

# Presiones antropogénicas en la Físicoquímica del Socioecosistema Lagunar de Nuxco, Guerrero, México

## *Anthropogenic Pressures on the physicochemistry of the Nuxco Lagoon Socioecosystem, Guerrero, Mexico*

José Ángel Vences-Martínez<sup>ib</sup><sup>a</sup>, Benjamín Castillo-Elías<sup>ib</sup><sup>b1\*</sup>, Enrique Jesús Flores-Munguía<sup>ib</sup><sup>c1</sup>,  
María Laura Sampredo-Rosas<sup>ib</sup><sup>c2</sup>, Elizabeth Olmos-Martínez<sup>ib</sup><sup>d</sup>, Ana Laura Juárez-López<sup>ib</sup><sup>c3</sup>,  
Herlinda Gervacio-Jiménez<sup>ib</sup><sup>b2</sup>

<sup>a</sup>Escuela Superior en Desarrollo Sustentable, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Federal Acapulco-Zihuatanejo km 106+900, Col. Las Tunas, C.P. 40900, México.

<sup>b</sup>Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales (CIPES-Acapulco), Universidad Autónoma de Guerrero. Senderos No. 31, Las Playas, Acapulco, Guerrero. C.P. 39390, México.

<sup>c</sup>Centro de Ciencias de Desarrollo Regional, Doctorado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Calle Pino s/n, Colonia el Roble, C.P. 39640, Acapulco Guerrero, México.

<sup>d</sup>Departamento de Ciencias Económico-Administrativas, Doctorado en Gestión del Turismo, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad de Mazatlán, Sinaloa, Av. del Mar 1200, Col. Flamingos, México.

E-mail: <sup>a</sup>vences\_angel@hotmail.com, <sup>b1</sup>bcastilloe@hotmail.com, <sup>c1</sup>enriqueflores@uagro.mx, <sup>c2</sup>laura\_1953@live.com, <sup>d</sup>elizabeth.olmos@udo.mx, <sup>c3</sup>analaura43@hotmail.com, <sup>b2</sup>lindagj09@hotmail.com

\*Autor para correspondencia

Recibido: 09/12/2024

Aceptado: 18/12/2024

Publicado: 31/01/2025

**Citar como:** Vences-Martínez, J.A., Castillo-Elías, B., Flores-Munguía, E.J., Sampredo-Rosas, M.L., Olmos-Martínez, E., Juárez-López, A.L., Gervacio-Jiménez, H. 2025. Anthropogenic Pressures on the physicochemistry of the Nuxco Lagoon Socioecosystem, Guerrero, Mexico. *Ingeniería del agua*, 29(1), 57-72. <https://doi.org/10.4995/ia.2025.23005>

## RESUMEN

El presente estudio evaluó el estado físicoquímico de la Laguna de Nuxco, Guerrero, México, y su relación con actividades antropogénicas circundantes (agropecuarias y urbanización). Se colectaron cinco muestras mensualmente durante un año, a una profundidad de 15-30 cm. Se determinaron 5 parámetros *in situ* y 7 en laboratorio. La laguna es catalogada como contaminada basado en los datos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Asimismo, se encontró una alta concentración de nutrientes como Nitrógeno amoniacal (0.63 mg/L), Nitratos (0.15 mg/L) y Nitritos (21.64 mg/L), los cuales rebasan los límites máximos permisibles del Acuerdo CE-CCA-001/89, lo que sugiere contaminación debido a la descarga de aguas residuales, el arrastre de plaguicidas y fertilizantes utilizados en la agricultura, así como por actividades de ganadería y acuacultura. La Laguna de Nuxco tiene una dinámica en su físicoquímica influenciada significativamente por diversos factores antropogénicos, lo que sugiere la necesidad de estrategias de manejo integral.

**Palabras clave** | actividades antropogénicas; calidad del agua; contaminación química; laguna; nutrientes.

## ABSTRACT

*The present study evaluated the physicochemical state of the Nuxco Lagoon, Guerrero, Mexico, and its relationship with surrounding anthropogenic activities (agriculture, livestock and urbanization). Five samples were collected monthly over one year at a depth of 15-30 cm. Five parameters were measured in situ and seven in the laboratory. The lagoon is classified as polluted based on Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) data. Furthermore, High concentrations of nutrients, such as Ammoniacal Nitrogen (0.63 mg/L), Nitrates (0.15 mg/L), and Nitrites (21.64 mg/L), were detected, exceeding the maximum permissible limits of Agreement CE-CCA-001/89. This suggests contamination due to wastewater discharges, runoff of fertilizers and*

*pesticides used in agriculture, as well as livestock and aquaculture activities. The physicochemical dynamics of Nuxco Lagoon are significantly influenced by various anthropogenic factors, highlighting the need for integrated management strategies*

**Key words** | *anthropogenic pressures; water quality; chemical contamination; lagoon; nutrient.*

---

## INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son ecosistemas esenciales que albergan recursos naturales vitales, sin embargo, son fuertemente amenazados por los efectos del cambio climático y las diversas actividades humanas que se desarrollan, impactando considerablemente en las condiciones socioambientales (Makhlouf-Belkahia *et al.*, 2021; Newton *et al.*, 2023; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2024; Han *et al.*, 2024; Joao-Rocha y Rocha 2024).

En particular, los ecosistemas costeros lagunares experimentan problemas ambientales derivados de la rápida urbanización, la expansión de actividades económicas, y el cambio de uso del suelo; donde las lagunas son frecuentemente expuestas a presiones antropogénicas y colateralmente impactadas resultando en diversos cambios en su dinámica, principalmente en la fisiocoquímica y calidad del agua (De Liz-Arcari *et al.*, 2023).

Los impactos por actividades antropogénicas en las lagunas son constantes y más complejos que en otras zonas de la costa, el incremento en nutrientes provenientes de fuentes humanas son significativos en la degradación de un ecosistema, tanto a nivel de cuerpo de agua como la superficie de manglar, además de ser un factor principal de los cambios en la dinámica, aspectos que incrementan la concentración de nutrientes y exigen mayor demanda de oxígeno (García-Oliva, *et al.*, 2019; Fang *et al.*, 2020; Sánchez y Gómez-León, 2024).

