



## Evaluación de la calidad del agua de la Laguna Costera de Cacao, Honduras

### *Water quality assessment of the Cacao Coastal Lagoon, Honduras*

Ronald David Castellón-Garay<sup>1</sup>, Marcela Patricia Garay-Canales<sup>2</sup>, Ela Roxana Rivera-Núñez<sup>\*2</sup>, Amado Enrique Navarro-Frómata<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Campus Atlántida, Departamento de Biología, <sup>2\*</sup>Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Campus Atlántida, Departamento de Química,

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Puebla, México

Correos electrónicos: ronald.castellon@unah.edu.hn, marcelagarayc@gmail.com,

\*ela.rivera@unah.edu.hn y navarro4899@gmail.com

\*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / *Corresponding author*

Recibido / *Received*: Octubre / *October* 05, 2025

Aceptado / *Accepted*: Noviembre / *November* 01, 2025

Publicado / *Published*: Junio 30, 2026 (Número 2, Julio-Diciembre) / *June 30, 2026 (Number 2, July-December)*

#### **Resumen**

El presente trabajo se llevó a cabo como parte de un proyecto de vinculación en el Centro Regional Universitario del Litoral Atlántico de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH Campus Atlántida). Su propósito principal fue evaluar la calidad del agua en una zona específica de un humedal marino costero ubicado en el Departamento de Jutiapa. Esta iniciativa tuvo como objetivo generar los primeros resultados derivados de la aplicación del Índice de Calidad Ambiental del Agua Marina para Flora y Fauna en aguas estuarinas. Dicho índice constituye una herramienta clave para identificar tanto las fuentes como las posibles causas de contaminación que afectan la calidad del agua en entornos marinos. El monitoreo se realizó durante el año 2022 y los resultados despertaron un notable interés entre las comunidades cercanas. Este tema reviste gran relevancia para los estudios limnológicos, ya que facilita una mejor comprensión del funcionamiento de los humedales como ecosistemas. Además, a través de análisis específicos, se lograron determinar distintos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos presentes en el agua.

**Palabras clave:** Estudios limnológicos, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

#### **Abstract**

*This study was conducted as part of a community outreach project at the Atlantic Coast Regional University Center of the National Autonomous University of Honduras (UNAH Atlántida Campus). Its main purpose was to evaluate water quality in a specific area of a coastal marine wetland located in the Department of Jutiapa. This initiative aimed to generate the first results derived from the application of the Marine Water Environmental Quality Index for Flora and Fauna in estuarine waters. This index is a key tool for identifying both the sources and potential causes of pollution that affect water quality in marine environments. Monitoring was carried out during 2022, and the results generated considerable interest among nearby communities. This topic is highly relevant to limnological studies, as it facilitates a better understanding of how wetlands function as ecosystems. Furthermore, through specific analyses, various physicochemical and bacteriological parameters present in the water were determined.*

**Keywords:** *Limnological studies, physicochemical and bacteriological analysis*

## **Introducción**

### **Las lagunas costeras y su importancia ecológica**

Las lagunas costeras (LC) son cuerpos de agua continentales, generalmente ubicados paralelos a la costa, separados del mar por barreras naturales como dunas, arrecifes o islas y conectados a este por

---

una o más entradas restringidas que permanecen abiertas, al menos de forma intermitente por esta ubicación. Existen LC en todos los continentes y ocupan el 13% de las costas mundiales y pueden ser de agua dulce, salobre o salada, dependiendo de su conexión con el mar (que puede ser alterada antropogénicamente permitiendo la entrada de especies marinas), las fuentes de agua dulce que las alimentan y la extracción de agua (Marín-Coria et al., 2025; Xian et al., 2025). En este sentido, se ha reportado la influencia de las descargas de agua dulce subterránea y su papel en los aportes de nutrientes y contaminantes a estos sistemas (Rodríguez-Puig et al., 2025). Las LC se encuentran entre los ecosistemas más productivos y de mayor importancia ecológica a nivel mundial, con una rica biodiversidad, proporcionando una amplia gama de servicios ecosistémicos (SE) esenciales, como la regulación del clima, el control de la erosión costera, la filtración y consecuente purificación del agua, la recarga de acuíferos costeros, la captura de carbono, así como recursos pesqueros y espacio para actividades turísticas que sustentan a las poblaciones locales (Madaula et al., 2026; Yetein et al., 2025a,b).

Su privilegiada ubicación geográfica y su riqueza las convierten en ecosistemas marinos muy amenazados por el impacto antrópico derivado de la urbanización sin control (con los cambios en el uso del suelo y la deforestación que la acompañan), el vertimiento de aguas residuales sin el tratamiento requerido lo que conlleva el aporte de contaminantes emergentes, metales pesados y de nutrientes de origen humano con la consiguiente eutrofización que, combinada con la acidificación, los cambios en los patrones de precipitación y de los vientos, el calentamiento de los océanos y las intrusiones del mar por el aumento de su nivel y la salinización, alteran su dinámica, afectan su diversidad microbiana y planctónica, incrementan su vulnerabilidad y puede dar como resultado que se conviertan en zonas muertas (Adjei Sowah, 2025; Ahmed et al., 2025; Ganugapenta et al., 2025; Keneally et al., 2025; Roca et al., 2025; Sala-Mirete et al., 2025).

