

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,

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.

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.

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.

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 | <i>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</i> | Castillo, Verónica; Guerra, Gisselle & Broce, Kathia |
| Bahía de Chame | 2020 | <i>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, ICAMPPF</i> | Barrios, Roselvy & Grey, Ariel |
| Estuario del Río Caimito | 2022 | <i>Distribución de indicadores microbianos a lo largo del gradiente de salinidad del estuario del Río Caimito, La Chorrera (Panamá Oeste)</i> | Acosta, Higinia & Aparicio, Cilinia |
| Playa Río Mar, San Carlos | 2023 | <i>Calidad del agua de una playa del Pacífico de Panamá: condiciones fisicoquímicas y bacterias fecales</i> | Vergara-Chen, Carlos, et. al. |
| | 2023 | <i>Calidad del agua y flujo de CO2 en el estuario del Río Salado, Bahía de Chame, Pacífico de Panamá</i> | Martínez, Gabriela, et.al. |
| Estuario del Río Salado, Bahía de Chame | 2024 | <i>Spatiotemporal variation of hydrological and bacteriological conditions in the estuary of Río Salado-Bahía de Chame</i> | Gaitán, David, et. al. |
| | 2024 | <i>Distribución de nutrientes en un estuario de manglar en la Bahía de Chame</i> | 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

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 ($\approx 7-7,5$ mg·L⁻¹), mientras que Playa Hermosa presentó las temperaturas más elevadas ($\sim 30,5$ °C) y el menor OD (~ 4 mg·L⁻¹), indicando condiciones térmicamente estables pero con deficiencia de oxígeno. Playa Teta y el estuario del río Caimito mostraron valores intermedios ($\sim 29-30$ °C; OD ≈ 5 mg·L⁻¹), en tanto que el estuario del río Salado registró 29,2 °C y OD $\approx 4,5$ mg·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·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 fosfato 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

y durante periodos de alta esorrentía [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 esorrentía 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 esorrentía 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

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 CO₂ 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 Bahía 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 Environmental 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

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.