La calidad del agua está influenciada por las condiciones fisiocoquímicas que denotan los impactos ocasionados por la descarga de aguas residuales, dispersión de residuos, cambio de uso del suelo por la ganadería y agricultura, así también la apertura de la bocanara por diferentes sectores sociales y la supresión de bosques de ribera aguas arriba (McGrane, 2016; Annammala *et al.*, 2020; Sandonnini *et al.*, 2021; Kreiling *et al.*, 2021; Abdel-Satar *et al.*, 2024). Causando severas afectaciones socioeconómicas, eutrofización y pérdida de servicios ecosistémicos, por tal motivo, es de gran relevancia estudiar estos temas (Duijndam *et al.*, 2020).

La laguna de Nuxco, es un ecosistema salobre de gran relevancia ecológica y socioeconómica para las localidades que se encuentran asentadas a su alrededor, ya que provee recursos necesarios para el desarrollo de actividades diarias, la pesca que constituye parte de la economía local y fuente principal de alimento; uso recreativo y el aprovechamiento local del manglar, y finalmente es un hábitat de gran riqueza biológica para las especies nativas y endémicas, así como para su reproducción.

Sus características geográficas propician el desarrollo de asentamientos humanos y de diversas actividades productivas, que con ello generan el vertimiento de aguas residuales, arrastre de fertilizantes y materia orgánica producto de la ganadería, así como otras, alterando la dinámica fisiocoquímica que contrasta en la calidad del agua y afecta al ecosistema. Estos impactos son observados en distintas zonas del cuerpo de agua, pero es más notorio en la desembocadura del principal aporte de agua, debido al arrastre de contaminantes provenientes de aguas arriba de la subcuenca durante el periodo de lluvias.

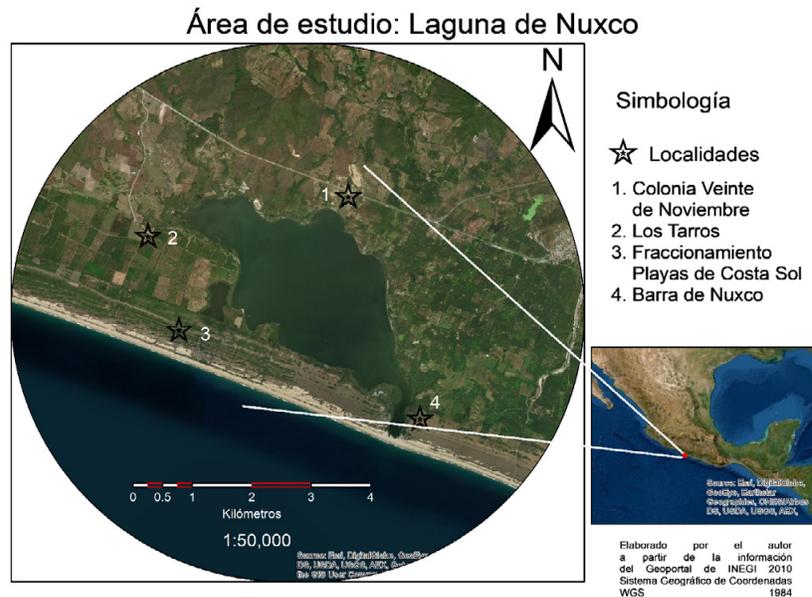
Debido a la importancia de la Laguna de Nuxco como socioecosistema, es necesario detectar las fuentes puntuales o antropogénicas que modifican la dinámica fisiocoquímica, por lo que es relevante el monitoreo constante de este sistema lagunar dada la mortandad masivas de peces que se observan esporádicamente en meses como mayo. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue conocer el estado fisiocoquímico del socioecosistema lagunar y analizar los efectos de las actividades antropogénicas, con la finalidad de proporcionar información clave que permita un plan de manejo sostenible de la Laguna.

---

## MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio fue llevado a cabo en la Laguna de Nuxco, la cual está ubicada en el Municipio de Técpan de Galeana, pertenece a la subcuenca de Nuxco de la región Hidrológica 19, en la región Costa Grande del Estado de Guerrero, México en las

coordenadas 17° 12' 06.65" N y -100° 46' 31.77" O. Asentadas alrededor de la laguna se encuentran las localidades Colonia Veinte Noviembre, Los Tarros, Fraccionamiento Playas de Costa del Sol y la Barra de Nuxco (Figura 1).



**Figura 1** | Área de estudio. Imagen obtenida de la plataforma Landsat (USGS).

## Monitoreo del cuerpo de agua

La presente investigación se realizó por un periodo anual, se seleccionaron de manera aleatoria cinco sitios de muestreo abarcando a lo largo y ancho la mayor extensión del territorio del cuerpo de agua. Los muestreos fueron mensuales, de febrero de 2016 a marzo de 2017; a través de la metodología propuesta en el PROYECTO-NMX-AA-121-SCFI-2005 que plantea los procedimientos para la recolección de las muestras en lagunas costeras, asimismo, el manual del INECC-CA (2010) que establece el plan de muestreo y las características para transportar las muestras de agua.

Por cada sitio de muestreo se colectaron muestras a una profundidad de 15 a 30 cm, considerado como una profundidad adecuada según Singh *et al.* (2024). Se utilizaron recipientes de plástico de 1 L preparados conforme a APHA (2005). Las colectas se realizaron por la mañana en un intervalo de tiempo de 2 horas, de 08:00 a 10:00 am.

Un total de 12 parámetros fisicoquímicos fueron determinados. Como instrumento se utilizó un equipo multiparamétrico HACH para registrar *in situ* la Temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ), Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y la Salinidad (PSU %).

De igual forma, *in situ*, se realizó la fijación del oxígeno disuelto según la NMX-AA-012-SCFI-2001 para su determinación en laboratorio por el método Winkler, este análisis al igual que la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Nitrógeno Amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) fue realizado por el laboratorio de calidad del agua del Centro de Ciencias de Desarrollo Regional de la Universidad Autónoma de Guerrero y por el Laboratorio Ingeniería en los Sistemas de Tratamiento de Aguas, S.A. de C.V., (ISTA): registro AG-158-025/09 expedido por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos fueron contrastados con base a los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, el acuerdo CE-CCA-001/89 y el semáforo de la CONAGUA (2017), instrumentos normativos que determinan los contaminantes en aguas de uso recreativo, pesquero y descargas de aguas residuales. Se realizó una

estadística descriptiva de los datos y se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) en el software Sigmaplot versión 11.0 con la finalidad de observar diferencias significativas entre los sitios de muestreo, permitiendo comparar la variabilidad entre los grupos de manera efectiva.