#### **La gestión adecuada de las lagunas costeras**

Un factor importante para una adecuada gestión de las LC es ir más allá de un monitoreo de las variables fisicoquímicas de sus aguas, primer paso para evaluar a estos ecosistemas y pasar a un enfoque basado en la biodiversidad y su evaluación en conjunto con indicadores biológicos, así como de la alteración de los servicios ecosistémicos para detectar a tiempo las tendencias negativas mencionadas (Belart et al., 2025; Che et al., 2025; Gaglio et al., 2024; Guerrero-Gómez et al., 2025). Los daños a las LC pueden ser revertidos adoptando soluciones de ingeniería, pero también se han referido la importancia de la bioremediación y la biomanipulación para restaurar el equilibrio entre las especies que habitan en las LC sin dejar de considerar el papel que debe jugar la población local en la restauración de sus servicios ecosistémicos, partiendo de su comprensión de los mismos (Amorim et al., 2025; Ma et al., 2025; Yetein et al., 2025b)

#### **Las lagunas costeras en Honduras**

En Honduras existen al menos 25 lagunas costeras, siendo la extensión de espejo de agua de aproximadamente 1,222 km<sup>2</sup>, representando el 89% de los cuerpos de aguas lénticos del país (el 11% restante son lagunas de agua dulce). A nivel de Centroamérica representan el 49% de extensión de lagunas costeras, siendo la laguna de Karataska la de mayor tamaño a nivel del istmo con 545 km<sup>2</sup>. En cuanto a la distribución el 90.17% de las lagunas costeras se encuentran en la Moskitia, el 9.4% entre los departamentos de Colón y Cortés y un 0.34% en Islas de la Bahía (Carrasco y Flores, 2009; Carrasco y Caviedes, 2014; PREPAC, 2005).

Por supuesto, las LC y sus sistemas de manglares han estado sometidas a las presiones antrópicas y climáticas ya mencionadas. La destrucción de los manglares en Honduras ha tenido graves consecuencias, como la alteración de los patrones de drenaje, el aumento de la intrusión salina y el agotamiento de las poblaciones de peces en las regiones del Pacífico y el Atlántico hondureños. Además, esta pérdida ha provocado la exposición de la costa a la erosión, las inundaciones y los daños causados por eventos extremos (Osorto-Nuñez, 2025).

---

## Evaluación de la calidad del agua

Existen diversos protocolos para evaluar la calidad del agua en ecosistemas marinos y costeros. El Índice de Calidad del Agua Marino (ICAM) y el Índice de Calidad del Agua (ICA) son dos de los más utilizados. Hay muchas versiones del ICA, siendo la propuesta por Brown y colaboradores en 1970 una de las más utilizadas (Uddin et al., 2021). Ambos índices permiten evaluar el impacto de las actividades humanas sobre la calidad del agua y su capacidad para soportar vida marina, ayudando en la toma de decisiones para la conservación y recuperación de estos ecosistemas (Vivas-Aguas et al., 2025).

Generó interés como un primer paso a la evaluación de la calidad del agua de la Laguna "El Cacao", situada en el litoral Atlántico de Honduras. Esta LC no cuenta con ningún estudio previo relacionado con la calidad del agua o ambiental excepto por un estudio puntual de "Mamíferos del Parque Nacional Nombre de Dios, con nuevos registros para el Departamento de Atlántida, Honduras", donde se menciona la laguna como sitio de muestreo (Mérida Colindres y Cruz, 2014).

## Materiales y métodos

### Región de estudio

La Laguna de Cacao se encuentra en el Departamento de Atlántida, Honduras, cerca de la costa caribeña, en el municipio de Jutiapa, a orillas de la aldea El Cacao y dentro del Parque Nacional Nombre de Dios, accesible desde la carretera La Ceiba-Trujillo. Es conocida por sus extensos manglares, vida silvestre como monos y aves, y actividades como kayak, con un acceso que implica caminar desde la aldea para llegar a los embarcaderos. Según la tipología definida por Ramsar para la clasificación de humedales esta se define como una laguna costera de agua salobre o un sistema lagunar estuarino. Tiene un espejo de agua con una extensión de 0.3125 km<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 3.85 metros (PREPAC, 2005). Se comunica directamente con el mar a través de una pared vertical y profundas que comunica océanos o mares conocida como BE, que se abre unos 50 metros de ancho en los meses lluviosos y, en los meses de menos lluvias, forma una barra de arena que la separa del mar.

La vegetación del litoral lagunar está representada por una franja densa de *Rhizophora mangle*. También existe una franja densa de manglar en el frente del litoral marino asociado con *Acrostichum aureum*. El color del agua es oscuro rojizo, posiblemente por taninos del manglar y aportes húmicos de las zonas de bosque inundable y pantanos adyacentes. El agua dulce proviene del Parque Nacional Nombre de Dios, de cuencas cortas y en buenas condiciones de conservación. Los principales tributarios son los ríos Salitran, Quebrada El Venado, Quebrada La Bruja. Estas drenan a una zona pantanosa al oeste, que tiene comunicación hidrológica con la laguna. Quebrada de Arena que drena directamente y el río Papaloteca que durante las lluvias las aguas de inundación llegan a El Cacao. (Carrasco y Flores, 2009).

### Muestreo y análisis

Para el muestreo del agua se tomaron 8 puntos que reflejaron la situación a lo largo de la laguna, (Tabla 1 y Figura 1). Se establecieron ocho puntos de muestreo distribuidos estratégicamente a lo largo de la Laguna El Cacao con el propósito de representar la variabilidad espacial y ambiental del sistema lagunar y por la cercanía a zonas con actividad antrópica.

En cada uno de los puntos de monitoreo se realizaron mediciones de profundidad total utilizando un medidor marca HawkEye-DT1H. Posteriormente, se realizó la medición de transparencia del agua utilizando un disco de Secchi (DS), para luego estimar la zona fótica (zona donde llega aproximadamente el 1% de luz). Así mismo, se efectuaron mediciones paramétricas *in situ* de las variables fisicoquímicas en la columna de agua cuando fue posible para obtener perfiles de 0 a 4m de los siguientes datos: Oxígeno disuelto (OD, mg/L), conductividad eléctrica (Ce,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura del agua (T, °C), potencial de hidrógeno (pH) y salinidad (PSU). El equipo utilizado fue un equipo multiparamétrico de la marca Hanna HI98194.

