fue significativamente mayor en el grupo con deterioro cognitivo, incluso tras ajustar por edad, sexo, educación y estatus socioeconómico. Además, una mayor carga infecciosa se asoció con niveles elevados de IL-6, TNF-α, CRP y sVCAM-1, correlacionados con peor desempeño cognitivo.

Un análisis complementario del estudio PARI-HD en 182 adultos mayores cognitivamente sanos confirmó que la exposición acumulada a HSV-1, C. pneumoniae y T. gondii se relacionaba con menor rendimiento en memoria y atención [7]. Además, evidencia experimental mostró que la coestimulación con LPS y Aβ activa el inflamasoma NLRP3, aumentando IL-1β y respaldando la existencia de un mecanismo inmunoinflamatorio común entre infecciones por bacterias Gram+ y elementos característicos en la EA. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la exposición crónica a patógenos puede constituir un factor ambiental relevante en el deterioro cognitivo y la EA. Esto podría tener particular relevancia en contextos como el panameño y latinoamericano, donde las infecciones persitentes y la carga inflamatoria sistémicas son prevalentes, lo que refuerza la necesidad de estrategias preventivas integradas en la salud pública y envejecimiento saludable.

2. Biomarcadores y Bioética: Perspectivas para un futuro más preciso y más humano

A. Marcadores biológicos sanguíneos se asocian con la función cognitiva en adultos mayores panameños sin deterioro

El envejecimiento poblacional en América Latina y el Caribe ha incrementado la prevalencia de enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer (EA), lo que impulsa la búsqueda de biomarcadores sanguíneos de riesgo y progresión como herramientas costo-efectivas y no invasivas para reducir su impacto individual y social [8]. En este estudio se examinó la relación entre biomarcadores y función cognitiva en 468 adultos mayores panameños sin demencia (edad media = 69.9 años; 76.3% mujeres) de la cohorte PARI-HD. Un subgrupo de 276 participantes aportó muestras en ayunas para cuantificar α2-macroglobulina (α2M), interleucina-5 (IL-5), polipéptido pancreático (PP), amiloide-β40 (Aβ40), amiloide-β42 (Aβ42) y cadena ligera de neurofilamentos (NfL). El 25.7% presentó el genotipo APOE4, principal factor genético de riesgo para EA. La cognición se evaluó con una batería de nueve pruebas que abarcaron cognición global, atención, funciones ejecutivas, memoria, lenguaje, habilidades visuoespaciales y velocidad de procesamiento.

Los análisis de regresión jerárquica revelaron asociaciones significativas entre biomarcadores

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

y dominios cognitivos, especialmente en aprendizaje verbal, memoria a largo plazo, funciones ejecutivas y lenguaje. El NfL mostró las relaciones más consistentes: niveles elevados se asociaron con peor rendimiento cognitivo, mientras que concentraciones bajas de Aβ40/Aβ42 sugirieron posible depósito amiloide. Las variables demográficas y clínicas explicaron entre el 15% y 19% de la varianza cognitiva, y los biomarcadores añadieron cerca del 5% adicional, un efecto modesto pero significativo. Estos hallazgos respaldan el potencial de los biomarcadores sanguíneos como herramientas accesibles y no invasivas para el tamizaje del riesgo cognitivo en países en desarrollo, integrando además factores inmunológicos, metabólicos y de estilo de vida relevantes en el contexto latinoamericano.

B. Implicaciones éticas y prácticas de la divulgación de resultados en estudios clínicos con personas mayores

La divulgación de resultados de biomarcadores en estudios sobre la enfermedad de Alzheimer (EA) plantea importantes desafíos éticos y práctico. El avance del paradigma diagnóstico basado en biomarcadores abre la posibilidad de identificar la EA en etapas preclínicas, lo que obliga a definir con precisión cuándo y cómo comunicar esta información a participantes y pacientes [9]. El modelo biomédico evitó divulgar resultados para minimizar un posible impacto psicológico negativo. Sin embargo, estudios recientes muestran que la mayoría de los participantes desea conocer sus resultados, apelando a su autonomía y derecho a la información. Cuando la comunicación se realiza de forma clara, y empática, no se observan aumentos significativos en ansiedad o depresión. No obstante, estos hallazgos tienen una generalización limitada, ya que provienen principalmente de muestras con alta escolaridad y sin deterioro cognitivo.