## RESULTADOS

### Calidad del cuerpo de agua

Para visualizar de manera práctica los sitios donde se recolectaron las muestras de agua, en la Figura 2 se observa la distribución de cada uno de los puntos seleccionados para el estudio de la laguna, para fines operativos los sitios fueron georreferenciados desde la primera medición y así recolectar siempre en los mismos puntos, asimismo se proyectan las corrientes intermitentes y perennes que aportan agua dulce a esta laguna salobre.

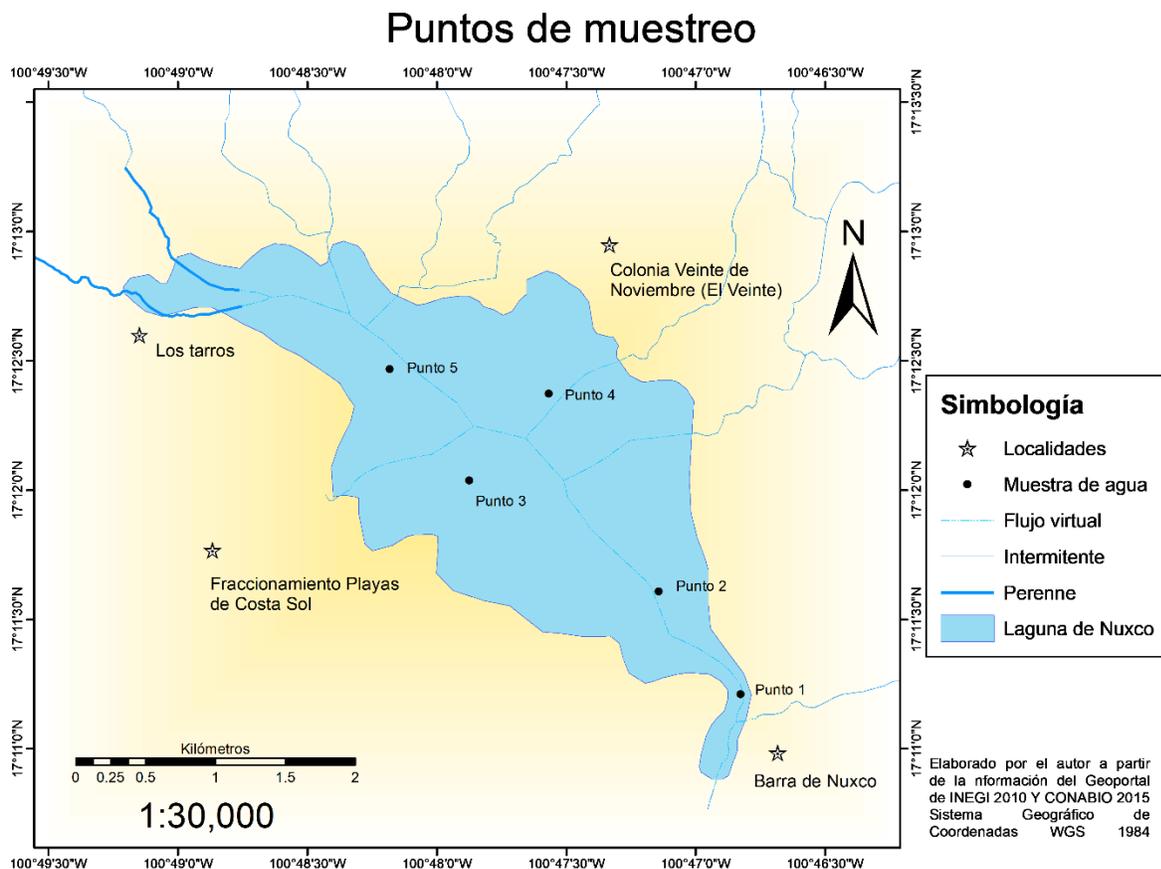


Figura 2 | Puntos de muestreo.

### Análisis de parámetros fisicoquímicos

Los resultados obtenidos de parámetros fisicoquímicos analizados en la Laguna de Nuxco se encuentran dentro de lo estipulado por la NOM-001-SEMARNAT-1996, es decir, no rebasan los límites máximos permisibles a pesar de que se vierten aguas residuales hacia el cuerpo de agua, sin embargo, se observó una concentración alta de nutrientes lo que genera problemas

de eutrofización, específicamente Nitrógeno amoniacal 0.63 mg/L, Nitritos 0.15 mg/L y Nitratos 21.64 mg/L, que se encuentran por arriba de los rangos del Acuerdo CE-CCA-001/89 que establece los límites máximos para protección a la vida acuática y del ecosistema; con relación al semáforo de la CONAGUA (2017) los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO en el cuerpo indican que se encuentra dentro del apartado que lo determina como contaminado.

## Temperatura y pH

La temperatura influye de manera importante en los procesos fisicoquímicos de los cuerpos de agua, en este estudio se encontró un promedio anual de 32.3 °C, y la temperatura más alta se observó en el punto de muestreo 1 en el mes de junio con 37.7 °C. El pH se comportó de manera alcalina con una concentración de 8, pero en el resultado obtenido de noviembre hubo un descenso y específicamente es en el punto uno donde se observó este fenómeno, y dados los resultados se puede señalar que la Laguna de Nuxco tiende a ser ligeramente alcalina, independientemente de la combinación de aguas marinas por la apertura de la bocabarra.

## Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica permite comprender la presencia de diferentes sustancias que se encuentran disueltas en un cuerpo de agua, en este estudio cada mes tuvo un incremento (Figura 3), en el mes de noviembre existió un aumento considerable debido a la influencia de agua de mar por el fenómeno de la apertura de la bocabarra, ya que se encuentra íntimamente relacionado con la salinidad y en este caso tienen el mismo comportamiento, en este sentido, al aumentar la salinidad, también lo hace la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales.

