

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), $\text{NH}_3\text{-N}$ (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

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), $\text{NH}_3\text{-N}$ (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

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].

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 ($\text{NH}_3\text{-N}$) y fosfato (PO_4^{3-}).

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·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·L ⁻¹	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Nitrato mg·L ⁻¹	0,01 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00
Nitrógeno Amoniacal mg·L ⁻¹	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Fosfato mg·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 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. 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 Sequestration 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;WGROU: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/>.