

Evaluación espacial y temporal de la calidad del agua en los sistemas lagunares de Sinaloa, México, de importancia internacional (Ramsar¹⁰)

Spatial and temporal assessment of water quality in the lagoon systems of Sinaloa, Mexico, of international importance (Ramsar¹¹)

Kassandra Meza-Ibarra¹, Mayra Mayté García-Ayala¹, Karina Ramirez¹,
Blenda Ramírez-Pereda², Jesús Jaime Rochín-Medina¹, Leonel Ernesto
Amábilis-Sosa^{2*}

¹ TECN/ITCuliacán, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Juan de Dios
Bátiz 310, 80220 Culiacán, Sinaloa, México

²SECIHTI-TECN/ITCuliacán, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Juan
de Dios Bátiz 310, 80220 Culiacán, Sinaloa, México
Correo-e (e-mail)*: leonel.as@culiacan.tecnm.mx+52 5559099023

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia / Corresponding author

Recibido / Received: Agosto / August 15, 2025

Aceptado / Accepted: Septiembre / September 14, 2025

Publicado / Published: Diciembre 30, 2025 (Número 1, Enero-Junio 2026) / December 30, 2025 (Number 1, January-June 2026)

Resumen

Los sistemas lagunares son reconocidos por su importancia ambiental y servicios ecosistémicos para todas las especies. Algunos poseen ecosistemas de humedales reconocidos como sitios Ramsar. El estado de Sinaloa, en el noroeste de México, posee nueve de esos sitios de importancia internacional. Considerando la hidrología del estado y la intensidad de las actividades primarias que se realizan en las cuencas hidrológicas, la presente investigación se enfoca a evaluar la distribución espacial y temporal de la calidad del agua de los sistemas lagunares-humedales más representativos de Sinaloa. Para ello, se utilizó la base de datos certificada de CONAGUA, con al menos cuatro puntos de muestreo en cada sistema lagunar y con registros de 2012-2022. La base de datos se procesó y analizó en Google Colab, donde también se generaron gráficos espaciales y se calculó la correlación de Pearson. Los resultados muestran que el intercambio de corrientes con el Océano Pacífico favorece niveles altos de oxígeno y oxidación de materia orgánica carbonosa y nitrogenada. En cuanto al fósforo, se detectó una relación de 0.7 con la turbiedad, asociada con la resuspensión de sedimentos y azolvamiento. La salinidad permanece constante, probablemente por efectos hidrodinámicos. Se recomienda incluir más variables ambientales para analizar la acumulación de contaminantes en las desembocaduras antes del intercambio con el Océano Pacífico.

Palabras claves: Sistemas lagunares costeros, sitios Ramsar, distribución de la calidad del agua, bases de datos

Abstract

Lagoon systems are recognized for their environmental importance and for providing ecosystem services to all species. Some have wetland ecosystems recognized as Ramsar sites. The state of Sinaloa, in northwestern Mexico, has nine such sites of international importance. Given the state's hydrology and the intensity of primary activities in the watersheds, this research focuses on evaluating the spatial and temporal distribution of water quality in the most representative lagoon-wetland systems in Sinaloa. To this end, the certified CONAGUA database was used, with at least four sampling points in each lagoon system and records from 2012 to 2022. The database was processed using Google Colab, which was also used to generate spacial graphs and perform Pearson's correlation analysis. The results indicated that water exchanges with the Pacific Ocean allow high levels of dissolved oxygen and, therefore, oxidation of both carbonaceous and nitrogenous organic matter. However, for phosphorus, a 0.7 correlation with turbidity was found, associated with sediment resuspension and siltation. Salinity remains constant, probably due to hydrodynamic effects. It is recommended to include more environmental variables to analyze the accumulation of contaminants in the outlets before the exchange with the Pacific Ocean.

¹⁰ Ramsar es una ciudad en Irán donde se realizó una reunión mundial para proteger los humedales del planeta Tierra (Navarro-Frómeta y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2023)

¹¹ Ramsar is a city in Iran where a world meeting was held to protect the wetlands of planet Earth (Navarro-Frómeta and Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2023)

which is associated with sediment resuspension and high siltation rates. It was also evident that salinity fluctuations are remarkably constant over time, which may indicate that they are due to hydrodynamic rather than anthropogenic effects. It is recommended that this study be expanded to include variables from other environmental matrices to determine whether pollutants from river basins have accumulated at river mouths before interacting with Pacific Ocean currents.

Keywords: Coastal lagoon systems, Ramsar sites, water quality distribution, databases

Introducción

Los problemas relacionados con la gestión del recurso hídrico han sido declarados los de mayor preocupación por diferentes instancias alrededor del mundo. Desde las últimas décadas, las investigaciones relacionadas con las cuencas hidrológicas han indicado que todos los orígenes, transporte y transformaciones de contaminantes son reflejados en los sistemas lagunares. En efecto, la hidrología señala que las lagunas son cuerpos de agua donde desembocan los ríos y, por ende, los contaminantes que han sido transportados desde la cuenca alta (Alshammari et al., 2021). Las lagunas costeras también se caracterizan por los servicios ecosistémicos hacia el planeta. Se destacan por su hidrología que incluye flujos de agua dulce proveniente de las cuencas hidrológicas y las intrusiones marinas, lo que da lugar a ecosistemas de amplia diversidad y refugio para especies migratorias y las que cambian sus requerimientos salinos en los diferentes estadios de vida, tal es el caso del camarón.

En el estado de Sinaloa, México, se practica de manera intensiva el turismo, la ganadería, acuicultura, minería y, mayoritariamente, la agricultura. En la práctica de todas estas actividades, los contaminantes son descargados hacia los sistemas lagunares lo que pone en riesgo la productividad de esos ecosistemas.

La geografía de Sinaloa, un estado costero de México, conlleva a que existan alrededor de 656 km de litorales con amplia variedad de sistemas estuarinos tales como bahías, deltas y lagunas. Estas últimas cubren una superficie superior a las 220,000 ha (CONAGUA, 2020). Así, se tienen nueve sistemas lagunares distribuidos en todo el estado, donde desembocan las 11 corrientes hidrológicas principales. Nueve de esos sistemas lagunares son de importancia Ramsar y son desembocadura de al menos dos ríos principales.