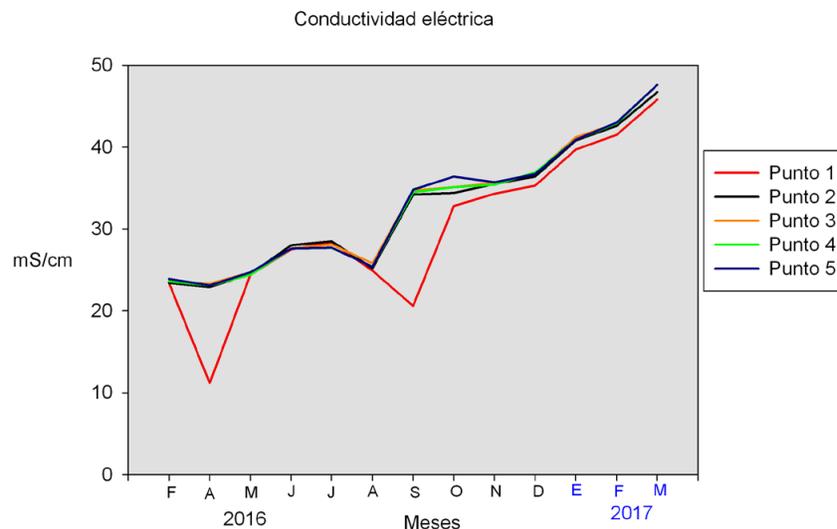


Figura 3 | Comportamiento de la CE durante el periodo estudiado.

## Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales al igual que la conductividad eléctrica y la salinidad están íntimamente relacionados y se observa el mismo comportamiento, en la Figura 4 se observa que en el mes de septiembre tuvo muy marcada esa tendencia, y al igual que la CE en noviembre sigue incrementando, esto puede deberse a que el cuerpo de agua es salobre y por tanto contiene sales como Sodio, Calcio, iones cloruro e iones sulfato.

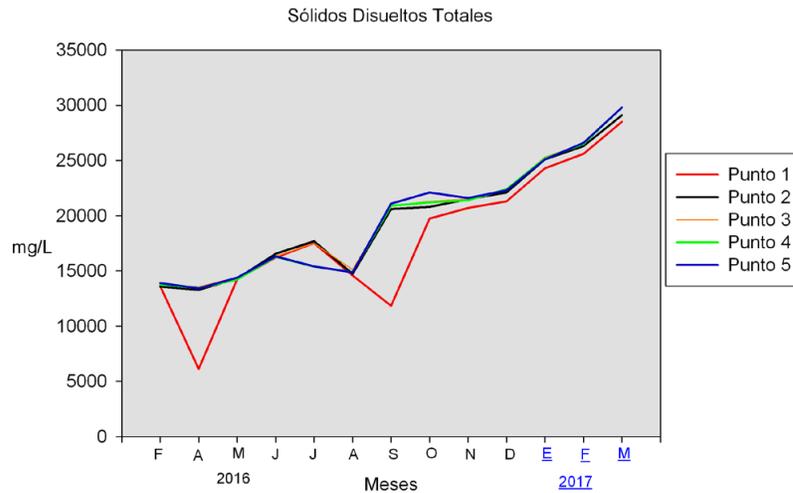


Figura 4 | Comportamiento de los SDT durante el periodo estudiado.

## Salinidad

La salinidad es un parámetro de gran relevancia en los cuerpos de agua, pues determina la concentración de sales disueltas, las cuales están relacionadas con diversos factores, principalmente con la evapotranspiración, la influencia del agua del mar, así como los aportes de agua dulce proveniente de arroyos y ríos, existe relación con los datos obtenidos de la CE y los SDT, por tanto es el mismo comportamiento como se logra observar en la Figura 5 la tendencia ocurre de manera similar.

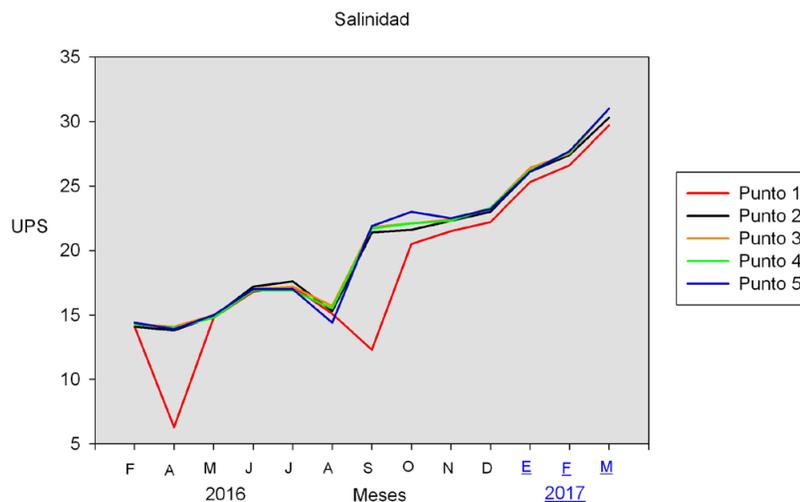


Figura 5 | Comportamiento de la salinidad durante el periodo estudiado.

## Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la vida acuática que se desarrolla en los cuerpos de agua, influye en un gran número de actividades vitales para que los microorganismos realicen sus funciones. Este elemento esencial, presentó las concentraciones más bajas en los puntos más cercanos al principal escurrimiento de agua, disminuyendo considerablemente el punto número uno

en los meses de julio y agosto. Al observar el comportamiento durante todo el año en la Figura 6, podemos señalar que en el mes de abril tuvo la concentración más alta y en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre los valores más bajos, datos que manifiestan relación con la época de lluvias, ya que los escurrimientos que terminan en el cuerpo receptor involucran microorganismos que demandan gran cantidad de oxígeno.

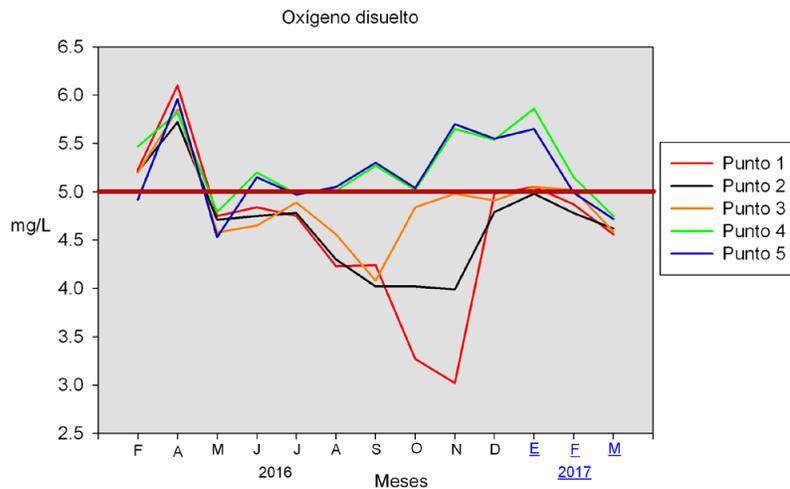


Figura 6 | Comportamiento de oxígeno disuelto durante el periodo estudiado.