**Tabla 1.** Puntos de muestreo

Punto	Lugar de referencia	Latitud N	Longitud O	H (MSNM)
1	Barra de la laguna	15°48'16.25"	86°32'21.99"	12
2	Canal	15°48'14.59"	86°32'21.82"	12
3	Centro (canal cercano a la barra)	15°48'9.46"	86°32'29.10"	12
4	Desembocadura Quebrada de Adán (llamado Canal Pitungo)	15°47'58.63"	86°32'31.88"	12
5	Centro (cercano a desembocadura Quebrada de Arena)	15°47'56.92"	86°32'40.01"	12
6	Cercano a la desembocadura	15°47'54.08"	86°32'49.80"	12
7	Desembocadura Quebrada El Venado (llamado Pelusa)	15°47'52.10"	86°32'51.82"	12
8	Cerca del muelle	15°47'47.44"	86°32'48.91"	12

**Figura 1.** Ubicación de los puntos de muestreo según la Tabla 1 (Fuente elaboración propia)

Por otro lado, haciendo uso de una botella tipo Van-Dorn con capacidad volumétrica de 1 litro se procedió a coleccionar las muestras integradas de agua a diferentes profundidades.

Las muestras bacteriológicas se coleccionaron en la capa superficial del agua depositándose en frascos de plástico debidamente etiquetados preservadas en hielo, almacenadas y transportadas hasta su ingreso al Laboratorio de Análisis Ambientales de la UNAH-Campus Atlántida y el Laboratorio de Análisis Industriales MQ con el objetivo de determinar las variables descritas en la Tabla 2.

Los análisis de las muestras se realizaron según los Standard Methods de la APHA-AWWA-WEF (APHA, 2021).

**Tabla 2.** Índices fisicoquímicos y bacteriológicos determinados en el laboratorio

Índice y abreviatura	Método	Unidades
Clorofila-a, Clor-a	10200H	mg/m <sup>3</sup> o µg/L
Coliformes totales, CT	4500H A	NMP/100mL
Coliformes termotolerantes, CTT	4500H A	NMP/100mL
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO <sub>5</sub>	5210 B	mg/L
Demanda química de oxígeno, DQO	5220 D	mg/L
Fosfatos, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	324	mg P/L
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	265	mg NO <sub>3</sub> /L
Solidos sedimentables, SS	2540 F	mg/L
Solidos suspendidos totales, SST	2540 D	mg/L
Turbidez, Tur	2130 B	UNT

## Resultados y discusión

### Índice de datos fisicoquímicos y bacteriológicos

En la Tabla 3 se muestran los valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de los 8 puntos en donde se realizó el muestreo con valores medios.

**Tabla 3.** Valores de los índices fisicoquímicos y bacteriológicos determinados en el laboratorio

Índice	Valores medios ± desviación estándar								Límite	Referencia
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Clor-a	24.9	11.5	15.05	8.11	12.98	10.01	11.46	8.66	30	USEPA, 2024
CT	<b>3352</b>	<b>1740</b>	<b>9609</b>	<b>7830</b>	<b>9230</b>	<b>31050</b>	<b>13440</b>	<b>13695</b>	1000	Asean, 2025
CTT	50	50	<b>250</b>	50	0	<b>300</b>	100	<b>150</b>	100	Asean, 2025
DBO <sub>5</sub>	<b>29.5</b>	<b>20.5</b>	<b>25.7</b>	<b>21.1</b>	<b>25.8</b>	<b>22.1</b>	<b>20.04</b>	<b>18.5</b>	3	CPCB, 2025
DQO	<b>128.4</b>	<b>78.3</b>	<b>85.1</b>	<b>85.97</b>	<b>82.57</b>	<b>95.3</b>	<b>85.97</b>	<b>80.02</b>	8	MEGJ, 2025
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>510</b>	<b>240</b>	<b>500</b>	<b>440</b>	<b>300</b>	<b>430</b>	<b>700</b>	<b>250</b>	30	LFD, 2025
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>2300</b>	<b>600</b>	<b>2250</b>	<b>2150</b>	<b>150</b>	<b>1200</b>	<b>900</b>	<b>1300</b>	60	ASEAN, 2025
SST	0.9	1.89	<b>36.74</b>	2.15	3.5	4.17	<b>31.68</b>	1.89	30	LFD, 2025
Tur	<b>13.6</b>	<b>9.62</b>	<b>7.83</b>	3.67	3.03	<b>11.9</b>	3.31	4.3	5	CCME, 2025

Notas: Los valores que exceden los límites seleccionados se distinguen en negritas cursivas y color rojo para 8 puntos de muestreo con ejemplo de 9 parámetros fisicoquímicos (mg/L) y bacteriológicos (NMP/100 mL)

La referencia en término de agua estearina no se visualiza en la Norma Técnica Nacional para la Calidad de agua potable en Honduras, es por ello que se hace referencia a reglamentos internacionales; los resultados reflejan un deterioro de la calidad del agua asociado principalmente con contaminación orgánica y bacteriológica, con posibles aportes provenientes de actividades humanas, escorrentía y acumulación de materia orgánica dentro del ecosistema lagunar.