A pesar de los servicios ecosistémicos de los sistemas lagunares de Sinaloa, el monitoreo de la calidad del agua se ha limitado a la detección de riesgos para el consumo de especies comerciales como el ostión, lo que conlleva a analizar solamente bacterias patógenas y metales pesados. En paralelo a estos parámetros de vigilancia por parte de las instancias gubernamentales, se han realizado trabajos académicos en donde se evalúan los aspectos limnológicos. Ramírez-Zavala et al. (2012), indican que los resultados sobre calidad del agua de los sistemas lagunares, deben manifestar la necesidad de cambiar el concepto de zona de salvaguardia para especies en particular, por zonas de capital económico y servicios ecosistémicos para la prosperidad social.

Algunos estudios se han enfocado a evaluar la eutrofización mediante la relación de nitrógeno y fósforo y el contenido de plaguicidas. Los principales hallazgos de Arellano-Aguilar et al. (2017), indican una acumulación de plaguicidas en las zonas lagunares, con proporcionalidad a la cobertura agrícola de las cuencas hidrológicas de Sinaloa. De manera mayoritaria, se identificaron los plaguicidas organoclorados diazinón, disulfoton, metil-paratión, clorpirifos y mevinfos, en zonas donde las especies de interés se encuentran expuestas.

La investigación de Arellano-Aguilar et al. (2017) señaló la presencia de contaminantes persistentes o recalcitrantes, lo que conlleva a la vigilancia continua de la calidad del agua en zonas de alta importancia ambiental y, además, comercial. Acorde con la relevancia de dicha vigilancia se han tenido avances en el desarrollo tecnológico para evaluar la distribución temporal de la calidad del agua en lagunas estuarinas. Méndez-Barroso et al. (2020) probaron una medición multiparamétrica de bajo

costo para tal efecto. Los parámetros observados in situ fueron temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. El sistema fue evaluado durante tres meses, con pérdidas de precisión del 10%. Toda la información fue recabada en unidades de almacenamiento físico.

Con el más reciente uso de la inteligencia artificial, Medina-Jiménez et al. (2025) exploraron y aplicaron métodos de aprendizaje máquina (ML, machine learning, por sus siglas en inglés) para la estimación de nutrientes en cuerpos superficiales de Sinaloa. Mediante estrategias de ML como la hiperparametrización y normalización de cada modelo evaluado, los autores obtuvieron hasta un 95% de exactitud para predecir nitrógeno y fósforo en sus formas totales, a partir de parámetros de entradas fácilmente cuantificables como pH, temperatura y conductividad eléctrica.

La revisión del estado del arte pone de manifiesto la importancia ambiental de conocer las variaciones en la calidad del agua de los sistemas lagunares, que son sistemas dinámicos tanto en tiempo como en espacio. Además, los desarrollos tecnológicos que contribuyen a dicha observación continua requieren, eventualmente, datos de calidad del agua validados. Dentro de la Red de Monitoreo de Calidad del Agua de (RENAMECA) de la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA), se han cuantificado diferentes parámetros tales como nutrientes, datos físicos y químicos y materia orgánica en los cuerpos lagunares de todo el estado de Sinaloa. Sin embargo, en los últimos 10 años, no se realizó un análisis integral que considere la distribución espacial y temporal del conjunto de parámetros de calidad del agua de los cuerpos lagunares.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la distribución espacial y temporal de la calidad del agua de los sistemas lagunares de Sinaloa catalogados como sitio Ramsar, contribuyendo a tener una base científica sobre el deterioro que han tenido los cuerpos de agua y, así, diseñar a futuro políticas públicas acordes con los problemas ambientales para, de ser posible, revertir ese deterioro.

Materiales y métodos

Área de estudio y sitios de muestreo

El área de estudio corresponde a la zona lagunar costera del estado de Sinaloa, al noroeste de México (Figura 1). Sinaloa tiene una extensión territorial de 58,000 km² y toda la parte oeste del estado es costera. La desembocadura de sus 11 corrientes hidrológicas principales, los sistemas lagunares en los que desembocan y la interacción con el Océano Pacífico ha dado lugar, a través de los años de nueve sistemas lagunares de importancia internacional por ser sitios Ramsar. El clima de la región de estudio varía de norte a sur, pero mayoritariamente seco-semi seco hasta cálido subhúmedo Mendivil-García et al. (2020). La temperatura media anual es de 25°C con precipitaciones cercanas a 800 mm. Se establecen las épocas climáticas de lluvias y estiaje, con enero como el mes más frío con mínimas de 10.3°C y junio como el mes más cálido con 37.1°C.

Los complejos lagunares evaluados fueron complejo lagunar Ensenada-Pabellones, complejo San Ignacio-Navachiste-Macapule, sistema lagunar Huizache-Caimanero, sistema lagunar Santa María Topolobampo-Ohuira y Sistema Lagunar Agiabampo. En la Figura 1, se observa que dichos sistemas lagunares abarcan de norte a sur las costas de Sinaloa. Asimismo, se presenta la distribución de los sitios de muestreo. Considerando que son complejos lagunares de grandes dimensiones, en cada uno de ellos se tienen al menos tres sitios de muestreo para garantizar la representatividad de los datos. En total se tuvieron 22 sitios de muestreo distribuidos en los cuatro complejos lagunares, que a la vez son agrupaciones de las nueve lagunas.

Toma de muestras y adquisición de datos de calidad del agua

Los datos de calidad del agua fueron extraídos de la base de datos de CONAGUA conformada por la Red Nacional Mexicana de Calidad del Agua 2012-2022 (RENAMECA). Los muestreos fueron realizados

entre dos y cuatro veces al año. La base de datos considera los nutrientes nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, ortofosfatos, y los fisicoquímicos temperatura, pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales. Al ser datos pertenecientes a la RENAMECA, las determinaciones analíticas fueron realizadas en laboratorios certificados bajo procedimientos de las diferentes Normas Mexicanas (NMX) referenciadas en DOF (2021).