## Demanda bioquímica de oxígeno

Estudiar la  $DBO_5$  permite conocer el estado o la salud de un cuerpo de agua, es un indicador importante que mide los compuestos orgánicos que pueden provenir de aguas residuales, actividades humanas e industriales, los resultados se observan en la Figura 7 al visualizar que los puntos 1, 2 y 3 tienen un comportamiento similar, sin embargo, en noviembre el punto 1 tuvo su mayor incremento a diferencia de los demás, el comportamiento de los puntos 4 y 5 es inversamente proporcional, lo que puede ser debido a la distancia y alejamiento del principal escurrimiento de agua, que por los efectos de la lluvia diversos contaminantes son arrastrados y descargados hacia el cuerpo de agua, generando demanda de oxígeno. Los resultados de la  $DBO_5$  al ser contrastados con el semáforo de la CONAGUA (2017) indican que el cuerpo de agua se encuentra en un estatus de contaminado.

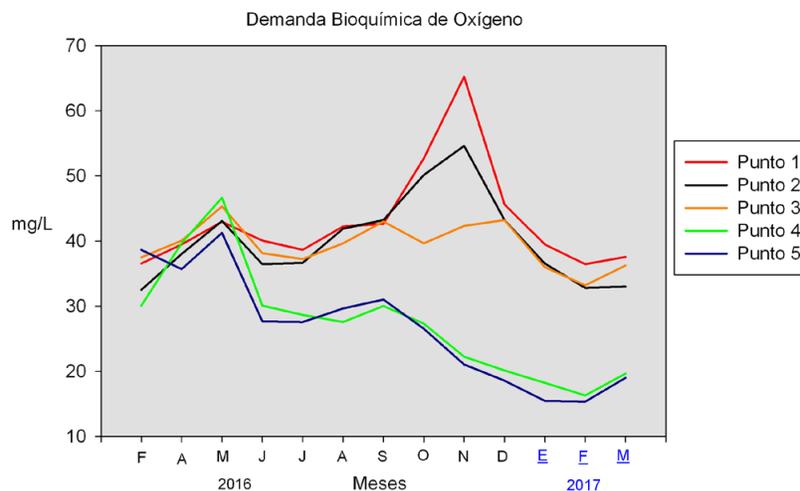


Figura 7 | Comportamiento de la  $DBO_5$  durante el periodo estudiado.

## Demanda química de oxígeno

La DQO indica la presencia tanto de materia orgánica e inorgánica en el cuerpo de agua, su importancia radica en identificar la cantidad consumida de oxígeno durante el proceso de descomposición de la materia biodegradable y no biodegradable y se relaciona con la  $DBO_5$  que de manera conjunta manifiestan el estado de salud, en la Figura 8 observamos que entre los puntos 1, 2 y 3 se comportan de manera similar, pero diferente a los puntos 4 y 5, en este caso el análisis que se visualiza es que en los meses de agosto a noviembre es donde se encontró un incremento de la DQO y está íntimamente relacionado con el periodo de lluvias, específicamente con el arrastre de contaminantes que escurren a través del principal afluente, en este sentido podemos catalogar a este cuerpo de agua en un estatus de contaminado según el semáforo de CONAGUA (2017).

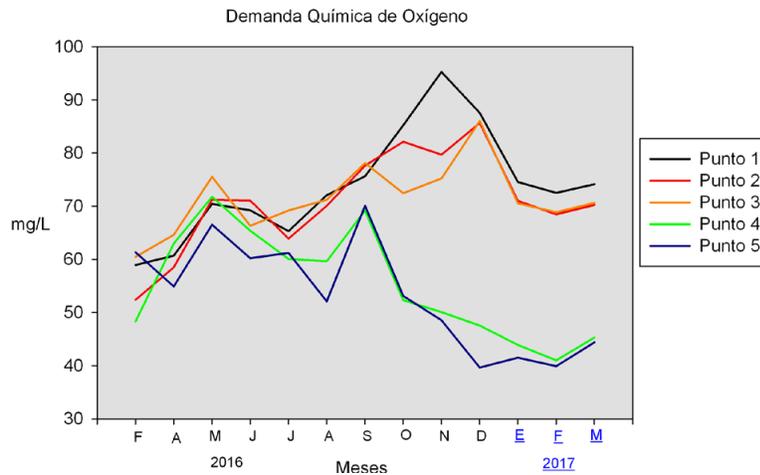


Figura 8 | Comportamiento de la DQO durante el periodo estudiado.

## Sólidos suspendidos totales

Los SST son partículas que no se sedimentan, capaces de transportar contaminantes y nutrientes provenientes de origen natural como por el desarrollo de actividades antropogénicas. El comportamiento de los SST son parecidos con los datos de la  $DBO_5$ , DQO y el oxígeno disuelto, dada su relación observamos un estatus similar, para este caso las concentraciones más altas se identificaron en septiembre, octubre y noviembre como se puede observar en la Figura 9. Y de manera general el estatus del cuerpo de agua se puede considerar de buena calidad según el semáforo de CONAGUA (2012).

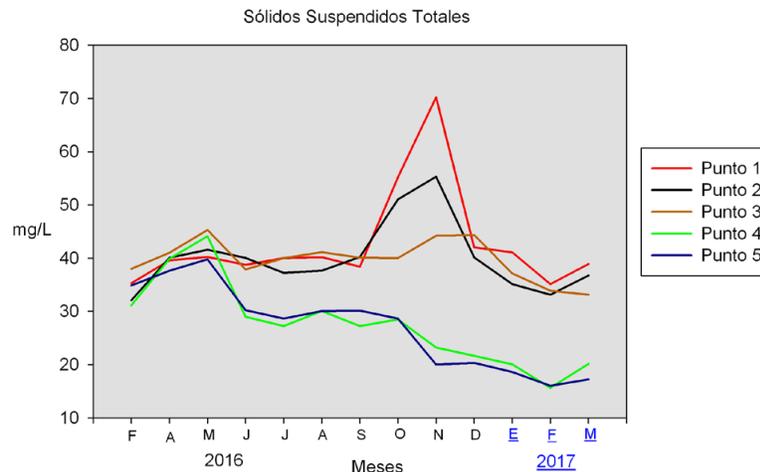


Figura 9 | Comportamiento de los SDT durante el periodo estudiado.