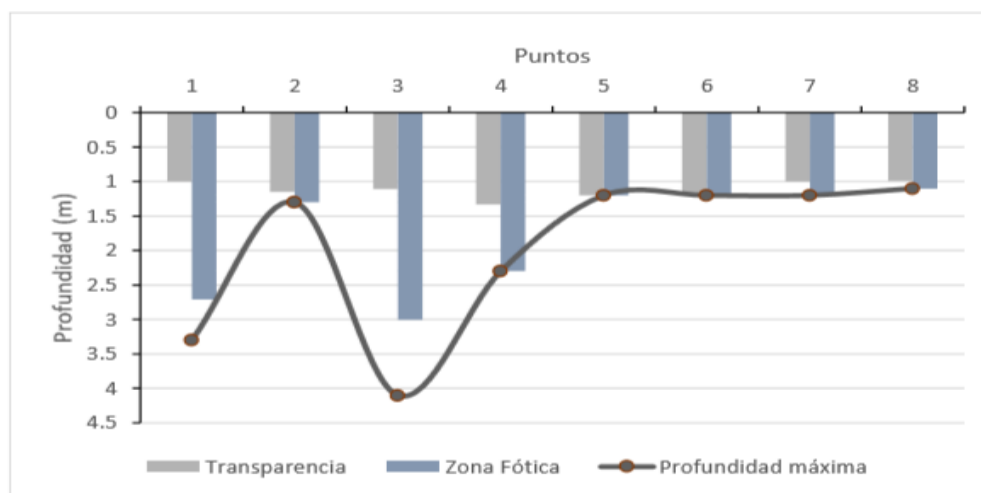
Los resultados correspondientes a nutrientes, sólidos suspendidos totales y turbidez evidencian diferencias espaciales en la calidad del agua de la Laguna El Cacao y permiten identificar posibles procesos de eutrofización. Por ejemplo, en la Tabla 3 se puede visualizar que los coliformes totales (CT) superaron ampliamente el límite de 1000 NMP/100 mL en todos los puntos de muestreo, evidenciando contaminación microbiológica en todo el sistema lagunar. El Punto 6 presentó la mayor concentración con 31,050 NMP/100 mL, mientras que el Punto 2 registró el menor valor con 1,740

NMP/100 mL; las concentraciones de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) oscilaron entre 240 y 700 mg/L, superando ampliamente el límite de referencia de 30 mg/L, los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) presentaron valores entre 150 y 2300 mg/L, excediendo igualmente el límite de referencia de 60 mg/L en todos los puntos evaluados.

Los valores de la temperatura estuvieron entre los 28.95 y 31.95°C, con un promedio de 30.21±1.02°C, estando dentro de los límites adecuados, considerando el clima de la región. El oxígeno disuelto presentó un promedio de 4.21±0.47 mg/L en todo el espejo de agua, siendo el Punto 8 el que registró la mayor concentración con 4.96 mg/L, y el Punto 6 la menor concentración con 3.75 mg/L. Esto lo sitúa por debajo de la normatividad mexicana de 5 mg/L (LFD, 2025).

Los valores de pH presentaron también un comportamiento uniforme, con un promedio de 6.86±0.08, con un pH máximo de 6.96 (punto 5) y un mínimo de 6.68 (Punto 1), manteniéndose dentro de los límites de las aguas naturales de 6–9 (LFD, 2025). La conductividad eléctrica presentó un comportamiento espacial homogéneo indicando que los puntos de muestreo poseen similares concentraciones de iones solubles, con un valor medio de 13.52  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ±0.11, lo que indica una mineralización baja. La salinidad mostró un comportamiento homogéneo entre 7.84 y 7.81±0.08 PSU característico de aguas hiposalinas. La turbiedad presentó los valores más altos en los Puntos 1 y 6 (13.6 y 11.90 FNU), superando los estándares canadienses para agua de calidad adecuada para la vida acuática también en los puntos 2 y 3 (CCME, 2025).

La transparencia promedio fue de 1.12 m, con una zona fótica que varió entre 0.99 m y 3.01 m, dependiendo de la profundidad. Se observó la relación entre profundidad y la zona fótica, donde esta última tuvo la tendencia de incrementarse según fue aumentando la profundidad. Es por ello, que los valores más altos para la zona fótica se encontraron en los Puntos 3 con 3.01 m y el Punto 1 con 2.71 m. Los demás puntos de muestreo (2, 4, 5, 6, 7 y 8) al poseer profundidades entre 2.3 y 0.99 m registraron valores para la zona fótica correspondientes a la totalidad de la profundidad de la columna de agua. Es importante tomar en cuenta que los datos de transparencia del agua pueden tener influencia de la descomposición de la materia orgánica, el horario de la toma de muestra y la visibilidad relativa del muestreador. En la Figura 2 se identifica la relación de profundidad, transparencia y zona fótica de los ocho puntos en la Laguna de Cacao.



**Figura 2.** Relación de la profundidad, transparencia y zona fótica en los puntos de muestreo en la Laguna El Cacao

Los SST mostraron valores por debajo del límite permisible para la vida acuática excepto en los puntos 3 y 7. En cuanto a la DBO<sub>5</sub> y la DQO, muestran el impacto de contaminantes en todos los puntos,

---

superando los valores límites escogidos. En general, su relación indicó una materia orgánica con baja biodegradabilidad.

Con relación a los nutrientes, las concentraciones de nitratos superaron por mucho el límite seleccionado, lo que puede estar relacionado con los aportes a la laguna de flujos y escurrimientos vinculados a la agricultura y la ganadería que se desarrollan en las cercanías.

Las concentraciones de fosfatos también indican posibles aportes de las actividades agropecuarias. Si se considera que los  $\text{PO}_4^{3-}$  representan el fósforo total, excepto los puntos 2, 5 y 7 que se pueden catalogar como eutróficos, los demás se pueden clasificar como hiper-eutróficos de acuerdo con la normativa canadiense consultada, para ríos y lagos (CCME, 2025).