Se propone un modelo ético de cinco pasos para la comunicación de biomarcadores: (1) evaluar la pertinencia de la prueba; (2) ofrecer educación previa y obtener consentimiento informado; (3) realizar la prueba en una cita separada; (4) comunicar los resultados con empatía y lenguaje accesible; y (5) brindar seguimiento para atender reacciones emocionales. Este enfoque busca equilibrar el respeto por la autonomía con la obligación de evitar daño psicológico.

En países de ingresos medios y bajos, como Panamá, los retos son mayores: el acceso a pruebas y tratamientos sigue siendo limitado; no existen protocolos ni legislación que garanticen la confidencialidad de los resultados; y las poblaciones locales continúan subrepresentadas en la investigación. Estas limitaciones subrayan la necesidad de protocolos culturalmente adaptados que integren educación, apoyo emocional y principios éticos contextualizados. Una divulgación ética y responsable debe promover la autonomía, la dignidad y el derecho a la información, fortaleciendo la confianza en la investigación y favoreciendo un modelo de atención centrado en la persona.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

3. Conectados al futuro: adaptabilidad e intervenciones en tiempos inciertos

A. Conectando Futuros: Teleneuropsicología

La pandemia por COVID-19 provocó que los países tomen medidas reestrictivas como cuarentenas y aislamiento social de las personas. Estas medidas que alteraron el funcionamiento normal de las instituciones de salud, empresas y entornos sociales. Fue necesario adaptar y explorar alternativas que permitieran continuar brindando servicios esenciales para la población, particularmente en los sectores de salud mental. La teleneuropsicología se ha consolidado como una herramienta esencial para la evaluación y el tratamiento de personas con acceso limitado a servicios presenciales. Sin embargo, hay escasos estudios en América Latina, lo que resalta la necesidad de generar evidencia sobre su factibilidad y desarrollar datos normativos adaptados a las poblaciones locales. Desde PARI-HD se constituye el primer piloto en Centroamérica orientado a evaluar la viabilidad de un protocolo de teleneuropsicología y establecer datos normativos para adultos mayores panameños [10]. Se propone un estudio transversal derivado del proyecto Development and Validation of Teleneuropsychology Normative Data for Older Adults (FLOAT), con una muestra prevista de 150 participantes mayores de 50 años [11]. Los resultados preliminares confirman la factibilidad del protocolo, evidenciada por la disponibilidad de recursos, herramientas y aceptación por parte de los participantes. Este estudio pionero en Panamá y la región centroamericana resalta el potencial de la teleneuropsicología como alternativa viable y eficiente para la evaluación cognitiva en adultos mayores.

B. Iniciativa CUIDAR: Programa piloto de intervención multidominio para la prevención del deterioro cognitivo en adultos mayores en Panamá

La iniciativa CUIDAR es un programa piloto de intervención multidominio desarrollado en Panamá para prevenir el deterioro cognitivo en adultos mayores mediante estrategias no farmacológicas. Surge ante la eficacia limitada de los tratamientos farmacológicos, los cuales pueden aliviar síntomas, pero no prevenir la demencia. Su diseño se fundamenta en evidencia que indica que entre el 45% y 56% de los casos de demencia se relacionan con factores modificables como baja escolaridad, diabetes, hipertensión y aislamiento social[2]. El ensayo finlandés FINGER fue el primero en demostrar que las intervenciones multidominio pueden mejorar la cognición. En 2018, este enfoque se expandió globalmente a través del consorcio WW-FINGERS. Panamá forma parte de esta red y ha realizado el primer estudio piloto con 43 adultos entre 60 y 80 años, asignados aleatoriamente a tres grupos: control activo, intervención física y cognitiva, e intervención física. Los resultados mostraron mejoras en aprendizaje, memoria a largo plazo y habilidades visoespaciales, reducción de síntomas depresivos y mayor calidad de vida [12].

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

CONCLUSIONES

Este simposio del equipo PARI-HD refleja el compromiso de Panamá con la generación de conocimiento científico contextualizado sobre el envejecimiento y la salud cognitiva. Los hallazgos proteómicos, la influencia del alelo ApoE ε4, la exposición a patógenos y los biomarcadores sanguíneos evidencian la interacción entre factores genéticos, inmunológicos y sociales en la neurodegeneración, destacando la necesidad de modelos integradores adaptados a la realidad latinoamericana. Se subraya la importancia de avanzar en enfoques éticos y culturalmente sensibles para entrega de resultados de biomarcadores, fortaleciendo la autonomía de las personas mayores.