## Nitrógeno amoniacal

El Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) se incrementa como resultado del vertimiento de aguas residuales, industriales y actividades antropogénicas e indica contaminación reciente y una alta concentración es favorecida en aguas alcalinas. En la Figura 10 se observa que los puntos 1, 2 y 3 se comportan de manera similar, pero, con respecto a los puntos 4 y 5 presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), relacionándose además con los parámetros de  $\text{DBO}_5$ , DQO, Oxígeno disuelto, por lo que con base al acuerdo CE-CCA-001/89 rebasan los límites máximos permisibles establecidos, poniendo en riesgo la vida acuática y el ecosistema, las letras diferentes indican diferencias significativas.

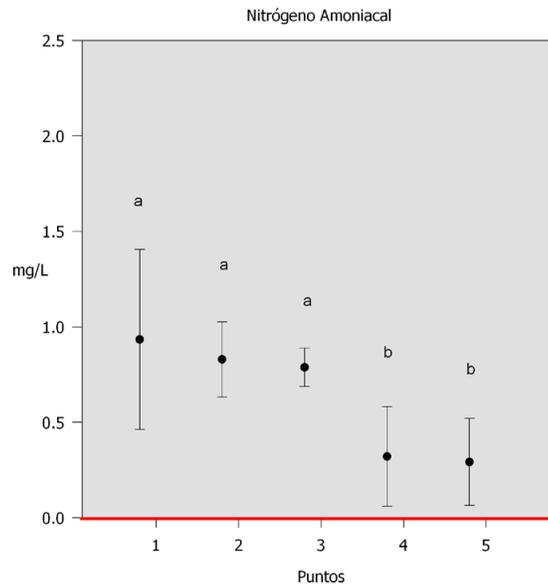


Figura 10 | Diferencias significativa entre los puntos analizados.

Es importante señalar que las muestras del punto 1, 2 y 3 son similares entre sí (Figura 11), a diferencia de los puntos 4 y 5 que se comportan de manera diferente con respecto a ellos, lo que sugiere este resultado que puede estar relacionado a que al inicio del periodo de lluvias el principal arroyo toma su cauce normal y desemboca cercano al punto 1, trayendo consigo descargas de agua residuales y el arrastre de contaminantes.

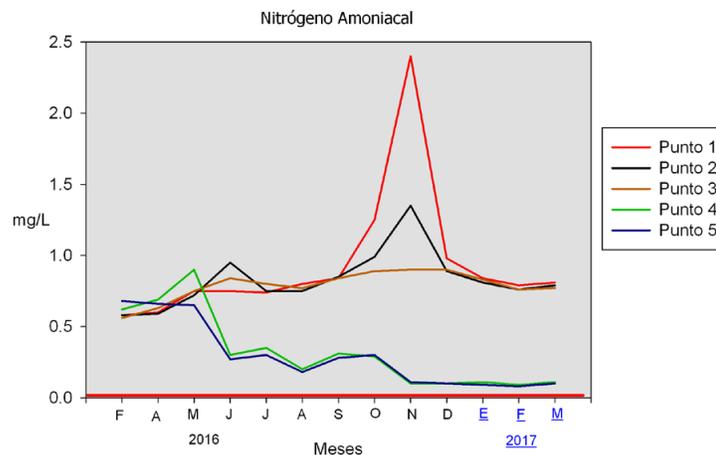
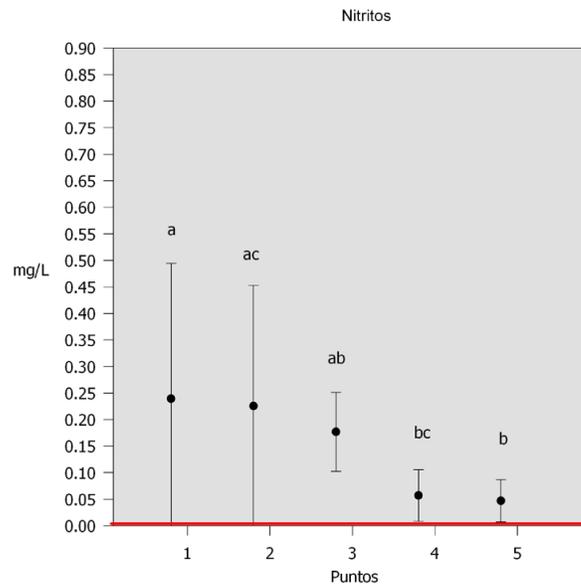


Figura 11 | Comportamiento de  $\text{NH}_3\text{-N}$  durante el periodo estudiado.

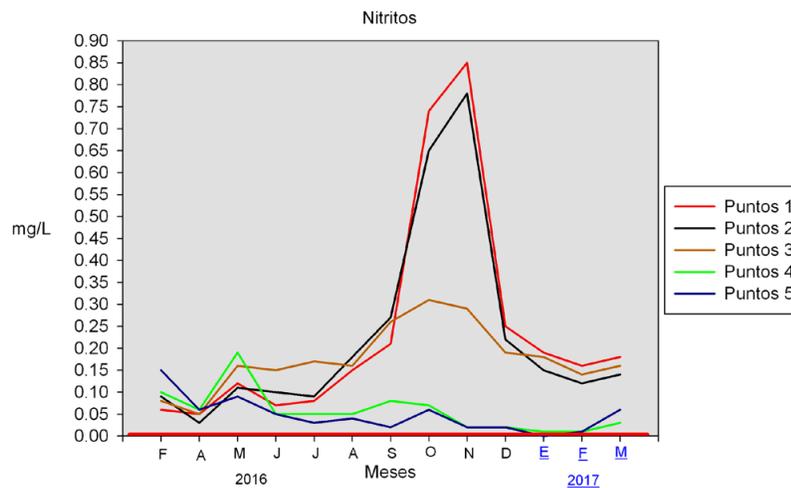
## Nitritos

Los nitritos en un cuerpo de agua se presentan de forma natural, por actividades humanas y por la agricultura, principalmente indican contaminación reciente por materia fecal, para este estudio las concentraciones se encuentran elevadas en los puntos 1, 2 y 3 respecto al 4 y 5 (Figura 12), rebasando el límite máximo permisible del Acuerdo CE-CCA-001/89 establecido para protección a la vida acuática, las letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los puntos, que se encuentran más alejados del principal aporte de agua dulce y por donde se vierten gran cantidad de aguas residuales.