En cuanto a los parámetros biológicos se obtuvieron los siguientes resultados:

Clorofila a: La concentración varió entre 8.11 y 24.9  $\text{mg/m}^3$ , clasificándose como óptima para el desarrollo fitoplanctónico, influenciada por nutrientes y condiciones ambientales. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, *USEPA*, todos los puntos se pueden clasificar como eutróficos (7-30, *USEPA*, 2024), aunque no es descartable que esto ayude a mantener densas comunidades fitoplanctónicas.

Coliformes totales y termotolerantes: Se registraron valores elevados de coliformes totales en todos los puntos, superando el límite seleccionado. Esto indica que el cuerpo de agua se encuentra amenazado por la contaminación biológica. Sin embargo, según la propuesta de Norma de Usos de Agua, para la preservación de la flora y fauna el valor máximo permisible es de 25,000 NMP del Comité Técnico Nacional de Calidad del Agua (CAPRE, 2001), siendo este valor superado solamente en el Punto 6 cercano a la desembocadura de la Quebrada El Venado.

Por otro lado, los valores para coliformes termotolerantes superan el límite muestrado en los puntos 3, 6 y 8, indicando el posible impacto de actividades turísticas o descargas no controladas. Para la preservación de la flora y fauna el valor máximo permisible para coliformes termotolerantes según la normatividad colombiana es de 5,000 NMP (CAPRE, 2001) por lo que, de acuerdo con ella, en ningún punto este valor fue superado.

### **Índice de Calidad del Agua (ICA)**

La calidad del agua Laguna El Cacao utilizada para uso recreativo, vida acuática, uso agrícola, industrial, o con fines de navegación se clasifica en los resultados obtenidos del ICA oscilaron con un máximo de 63 (Punto 5) indicando calidad regular del agua, y con un mínimo de 41.7 indicando mala calidad para el Punto 6 (Tabla 4). Los puntos de muestreo 2, 5 y 8 son clasificados con la propuesta de ICA de Brown como Calidad de Agua Regular, lo cual indica un impacto incierto para la pesca, aunque no existe riesgo para la salud, pero se encuentra en condiciones estuarinas elevadas en tema de proliferación de crecimiento de bacterias lo que puede provocar deterioro en su futuro inmediato. Los puntos de muestreo 1, 3, 4, 6 y 7 indican índice de mala calidad evidenciando que la vida acuática es limitada a especies resistentes, por su elevada presencia de colonias UFC de coliformes fecales.

### **Índice de la calidad ambiental del agua/Indicador de la calidad de las aguas marinas (ICAM<sub>PFF</sub>)**

La calidad ambiental del agua de la Laguna El Cacao mediante la utilización del ICAM<sub>PFF</sub> para aguas estuarinas, indica que los ocho puntos de muestreo presentan una calificación "Pésima" con resultados que van de 16.09 para el Punto 7 a 23.55 para el Punto 8 (Tabla 5). La escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras ICAM (Vivas-Aguas et al., 2025) es referente al reglamento del país Colombia. La Norma Técnica Nacional de Calidad de agua potable de Honduras permite hacer referencia al tipo de aguas naturales como es el agua potable. Por ello, se utilizó como referencia la aplicación de ICAM de Colombia, la cual define a las categorías en 5: Una es llamada óptima de escala entre 100 – 90.01 la cual indica calidad excelente del agua, la segunda es

llamada adecuada con escala de calidad entre 90-70.01 definida como agua con buenas condiciones para la vida acuática. La tercera categoría es llamada aceptable la cual define 70-50.01 llamada como agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones del uso. La cuarta categoría es llamada inadecuada con una escala de 50–25.01 la cual comprende al agua que presenta muchas restricciones de uso y, finalmente, la última categoría llamada pésima, con una una escala de 25-0 indica a las aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado.

**Tabla 4.** Calificaciones del Índice de Calidad del Agua (ICA) aplicado en la Laguna El Cacao en la escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras ICAM

Punto	Valor del ICAM	Calidad
1	44.26	Mala
2	51	Regular
3	42.34	Mala
4	47.6	Mala
5	63	Regular
6	41.7	Mala
7	47	Mala
8	51	Regular

**Tabla 5.** Calificaciones obtenidas del análisis del indicador de la calidad de las aguas marinas ICAM<sub>PFF</sub>

Punto	Valor del ICAM <sub>PFF</sub>	Calidad
1	16.17	Pésima
2	23.23	
3	16.19	
4	16.46	
5	17.80	
6	16.43	
7	16.09	
8	23.55	

### Acciones a futuro

De manera complementaria se requiere el desarrollo de estudios integrales que permitan la caracterización cuantitativa de los principales parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del ecosistema lagunar, con la visión de mejorar la comprensión de su dinámica ambiental y fortalecer la toma de decisiones en materia de gestión y conservación.

Para vigilar la evolución de la calidad del agua de la laguna es necesaria la generación de estudios integrales que permitan cuantificar la mayoría de los bienes y servicios ecosistémicos de los manglares, considerando la importancia económica, social y cultural que éstos representan para las comunidades costeras que en ellos habitan (ICF, 2023).

En este enfoque por ecosistemas la población hondureña será el componente integral de los ecosistemas de humedales. Se llevará a cabo una gestión adaptada para responder a la naturaleza compleja y dinámica de los ecosistemas y a la deficiencia de conocimientos que se poseen sobre el

funcionamiento de los mismos. (MiAmbiente, 2017), lo que ha sido recomendado por estudiosos de sistemas costeros (López-Vila y Schmitter-Soto, 2025).