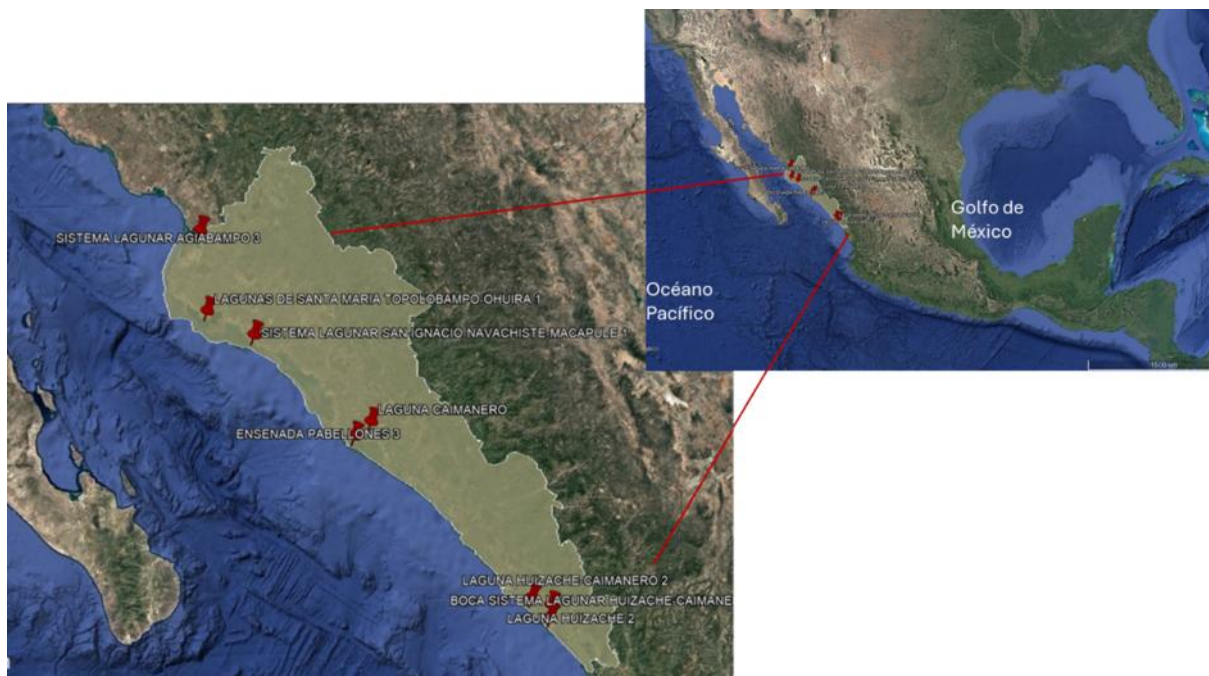


Figura 1. Área de estudio localizada en el noroeste de México, en las costas del estado de Sinaloa

Análisis de la distribución espacio-temporal de la calidad del agua

La base de datos de RENAMECA fue almacenada como un archivo tipo CVS. Así, los datos de la calidad del agua fueron desplegados en COLAB de Google para la selección rápida de la información de interés. Los análisis consistieron en obtener las métricas estadísticas de cada uno de los parámetros de calidad del agua descritos en la subsección anterior, para su despliegue en gráficas de barras por parámetro de calidad del agua, además de considerar la temporalidad de la salinidad. También, se realizó una correlación múltiple de Pearson tomando en consideración todos los parámetros de calidad del agua para elucidar sobre la relación entre variables (Puente-Miranda et al., 2023). Una vez obtenidos los resultados en su representación gráfica, se realizó la discusión estableciendo las variaciones conjuntas de las especies químicas del nitrógeno y del fósforo.

Resultados y discusión

Materia orgánica disuelta

Los valores de carbono orgánico disuelto (COT) oscilaron entre 0.5 para las lagunas de Ensenada Pabellones y 12.3 mg/L para los puntos de Laguna Huizache Caimanero. En todos los casos de la costa lagunar de Sinaloa, se puede considerar como agua no contaminada según lo descrito por Akhtar et al. (2021) (Figura 2). Es importante considerar la amplia variación del COT, lo cual se relaciona tanto por los aportes hidrológicos, como por la productividad del mismo sistema. En este sentido, Ramírez-Zavala et al. (2012) han indicado que los humedales presentes en el norte del estado (relacionados con mayores valores de COT) son altamente productivos en paralelo con su capacidad para depurar la calidad del agua.

