

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

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

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).

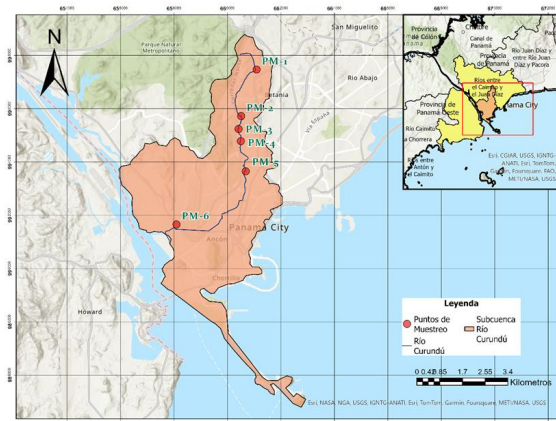


Figura 1- Área de Estudio y Red de puntos de Monitoreo

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

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

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.

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

Puntos de muestro	Valoración de ICA-NSF					
	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 muestro (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.

Puntos de muestro	Valoración de Índice de Calidad de Hábitat					
	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

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,

- agosto de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1029/2023cn000226>
- [7] A. Cornejo et al., “Protocolo de biomonitorio 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.