## Conclusiones

- La Laguna El Cacao mostró un comportamiento homogéneo en muchas de las variables fisicoquímicas, aunque existen puntos con ciertas anomalías, como en el Punto 6, donde se presentan altos niveles de turbidez y coliformes
- Los valores de oxígeno disuelto y DBO<sub>5</sub> fueron indicadores de una posible contaminación orgánica en algunos puntos
- La eutrofización es una constante preocupación debido a las altas concentraciones de nitratos y fosfatos que podrían generar desequilibrios ecológicos en la laguna.
- Este análisis contribuye a una comprensión más profunda de las condiciones actuales de la Laguna El Cacao y resalta la necesidad de un manejo adecuado para preservar su calidad hídrica y ecológica.
- Se recomienda establecer un programa de divulgación entre diferentes actores (gobierno, academia, sociedad civil, alcaldía) vinculados con la protección de los recursos naturales específicamente al recurso hídrico que indica el aumento de la eutrofización con un posible trabajo de desarrollo de un plan de monitoreo con un mínimo de dos muestreos anuales incluyendo la temporalidad estacional: Epoca lluviosa y seca. Factiblemente se podría realizar un seguimiento de un trabajo consiguiendo financiamientos mediante estudios de propuestas a organizaciones gubernamentales o no gubernamentales.

## Glosario

Término	Significado
BE	Pared vertical y profunda que comunica océanos o mares
CT	Coliformes totales
DS	Disco de Secchi
ICA	Índice de Calidad del Agua
ICAM	Índice de Calidad del Agua Marino
ICAM <sub>PFF</sub>	Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para la Preservación de Flora y Fauna. Es un indicador ambiental diseñado para evaluar el estado y la calidad de los cuerpos de agua marinos. Su objetivo principal es medir la viabilidad ambiental para el sostenimiento de la biodiversidad ( <a href="https://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/protocoloindicadorcalidadambientaldeaguaicampff.pdf">https://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/protocoloindicadorcalidadambientaldeaguaicampff.pdf</a> )
LC	Lagunas costeras
MSNM	Metros sobre el nivel del mar
NMP	Número más probable
NTU, FNU,	Siglas en inglés para unidades de turbidez <sup>11</sup>

<sup>11</sup> Turbidity units NTU, FNU, FTU, FAU, and JTU. NTU stands for Nephelometric Turbidity Unit and signifies that the instrument is measuring scattered light from the sample at a 90-degree angle from the incident light. FNU stands for Formazin Nephelometric Units and also signifies that the instrument is measuring scattered light from the sample at a 90-degree angle from the incident light. FNU is most often used when referencing the ISO 7027 (European) turbidity method. NTU is most often used when referencing the USEPA Method 180.1 or Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. When formazin was initially adopted as the primary reference standard for turbidity, units of FTU or Formazin Turbidity Units were used. These units, however, do not specify how the instrument measures the sample. FAU or Formazin Attenuation Units signify that the instrument is measuring the decrease in transmitted light through the sample at an angle of 180 degrees to the incident light. This type of measurement is often made in a spectrophotometer or colorimeter and is not considered a valid turbidity measurement by most regulatory agencies. A JTU or Jackson Turbidity Unit is a historical unit used when measurements were made visually using a Jackson Candle Turbidimeter. Water was poured into a tube until a flame underneath the tube could no longer be distinguished. The turbidity units NTU, FNU, FTU, AND FAU are all based on calibrations using the same formazin primary standards. Therefore when a formazin standard is measured, the value for each of these units will be the same, however the value on samples may differ significantly / Unidades de turbidez NTU, FNU, FTU, FAU y JTU. NTU significa Unidad de Turbidez Nefelométrica e indica que el instrumento mide la luz dispersada por la muestra en un ángulo de 90 grados con respecto a la luz incidente. FNU significa Unidades

<b>Término</b>	<b>Significado</b>
FTU, FAU, JTU	
PSU	Siglas en inglés para <i>Practical Salinity Unit (PSU)</i> <sup>12</sup>
SE	Servicios ecosistémicos

## Reconocimientos

Las y los autores(as) agradecen a los(as) revisores(as) anónimos(as) sus valiosos comentarios. Cualquier error encontrado es responsabilidad de los(as) autores(as).

## Referencias bibliográficas

- Adjei Sowah, A.N. 2025. Vegetation loss of the Muni coastal lagoon: Implications for ecosystem services and climate impacts. *Watershed Ecology and the Environment*. 8: 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2025.07.002>
- Ahmed, M.A., Soussa, H., Hamed, A.M., El Safty, H. 2025. Numerical modeling of hydrodynamic and water quality impacts of wastewater discharges in coastal Lagoons: A case study of Ria Formosa. *Ain Shams Engineering Journal*. 16(8):103482. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103482>
- Amorim, R.M., Gaudie-Ley, L.W., Aguiar, M., Sant'Anna, P. da S., Freitas, A. da S., Caetano, L.F., Póvoa, A.A., Santos, C.S.G., Folly, E., Silva, E.C., Neto, J.A. B. 2025. The role of bioremediation in mitigating urban expansion impacts on coastal lagoons: A comparative study of Araçatiba and Padre Lagoons, Rio de Janeiro. *Marine Pollution Bulletin*. 217(8):118048. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118048>
- APHA, AWWA, WEF. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21st ed.). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Estados Unidos.
- ASEAN. 2025. *Marine Water Quality Management Guidelines and Monitoring Manual 1st Edition*. ISBN 9780980413915. Consultado 11/12/2025. <https://www.h2i.sg/wp-content/uploads/ASEAN-MarineWaterQualityManagementGuidelinesandMonitoringManual.pdf>
- Belart, P., Figueiredo, M.S.L., Laut, L., Fontana, L., Tostes, P., Rocha, A.V., Bonetti, C., Frontalini, F., Bouchet, V.M.P., Lorini, M.L. 2025. Using benthic foraminifera as bioindicators of environmental change in coastal lagoons. *Marine Environmental Research*. 210(1):107280. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107280>
- Carrasco, J.C., Caviedes, V. 2014. Diagnóstico de los Ecosistemas Marino-Costeros y de Agua Dulce de Honduras: Basado en Análisis de Viabilidad, Amenazas y Situación. Tegucigalpa (Honduras): Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre/United States Agency for International Development, ProParque. Pp. 1-102. <https://angelarandazzoememann.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/01/diagnostico-ecosistemas-marino-costeros-y-de-agua-dulce-de-honduras-inveca.pdf>
- Carrasco, J.C., Flores, R. 2009. *Inventario Nacional de Humedales de la República de Honduras*. SERNA-DIBIO-USAID/MIRA. Pp. 1-250. [https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/36545686/documents/HN2456\\_descr190718.pdf](https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/36545686/documents/HN2456_descr190718.pdf)
- CCME. 2025. *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Canadian Council of Ministers of Environment. Consultado 11/12/2025. Disponible en: <https://ccme.ca/en/summary-table>
- Che, X., Zhang, M., Li, W., Zhao, Y., Zhao, X., Peng, Y., Grossi, A.A., Pang, Z., Zou, F. 2025. Lower reclamation of coastal lagoon conserves higher waterbird assemblage phylogenetic diversity. *Global Ecology and Conservation*. 62e03803. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2025.e03803>