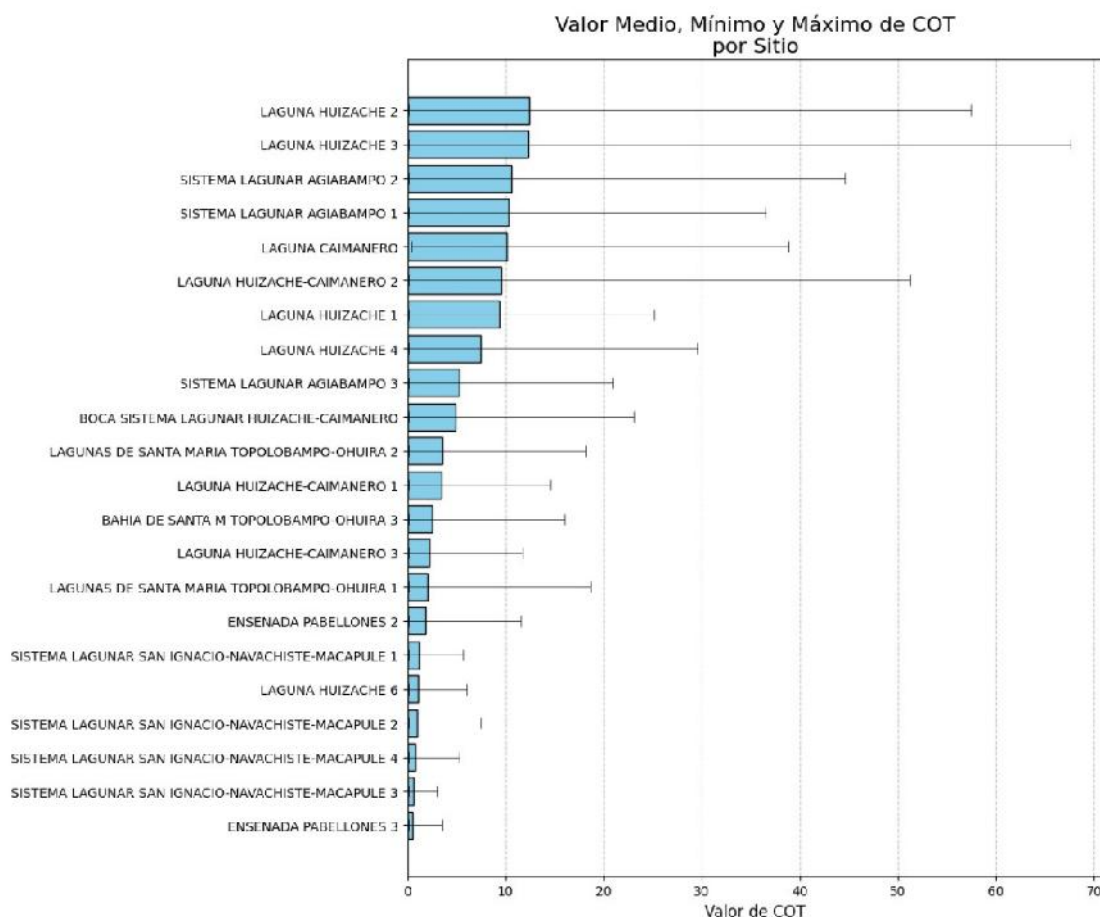


Figura 2. Distribución de materia orgánica, medida como carbono orgánico total (COT), en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa, México

Formas químicas del nitrógeno y fósforo

Las concentraciones de nitrógeno total han variado entre 0.6 y 3.45 mg/L en toda la costa lagunar de Sinaloa (Ver Figura 3). En el sistema lagunar Agiabampo, en la frontera con el estado de Sonora, se presentaron las mayores concentraciones del nutriente y las menores se identificaron en todos los sitios involucrados en el complejo Huizaches-Caimanero. Esta diferencia es mucho más pronunciada en cuanto a los nitratos (N-NO_3), ya que los valores en los sitios de Agiabampo se encuentran entre 0.18-0.85 mg/L, mientras que en el resto de los puntos de muestreo es siempre menor a 0.1 mg/L (Ver Figura 4).

Lo anterior puede relacionarse con las condiciones aerobias constantes en la zona de estudio, debidas a la interacción con las corrientes del Océano Pacífico. Esto sugiere que se están realizando efectivamente las oxidaciones del nitrógeno Kjeldahl para llevarlo hasta nitratos. En efecto, la gran mayoría de los sitios de muestreo de Huizaches Caimanero son los que presentan las mayores concentraciones de nitrógeno orgánico (N_{org}) con valores alrededor de 2.5 mg/L (Figura 5), que es el caso inverso a la concentración de nitratos y de nitrógeno total.

El nitrógeno amoniacal (N-NH_3) sigue un comportamiento similar al nitrógeno orgánico, pero se relaciona más de manera inversa con el nitrógeno total. Mientras que el nitrógeno total de los 10 sitios relacionados con Huizache-Caimanero fueron de menor concentración, la forma amoniacal se encontró en mayores valores para estos sitios (hasta 0.45 mg/L) (Figura 6), lo cual puede estar relacionado con la fuente del nitrógeno orgánico de esa zona. Mendivil-García et al. (2023) reportan

que las lagunas Huizache y la Caimanero son las que reciben las mayores descargas de agroquímicos por la mayor dimensión de superficie agrícola.

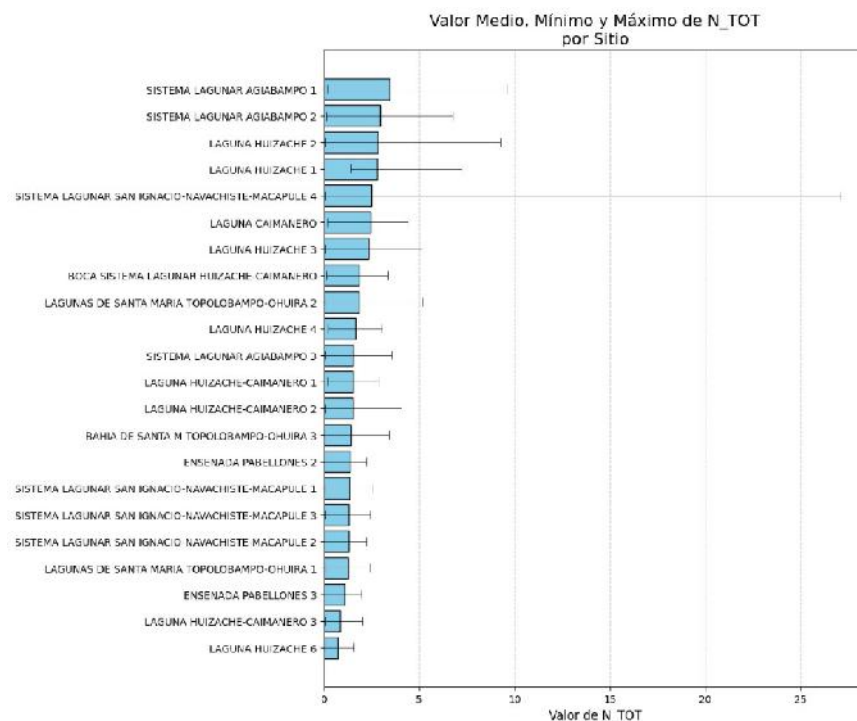


Figura 3. Distribución de nitrógeno total, en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