**Figura 12** | Diferencias significativa entre los puntos analizados.

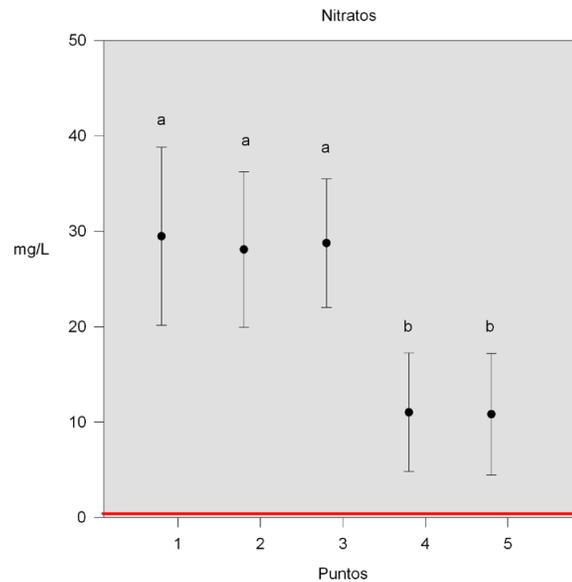
En la Figura 13 se observa que los puntos 1, 2 y 3 en el mes de septiembre incrementan las concentraciones de nitritos y es en el mes de Noviembre cuando se observa el valor más alto, a diferencia de los puntos 4 y 5, así como también que los puntos 1 y 2 incrementan drásticamente en el mes de octubre y noviembre, una vez que recibieron un aporte considerable de agua del principal escurrimiento y un evento de apertura de bocanarra ocasiona la disminución considerable.



**Figura 13** | Comportamiento de  $\text{NO}_2$  durante el periodo estudiado.

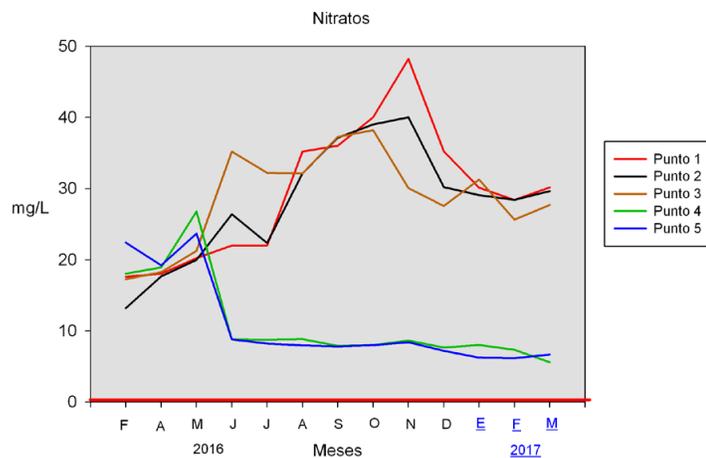
## Nitratos

Los nitratos están relacionados a las prácticas intensivas de la ganadería y de la agricultura y son fácilmente transportados o arrastrados del suelo hacia los cuerpos de agua, los puntos 1, 2 y 3 (Figura 14) tienen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al punto 4 y 5, asimismo, rebasan los límites máximos establecidos por el acuerdo CE-CCA-001/89 para la protección a la vida acuática, además de tener relación con demás parámetros como DBO, DQO, oxígeno disuelto, sólidos, nitrógeno amoniacal y nitritos.



**Figura 14** | Diferencias significativa entre los puntos analizados.

La muestra 1, 2 y 3 en la Figura 15 tienen similitud en sus valores, pero con el paso del tiempo se diferencian de las muestras 3 y 4, observando en los meses de octubre y noviembre los puntos con concentraciones más altas de nitratos, probablemente su relación esté relacionada con el periodo de lluvias y el arrastre hacia el cuerpo de agua tanto de plaguicidas como fertilizantes a base de nitrógeno.



**Figura 15** | Comportamiento de  $\text{NO}_3$  durante el periodo estudiado.

## DISCUSIÓN

La Laguna de Nuxco es un cuerpo de agua que tiene gran importancia por la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos que provee, como la filtración, purificación, la absorción de nutrientes y regulación del clima, sin embargo, los datos obtenidos revelan que este cuerpo de agua está siendo amenazado por las actividades primarias y secundarias que se realizan, como la agricultura, la ganadería, la acuicultura, así como el vertimiento de aguas residuales que modifican la calidad del agua, trayendo consigo modificaciones en su dinámica físicoquímica que impactan considerablemente la vida acuática.

En estudios como los de Audouit *et al.* (2017) y González-Dávila *et al.* (2019) la calidad de agua de algunos ecosistemas costeros presentan una buena calidad hasta un estatus de moderada, y los parámetros analizados para esta investigación que se contrastan con base a la NOM-001-SEMARNAT-1996 no rebasan los límites máximos permisibles, pero, hay que enfatizar que esta normativa es específica para evaluar las descargas de aguas residuales directamente de los puntos de descarga y para este estudio se realizó en diferentes zonas del cuerpo de agua.

El cuerpo de agua tuvo una temperatura de 32.3 °C similar a lo encontrado por Villerías-Salinas *et al.* (2016) en la Laguna de Tecamate donde la temperatura estuvo en un rango de 28 a 32°C, pero observaron que la temperatura más alta fue en mayo a diferencia de este estudio que fue en junio, durante el período de estiaje. El pH encontrado en este estudio manifiesta un cuerpo de agua con características alcalinas, similar a lo encontrado en la laguna de Yuriria Alvarado en Guanajuato por Espinal-Carreón *et al.* (2013).

La conductividad eléctrica, los Sólidos Disueltos Totales y la Salinidad están íntimamente relacionadas, pues evalúa la cantidad de sustancias disueltas en un cuerpo de agua, los tres parámetros son directamente proporcionales. Para este estudio tienen la misma tendencia, Castillo-Eliás *et al.* (2017) observó el mismo caso en cuanto a Conductividad eléctrica en la Laguna de Coyuca.

El cuerpo de agua tiene concentraciones adecuadas de Oxígeno Disuelto, al menos para el período estudiado, ya que con base al Acuerdo CE-CCA-001/89 se encuentra cercano a lo recomendado que es de 5 mg/L, un dato interesante, pues las concentraciones de nutrientes delatan la gran Demanda Bioquímica de Oxígeno observada en este cuerpo de agua, a diferencia de los valores encontrados por Villerías-Salinas *et al.* (2016) en la Laguna de Tecamate que fue de 7.0 mg/L, sin embargo, en el mes de noviembre en el punto 1 cercano a la escorrentía de agua dulce tuvo una concentración de 3.0 mg/L, esto se debe por el arrastre de nutrientes durante el periodo de lluvias y que demanda mayor oxígeno (Bhuiyan *et al.*, 2024).