Además, la incorporación de estrategias como la teleneuropsicología y la iniciativa CUIDAR muestra la capacidad del equipo para adaptar herramientas diagnósticas e intervenciones preventivas a contextos con recursos limitados, manteniendo la calidad y accesibilidad. Estas líneas de investigación —que abarcan ciencia básica, ética e innovación— no solo buscan comprender los mecanismos del envejecimiento, sino también mejorar la calidad de vida de las personas mayores mediante la integración de ciencia, tecnología y principios éticos. Este enfoque multidisciplinario refuerza la visión de un envejecimiento saludable, activo y digno en Panamá.

Referencias

[1] Global Burden of Disease, “Global, regional, and national burden of diseases and injuries for adults 70 years and older: systematic analysis for the Global Burden of Disease 2019 Study,” BMJ, p. e068208, Mar. 2022, doi: 10.1136/bmj-2021-068208.

[2] G. Livingston et al., “Dementia prevention, intervention, and care: 2024 report of the Lancet standing Commission,” The Lancet, vol. 404, no. 10452, pp. 572–628, Aug. 2024, doi: 10.1016/S0140-6736(24)01296-0.

[3] D. C. Oviedo et al., “Apolipoprotein ε4 Affects Multiple Domains of Neuropsychological Functioning in a Sample of Elderly Hispanics,” Journal of Alzheimer’s Disease, vol. 82, no. s1, pp. S313–S319, June 2021, doi: 10.3233/JAD-200921.

[4] Y. Rajesh and T.-D. Kanneganti, “Innate Immune Cell Death in Neuroinflammation and Alzheimer’s Disease,” Cells, vol. 11, no. 12, p. 1885, June 2022, doi: 10.3390/cells11121885.

[5] M. Sochocka, B. S. Diniz, and J. Leszek, “Inflammatory Response in the CNS: Friend or Foe?,” Mol Neurobiol, vol. 54, no. 10, pp. 8071–8089, Dec. 2017, doi: 10.1007/s12035-016-0297-1.

[6] G. A. Rangel et al., “The association of specific and cumulative exposure to infectious agents with cognitive impairment in older Hispanic adults,” Journal of Alzheimer’s Disease Reports, vol. 9, p. 25424823251361066, Jan. 2025, doi: 10.1177/25424823251361066.

[7] B. Muñoz et al., “Relación de la exposición individual o múltiple en patógenos infecciosos, el desempeño cognitivo y biomarcadores inflamatorios en una muestra de personas mayores en Panamá,” presented at the XX Congreso APANAC 2025, Panama City, Panamá, Oct. 2025.

[8] A. Hardy-Sosa et al., “Diagnostic Accuracy of Blood-Based Biomarker Panels: A Systematic Review,” Front. Aging Neurosci., vol. 14, p. 683689, Mar. 2022, doi: 10.3389/fnagi.2022.683689.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

[9] E. A. Largent, J. D. Grill, K. O'Brien, D. Wolk, K. Harkins, and J. Karlawish, "Testing for Alzheimer Disease Biomarkers and Disclosing Results Across the Disease Continuum," Neurology, vol. 100, no. 21, pp. 1010–1019, May 2023, doi: 10.1212/WNL.0000000000206891.
[10] L. G. Santos, A. R. Perez-Lao, D. C. Oviedo, G. B. Britton, and G. E. Smith, "A Pilot Study to evaluate feasibility of a teleneuropsychological protocol in older adults in Panama and Florida," Alzheimer's & Dementia, vol. 20, no. S3, p. e090965, Dec. 2024, doi: 10.1002/alz.090965.
[11] L. G. Santos Mejía, D. C. Oviedo, A. Perez-Lao, G. B. Britton, and G. Smith, "A Teleneuropsychological Battery for Assessing Older Panamanian Adults: Protocol for a Cross-Sectional Pilot Feasibility Study," JMIR Res Protoc, vol. 14, p. e68520, Aug. 2025, doi: 10.2196/68520.
[12] E. S. Pauli-Quirós et al., "Effects of a cognitive and physical intervention program in older adults in Panama," Alzheimer's & Dementia, vol. 20, no. S3, p. e086255, Dec. 2024, doi: 10.1002/alz.086255.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.

https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3068
Obra bajo licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/