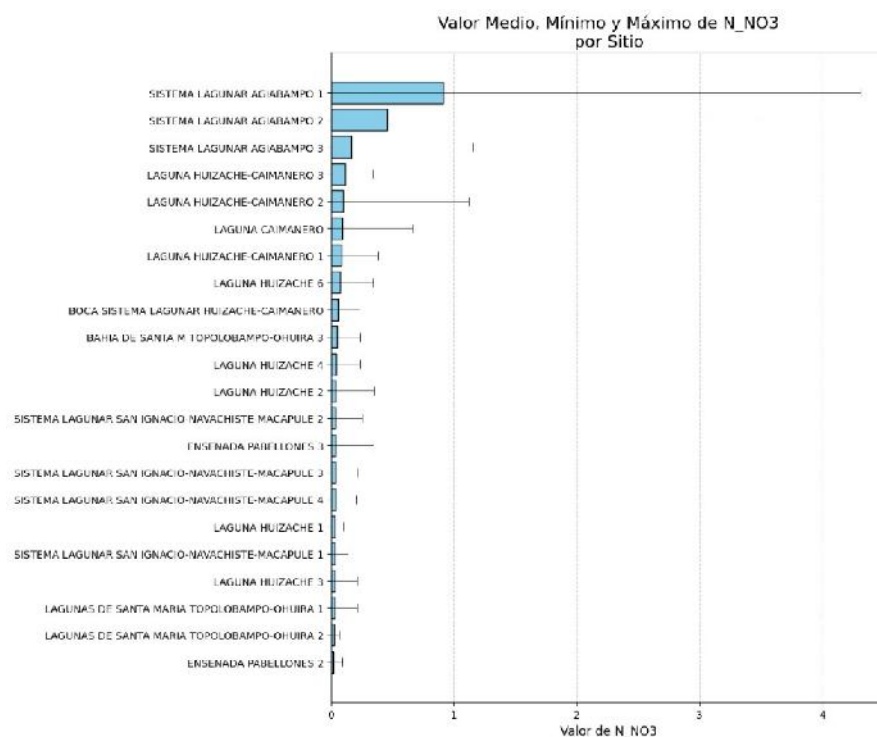


Figura 4. Distribución de nitrógeno de nitratos, en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

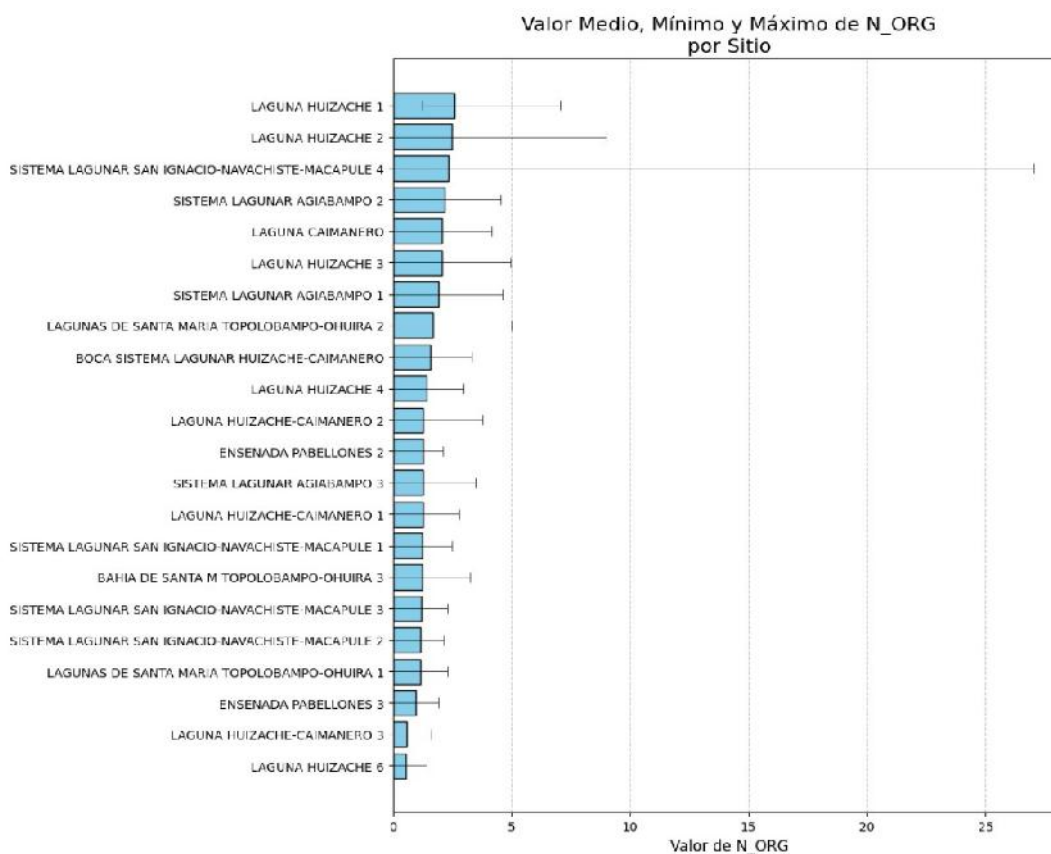


Figura 5. Distribución de nitrógeno orgánico, en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

El fósforo total (P_{Tot}) presentó valores entre 0.07 y 0.3 mg/L.

La Figura 7 muestra de manera clara que las mayores concentraciones del nutriente se encontraron en los sitios de Huizaches-Caimanero. Esta zona se caracteriza por las predominantes tasas de azolvamiento que ha sido reportadas por Reyes-Velarde et al. (2023). Este azolvamiento no es exclusivo de Huizache-Caimanero, ya que hay zonas como Navachiste caracterizadas por un alto azolvamiento que pone en riesgo los servicios ecosistémicos (Canul-Turrisa et al., 2025). En Huizache-Caimanero se han realizado importantes dragados. Así, el fósforo al ser de origen ígneo puede ser resuspendido en la columna del agua y manifestarse en los análisis de calidad del agua en cuerpos lagunares.

Distribución de la salinidad en la zona humedal-costera de Sinaloa, México

En la Figura 8 se muestra la distribución de valores de salinidad a lo largo de toda la zona costera de Sinaloa con importancia Ramsar. Como se puede observar en dicha figura, las oscilaciones son muy constantes y de las mismas proporciones. A pesar de que varían entre 1 y 40 unidades prácticas de salinidad (UPS) (con excepción de 6 puntos extraordinarios en 2014-2015), los patrones se repiten tanto en estacionalidad como en temporalidad. Lo anterior sugiere que es un comportamiento normal de la zona, que se rige por la interacción de las corrientes y fenómenos climáticos (Paez-Osuna et al., 2007).