Nefelométricas de Formazina e indica igualmente que el instrumento mide la luz dispersada por la muestra en un ángulo de 90 grados con respecto a la luz incidente. FNU se utiliza con mayor frecuencia al referirse al método de turbidez ISO 7027 (europeo). NTU se utiliza con mayor frecuencia al referirse al Método 180.1 de la USEPA o a los Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales. Cuando la formazina se adoptó inicialmente como estándar de referencia principal para la turbidez, se utilizaron unidades FTU o Unidades de Turbidez de Formazina. Sin embargo, estas unidades no especifican cómo el instrumento mide la muestra. Las unidades FAU (Unidades de Atenuación de Formazina) indican que el instrumento mide la disminución de la luz transmitida a través de la muestra en un ángulo de 180 grados con respecto a la luz incidente. Este tipo de medición se realiza generalmente en un espectrofotómetro o colorímetro y la mayoría de los organismos reguladores no la consideran una medición válida de turbidez. La unidad JTU (Unidad de Turbidez de Jackson) es una unidad histórica utilizada cuando las mediciones se realizaban visualmente con un turbidímetro de vela de Jackson. Se vertía agua en un tubo hasta que la llama debajo del tubo ya no era visible. Las unidades de turbidez NTU, FNU, FTU y FAU se basan en calibraciones que utilizan los mismos patrones primarios de formazina. Por lo tanto, cuando se mide un patrón de formazina, el valor para cada una de estas unidades será el mismo; sin embargo, el valor en las muestras puede diferir significativamente ([https://support.hach.com/myhach/s/article/KA-en-US-TE407-1000336?language=en\\_US](https://support.hach.com/myhach/s/article/KA-en-US-TE407-1000336?language=en_US))

<sup>12</sup> *Measures the concentration of dissolved salts in water based on its electrical conductivity. It is essentially dimensionless and roughly equivalent to parts per thousand (ppt). For context, standard ocean water has an average salinity of about 35 PSU / La Unidad Práctica de Salinidad (UPS) mide la concentración de sales disueltas en el agua en función de su conductividad eléctrica. Es esencialmente adimensional y equivale aproximadamente a partes por mil (ppt). A modo de referencia, el agua de mar estándar tiene una salinidad media de aproximadamente 35 UPS* (<https://www.mediamatic.net/en/page/390290/understanding-salinity-units-and-conversions>)