Correlación múltiple de los parámetros de calidad del agua de la zona de estudio

A través de la correlación de Pearson (Figura 9), se identificó que la mayoría del nitrógeno total Kjeldhal corresponde a nitrógeno orgánico y no a nitrógeno amoniacal.

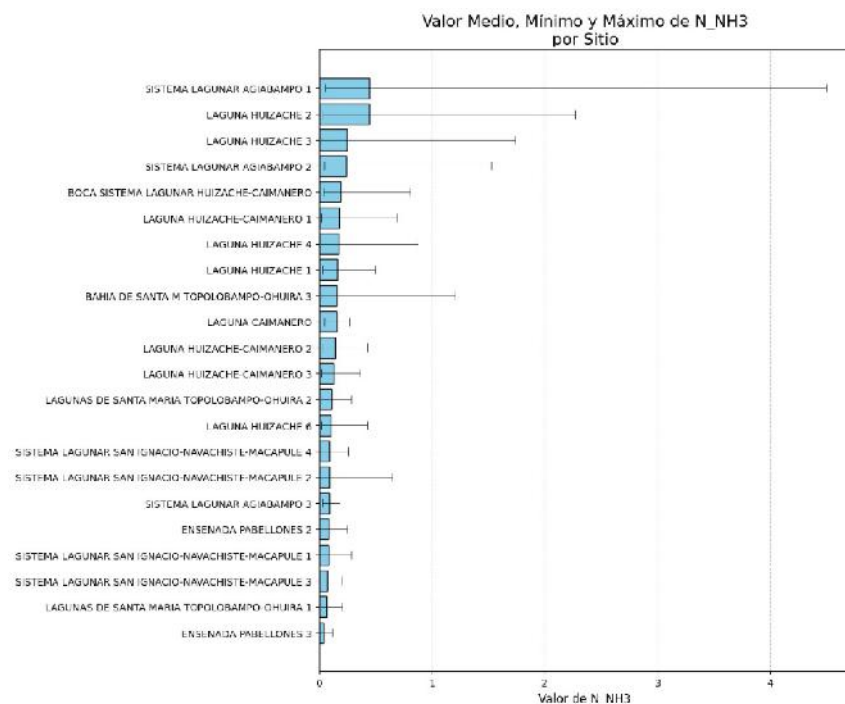


Figura 6. Distribución de nitrógeno amoniacal en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

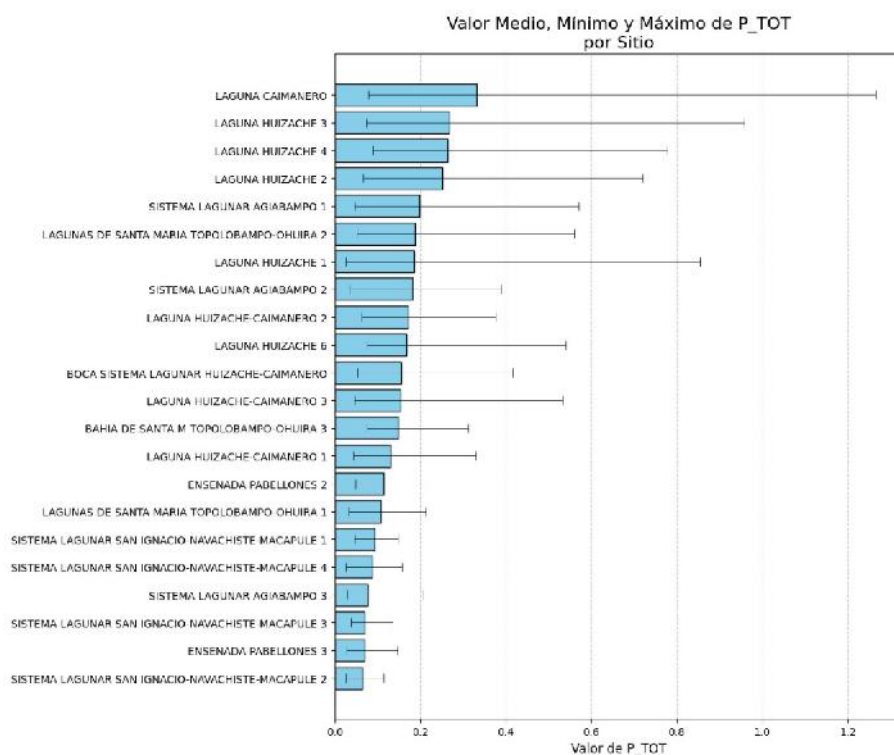


Figura 7. Distribución de fósforo total en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

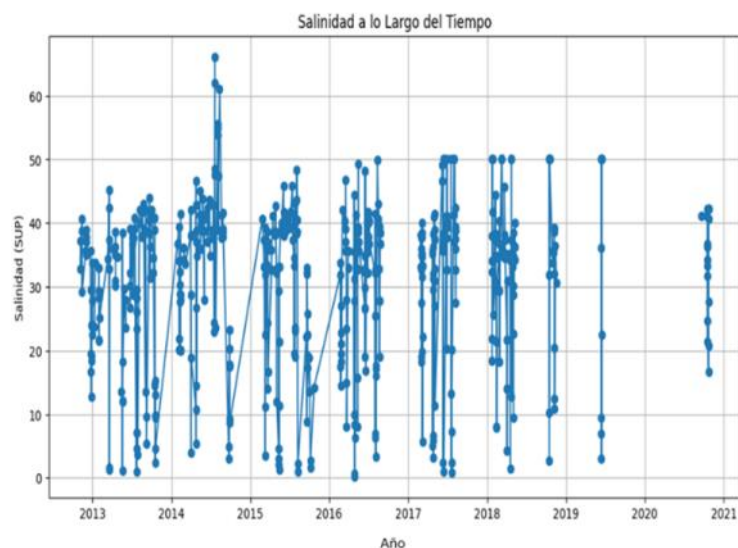


Figura 8. Serie temporal de la salinidad en la zona lagunar-costera de Sinaloa, México