- CAPRE. 2001. Comité Técnico Nacional de Calidad del Agua. PROPUESTA NORMA TÉCNICA NACIONAL PARA AGUA. <https://senasa.gov.hk/wp-content/uploads/2023/03/Acuerdo-No.-184-95.-Norma-tecnica-para-la-calidad-de-agua-potable.pdf>
- CPCB. 2025. Forest and Climate Change. Central Pollution Control Board, Ministry of Environment, Govt. of India. <https://cpcb.nic.in/water-quality-criteria/>
- Gaglio, M., Lanzoni, M., Cavicchi, D., Turolla, E., Vincenzi, F., Soana, E., Castaldelli, G. 2024. Ecosystem accounting applied to the restoration of a brackish coastal lagoon highlights the importance of individual ecosystem-level studies. *Ecosystem Services*. 70:101676. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101676>
- Ganugapenta, S., Nadimikeri, J., Ariffin, E.H., Ballari, L., Badimela, U., Madipally, R., Krishnan, K.A. 2025. Impact of lagoon outlet dynamics and heavy metal pollution on benthic foraminifera in Nellore coast, east coast of India: Implications for coastal development. *Marine Pollution Bulletin*. 218:118159. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118159>
- Guerrero-Gómez, A., Zamora-López, A., Zamora-Marin, J.M., Oliva-Paterna, F.J., Torralva, M. 2025. Spatiotemporal dynamics and species-habitat relationships in syngnathid assemblages from a coastal lagoon under eutrophication stress. *Marine Environmental Research*. 211(107452). 107452. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107452>
- ICF. 2023. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), Estado Actual del Ecosistema de Manglar en Honduras. Pp. 1-122. [https://icf.gov.hk/wp-content/uploads/2023/09/Estado\\_Actual-del-Ecosistema-de-Manglar-en-Honduras\\_compressed.pdf](https://icf.gov.hk/wp-content/uploads/2023/09/Estado_Actual-del-Ecosistema-de-Manglar-en-Honduras_compressed.pdf)
- Keneally, C., Gaget, V., Chilton, D., Kidd, S.P., Mosley, L., Welsh, D. T., Zhou, Y., Zhou, L., Brookes, J. 2025. Microbial ecology in hypersaline coastal lagoons: A model for climate-induced coastal salinisation and eutrophication. *Earth-Science Reviews*. 266:105150. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105150>
- LFD. 2025. Ley Federal de Derechos. Gobierno de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1003782/Ley\\_Federal\\_de\\_Derechos\\_2025.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1003782/Ley_Federal_de_Derechos_2025.pdf)
- Lopez-Vila, J., Schmitter-Soto, J. 2022. Un enfoque integral para las lagunas costeras mexicanas. *Sociedad Científica Mexicana de Ecología*. 2(5):42–49. <https://scme.mx/wp-content/uploads/2022/06/7SCME-Junio-c04-Jesu%CC%81s-y-Juan.pdf>
- Ma, W., Huang, C., Chen, N., Huang, L. 2025. Peak reduction and trough filling: A promising strategy for restoring a degraded coastal lagoon from ecological imbalance to stability through integrated biomanipulation. *Ocean & Coastal Management*. 270:107894. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107894>
- Madaula, E., Zarroca, M., Roqué, C., Gonzalvo-Henry, G., Meredith, W., Quintana, X.D., Mencos, J., Menció, A. 2026. Hypersaline recharge in Mediterranean coastal aquifers: The role of aquifer-lagoon connectivity. *Journal of Hydrology*. 664:134603. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134603>
- Marín-Coria, E., Paladio-Hernández, A., Martínez, M.L., Chávez, V., Silva, R. 2025. Assessing the impacts of artificial inlet opening and freshwater extraction and on salinity and temperature gradients in a tropical coastal lagoon. *Regional Studies in Marine Science*. 91:104512. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104512>
- MEGJ, 2025. Conservation of the water environment. Ministry of Environment Government of Japan. Consultado el 11/12/2025. <https://www.env.go.jp/en/water/wq/wemj/water.html>
- Mérida-Colindres, J.E., Cruz, G.A. 2014. Mamíferos del Parque Nacional Nombre de Dios, costa caribeña de Honduras, con nuevos registros para el Departamento de Atlántida. *UNED Research Journal*. 6(2):233–237. <https://doi.org/10.22458/urj.v6i2.629>
- MiAmbiente. 2017. MiAmbiente. Política Nacional de Humedales de Honduras 2018-2028. Tegucigalpa, Honduras. Pp. 1-31. <https://elaw.org/wp-content/uploads/archive/attachments/publicresource/Politica%20Pu%CC%81blica%20Humedales%20de%20Honduras.%202012.10.2017.%20REV.%20Final.pdf>
- Osorto-Núñez, M.H. 2025. Tasas y factores impulsores socioecológicos de la pérdida de cobertura forestal de manglares en Honduras: Una revisión sistemática. *Ciencias Marinas*, 51. <https://doi.org/10.7773/cm.y2025.3534>
- PREPAC. 2005. Inventario de los cuerpos de agua continentales de Honduras, con énfasis en la pesca y acuicultura. [https://centroclima.org/wp-content/uploads/2017/01/aguas\\_centroamerica.pdf](https://centroclima.org/wp-content/uploads/2017/01/aguas_centroamerica.pdf)
- Roca, M., Peixoto-Dias, C.E., Horta, P., Almaraz, P., Heredia, S., Caballero, I., Navarro, G., Fonseca, A.D. 2025. Massive wastewater discharge severely impacts a whole eutrophic coastal lagoon ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*. 221:118532. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118532>
- Rodríguez-Puig, J., Rodellas, V., Diego-Feliu, M., Alcolea, A., Jiménez-Martínez, J., Alorda-Montiel, I., Alorda-Kleinglass, A., Pereira, F., Manzano, M., Gilabert, J., García-Orellana, J. 2025. Seasonality of submarine groundwater discharge pathways in a coastal lagoon revealed by radium isotopes: The importance of porewater exchange in summer. *Journal of Hydrology*, 661:133616. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133616>
- Sala-Mirete, A., Marcos, C., Vicente-Ríos, M., Sánchez-Fernández, O., Texier, J., Pérez-Ruzafa, A. 2025. Changes in macrozoobenthic assemblages of a coastal lagoon in the context of long-term human pressures and a eutrophication process. *Marine Environmental Research*. 208:107145. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107145>
- Uddin, M.G., Nash, S., Olbert, A.I. 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*. 122:107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- USEPA. 2024. U.S. Environmental Protection Agency. 2024. National Lakes Assessment: The fourth collaborative survey of lakes in the United States. EPA 841-R-24-006. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Office of Research and Development. <https://nationallakesassessment.epa.gov/webreport>
- Vivas-Aguas, L.J., Obando-Madera P.S., Córdoba-Meza T.L., Pacheco-Vélez C.A., Espinosa L.F. 2025. Boletín estadístico 2025, Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras – ICAM. Reporte año 2024. INVEMAR. Santa Marta. 38 p.
- Xian, H., Zhang, J., Xu, W., Li, Y., Yang, H., Wang, Y., Bennion, H., Jeppesen, E., Dong, X. 2025. Coastal lagoons as a transitional zone between land and sea: Insight from trace element pollution in southern China. *Water Research*. 286:124192. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124192>

- 
- Yetein, M.H., Houessou, L.G., Amadou Siako, A.S., Gbodja, G.T., Oumorou, M. 2025a. The impacts of land use/land cover changes on ecosystem service values in coastal lagoon landscapes of the 1017 Ramsar site, Benin. *Scientific African*, 28:e02695. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02695>
- Yetein, M.H., Houessou, L.G., Lougbégnon, T.O., Gbodja, G.T., Sèmèvo, D.F., Oumorou, M. 2025b. Perceptions of ecosystem services provided by the landscapes of the coastal lagoon at the 1017 Ramsar site in Benin (West Africa). *Environmental Challenges* (Amsterdam, Netherlands). 19:101122. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101122>