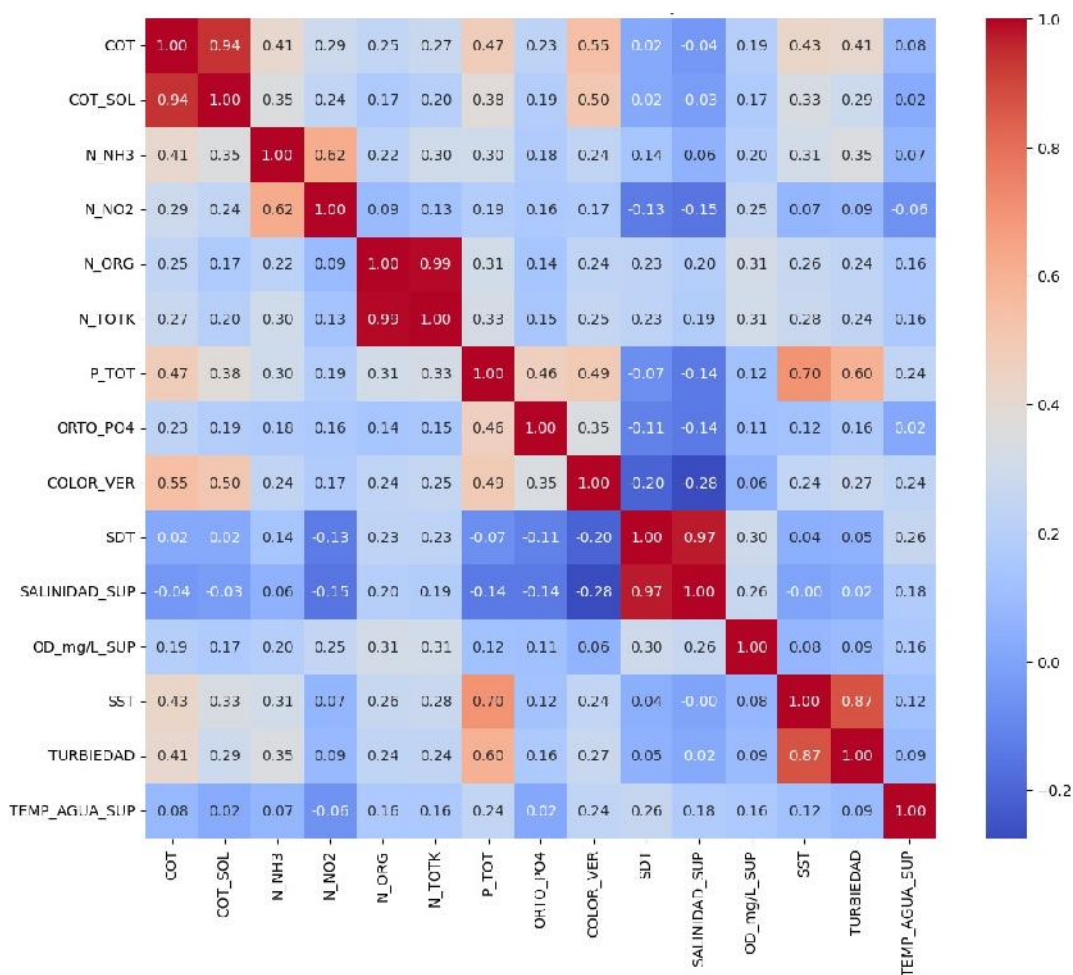


Figura 9. Correlación paramétrica entre las variables de calidad del agua medidas en los complejos lagunares de Sinaloa, México

En el primer caso, la correlación fue superior a 0.9, lo que establece una relación directamente proporcional, mientras que para la segunda el coeficiente de correlación es 0.3. Por su parte, el fósforo total presentó un coeficiente de correlación empleando la suma total de cuadrados (SST, por sus siglas en inglés) de 0.7, lo cual es sumamente alto para sugerir que la mayor cantidad de fósforo presente se encuentra en forma particulada, hecho que se relaciona con la resuspensión de los sedimentos. Además, este fenómeno incrementa la turbiedad en la columna de agua. En efecto, la correlación entre fósforo total y turbiedad fue de 0.6.

En lo que respecta al oxígeno disuelto, no se encontró una correlación relevante con algún otro parámetro de calidad del agua. Se esperaba que, por el clima de la región y variación salina, existiera alguna dependencia con la temperatura y/o con la salinidad. La ausencia de dicha correlación sugiere que los niveles de oxígeno disuelto se encuentran en función de los intercambios de agua con el Océano Pacífico, lo cual provoca aireación mecánica por el movimiento gravitacional de esta enorme masa de agua.

Conclusiones

- La presente investigación permitió conocer la distribución espacial y temporal de la calidad del agua de las principales lagunas de Sinaloa, México
- La geografía del litoral costero de Sinaloa genera una hidrodinámica beneficiosa para el sistema por los intercambios de agua con el enorme cuerpo de agua que es el Océano Pacífico y la oxigenación mecánica que provoca. Así, las buenas condiciones de oxígeno disuelto permiten que se lleven a cabo adecuadamente los procesos aerobios del ciclo del nitrógeno y depuración de materia orgánica disuelta a pesar de las aportaciones agropecuarias a nivel de cuenca hidrológica
- La relación identificada entre fósforo, sólidos suspendidos y turbiedad es un indicador de los niveles de azolvamiento que están experimentando los sistemas lagunares
- Es importante complementar los resultados presentados con estudios enfocados a nivel de sedimento, flora y fauna, debido a que pueden encontrarse afectaciones ambientales que podrían poner en riesgo los servicios ecosistémicos que brindan estos cuerpos de agua.

Glosario

| Términos | Significado |
|-------------------|---|
| CONAGUA | Comisión Nacional del Agua de México |
| COT | Carbono orgánico total disuelto |
| ML | Machine learning en inglés |
| N-NO ₃ | Nitrógeno de nitratos |
| RENAMECA | Red de Monitoreo de Calidad del Agua de México |
| SECIHTI | Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México |
| SST | Siglas en inglés para la suma total de cuadrados. La Suma Total de Cuadrados (STC o SST) es una medida estadística fundamental que cuantifica la variabilidad total en un conjunto de datos, calculada sumando las diferencias al cuadrado entre cada dato individual y la media general del conjunto, representando la dispersión total con respecto de su promedio y es crucial en el análisis de varianza y regresión para separar la variabilidad explicada por el modelo de la no explicada (error) (https://www.datacamp.com/es/tutorial/regression-sum-of-squares) |
| TECNM/IT | Siglas para Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico, en este caso de la ciudad de Culiacán |
| UPS | Unidades prácticas de salinidad o psu en inglés son una forma adimensional de medir la salinidad del agua de mar, basada en la conductividad eléctrica de la muestra en relación con una solución estándar de cloruro de potasio (KCl). |

| Términos | Significado |
|----------|--|
| | Aproximadamente, 1 UPS es equivalente a 1 parte por mil (ppt) o 1 gramo de sal por kilogramo (g/kg) de agua de mar, siendo 35 UPS (o 35 ppt) la salinidad media del océano (Wikipedia, 2025) |

Reconocimientos

La investigación forma parte del proyecto de Investigadoras e Investigadores por México 7057, de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México, a cargo de la tercera autora y el autor de correspondencia.

Referencias

- Akhtar, N., Syakir-Ishak, M.I., Bhawani, S. A., Umar, K. 2021. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water*. 13(19): 2660. <https://doi.org/10.3390/w13192660>
- Alshammari, E., Rahman, A.A., Rainis, R., Seri, N.A., Fuzi, N.F.A. 2023. The impacts of land use changes in urban hydrology, runoff and flooding: A review. *Current Urban Studies*. 11(1): 120-141.
- Arellano-Aguilar, O., Betancourt-Lozano, M., Aguilar-Zárate, G., Ponce-de-León-Hill, C.A. 2017. Agrochemical loading in drains and rivers and its connection with pollution in coastal lagoons of the Mexican Pacific. *Environ. Monit. Assess.* 189: 270. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5981-8>
- Canul-Turrisa, R.A., Fernández-Díaz, V.Z., Hinojosa Huerta, O., Jiménez Torres, M., Turrisa Mena, R. 2025. Changes in land-cover patterns in the Huizache–Caimanero Coastal Lagoon System from 1990 to 2020. *Journal of Coastal Conservation*. 29(1): 10.
- CONAGUA. 2020. Informe. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sinaloa/DR_2509.pdf
- DOF. 2021. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. SEMARNAT, Ciudad de México, Mexico. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- Medina-Jiménez, J.L., Amabilis-Sosa, L.E., Mendivil-García, K., Morales-Rosales, L.A., Gonzalez-Huitrón, V.A., Rodríguez-Rangel, H. 2025. Application of artificial intelligence for nutrient estimation in surface water bodies of basins with intensive agriculture. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 21(2): 335-349. <https://doi.org/10.1093/inteam/vjae034>
- Méndez-Barroso, L.A., Rivas-Márquez, J.A., Sosa-Tinoco, I., Robles-Morúa, A. 2020. Design and implementation of a low-cost multiparameter probe to evaluate the temporal variations of water quality conditions on an estuarine lagoon system. *Environ Monit Assess.* 192: 710. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08677-5>
- Mendivil-García, K., Amabilis-Sosa, L.E., Rodríguez-Mata, A.E., Rangel-Peraza, J.G., Gonzalez-Huitron, V., Cedillo-Herrera, C.I.G. 2020. Assessment of intensive agriculture on water quality in the Culiacan River basin, Sinaloa, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(23): 28636-28648. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08653-z>
- Mendivil-García, K., Amabilis-Sosa, L.E., Roé-Sosa, Payán-Villalva, M.G. 2023. Preservación del agua en Sinaloa, México, a través del monitoreo instrumentado de la calidad del agua. Estudio de caso: Río Presidio. *Ambiens Techné et Scientia México*. 11(2): 117-129.
- Navarro-Frómata, A.E., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.-d.-C. 2023. Los humedales, un día de celebración y 364 días y un cuarto de trabajo para su rescate, una reseña histórica / Wetlands, one day of celebration and 364 days and a quarter of work for its rescue, a historical review. © Pub. RedICA, RACAM. ISBN 978-607-96506-4-3. 1ª edición (Febrero 2) / 1st edition (February 2). Ciudad de México, Puebla, México / Mexico City, Puebla, Mexico. Libro electrónico / e-Book. <https://redica.buap.mx/sites/default/files/2023%20Libro-e%20Hums%20AENF-MdCDDdB.pdf>
- Paez-Osuna, F., Lopez-Aguilar, L.K., Del Rio-Chuljak, A., Ruiz-Fernández, A.C. 2007. Spatial and temporal variation of water quality in the coastal lagoons of Sinaloa. In AGU Spring Meeting Abstracts 2007: GS23A-02. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007AGUSMGS23A.02P/abstract>
- Puente-Miranda, D.G., Valenzuela-García, I., Alarcón-Herrera, M. 2023. Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorios participativos en el norte de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 39: 127-137. doi: <https://doi.org/10.20937/RICA.54525>
- Ramírez-Zavala, J.R., Cervantes-Escobar, A., Ramírez-Zavala, J.R. 2012. El ambiente biofísico de marismas nacionales, Sinaloa, y criterios básicos para la gestión de su integridad ecológica. En *Marismas Nacionales Sinaloa; futuro y conservación*. Capítulo 2. Pp. 53-115. Pub. Universidad Autónoma de Sinaloa/Pronatura Noroeste A.C. Culiacán, Sinaloa, México.
- Reyes-Velarde, P.M., Alonso-Rodríguez, R., Domínguez-Jiménez, V.P., Calvario-Martínez, O. 2023. The spatial distribution and seasonal variation of the trophic state TRIX of a coastal lagoon system in the Gulf of California. *Journal of Sea Research*. 193: 102385.