La CONAGUA (2017) a través de los parámetros SST, DBO Y DQO establece mediante un semáforo los límites permisibles y los cataloga de acuerdo a las concentraciones, encontrando para este estudio por arriba de lo permitido y categorizándolo Contaminado, lo cual está íntimamente relacionado con la materia orgánica (Patra *et al.*, 2024).

Por otro lado, se encontró una alta concentración de nutrientes como NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub> al igual que en otros cuerpos de agua, similar a lo reportado por Rendón-Dircio *et al.* (2011) con las mismas características que este y que con base al acuerdo CE-CCA-001/89 rebasa los límites máximos permisibles, poniendo en riesgo la vida acuática de la Laguna de Nuxco, pues se encuentran íntimamente relacionados con las diversas actividades que se desarrollan alrededor y se deben al vertimiento de aguas residuales domésticas, arrastre de heces tanto de bovinos como de peces y además por el arrastre de los fertilizantes y plaguicidas utilizados en la producción (Bolaños-Alfaro *et al.*, 2017).

Cardoso-Mohedano *et al.* (2016) mencionan que los altos contenidos de estos nutrientes como el NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub> generan eutrofización reduciendo las concentraciones del Oxígeno disuelto, lo cual causa daños ambientales en los ecosistemas costeros, como ejemplo la Laguna de Nuxco donde se encuentran por arriba del acuerdo poniendo en riesgo la vida acuática y puede ser una de las explicaciones a la mortandad masiva de peces que se ha observado en algunas temporadas del año y reportadas por los pobladores.

Las concentraciones de NH<sub>3</sub> encontradas en este cuerpo de agua nos indica contaminación reciente por la descarga de aguas residuales, actividades antropogénicas y se ve favorecido por el pH alcalino identificado y señalado por Zainol *et al.* (2020). Al estar por arriba de los límites máximos permisibles por el Acuerdo CE-CCA-001/89 se pone en riesgo la vida acuática de la Laguna de Nuxco, lo que es de interés y realmente preocupante para Orif (2020) debido al incremento de estos nutrientes. Este incremento se ve favorecido durante los meses del período de lluvias, debido al arrastre de contaminantes y la crecida del principal escurrimiento

que desemboca en la Laguna, también por el uso de fertilizantes a base de compuestos nitrogenados usados en la agricultura (Eugercios-Silva *et al.* 2017), la dispersión difusa y puntual de aguas residuales y contaminación por actividades ganaderas, urbanas y rurales, coincidiendo con lo encontrado por Seiler *et al.* (2020) en una laguna costera de Brasil.

El arrastre de contaminantes por el principal escurrimiento hacia el cuerpo de agua, incrementa las concentraciones de  $\text{NO}_2$  en los puntos 1, 2 y 3, indicando contaminación reciente por materia fecal, a diferencia de los puntos 4 y 5 donde se encontraron concentraciones más bajas, diferente a lo reportado por Espinal-Carreón *et al.* (2013) donde señalan que no observaron diferencias significativas entre los sitios de muestreo. Estos resultados coinciden con los observado por Muciño-Márquez *et al.* (2017) en un sistema fluvio-lagunar de Campeche, donde los nitritos se encontraron por debajo del Amonio y de los Nitratos, asimismo, encontrando también que la más alta concentración se registró en octubre y en este estudio en los meses de octubre y noviembre.

Las concentraciones de  $\text{NO}_3$  manifiestan la presencia de altas concentraciones de nutrientes debido a las prácticas extensivas de la ganadería y la agricultura, pues se rebasan los límites máximos permisibles del Acuerdo CE-CCA-001/89, igual a lo reportado por Cervantes-Martínez *et al.* (2015) donde encontraron que los Nitratos rebasaban este acuerdo en la laguna de Colombia en Isla Cozumel y laguna Macax en Islas mujeres y los puntos más cercanos al principal escurrimiento de agua, son los puntos 1, 2 y 3 los cuales presentan datos más altos a diferencia del punto 4 y 5, los cuales se encuentran más alejados, algo similar encontraron De la Lanza-Espino y Gutiérrez-Mendieta (2017) en la Laguna de Nuxco de un muestreo de 1975, observando un incremento en las concentraciones de Nitratos, recalando que no solo puede relacionarse con la descarga de aguas negras, sino también, por el uso constante e intensivo de fertilizantes que escurren de los campos agrícolas hacia estos ecosistemas costeros, por tanto existe un proceso de nitrificación (Carol *et al.*, 2023; Zilius *et al.*, 2024).

Para Menció *et al.*, (2023) un cuerpo de agua con concentraciones de nitrato se debe a una mezcla de aguas residuales, sobre todo aquellas provenientes de aguas superficiales, que se ve favorecido por la presencia de materia orgánica, asimismo el nitrógeno inorgánico es detectado después de los eventos de tormenta y el amonio está relacionado con el ciclo del nitrógeno orgánico.

---

## CONCLUSIONES

Existen diversas actividades antropogénicas como la agricultura, la ganadería, la urbanización y especialmente el vertimiento de aguas residuales que se desarrollan alrededor de la Laguna y aguas arriba que modifican significativamente su dinámica. Los parámetros fisicoquímicos determinados en este estudio rebasan los límites máximos permisibles del Acuerdo CE-CCA-001/89, lo que representa un riesgo para la vida acuática del socioecosistema. Además, contrastando los valores de  $\text{DBO}_5$  Y DQO con el semáforo de la CONAGUA este cuerpo de agua se considera como “contaminado”.

El estudio encontró una alta concentración de nutrientes y con ello agrava el problema de eutrofización, que incrementa durante el período de lluvias, debido al arrastre de contaminantes provenientes de aguas residuales, fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, así como de las heces producto de la ganadería y la acuicultura. Este incremento se evidencia en los puntos 1, 2 y 3, pues se encuentran cercanos a la principal corriente de agua que desemboca en la laguna, por tanto, mostrando diferencias significativas con respecto a los puntos 4 y 5, que se encuentran mas alejados.

La Laguna de Nuxco tiene una dinámica en su fisicoquímica relacionada con diversos factores tanto de origen antropogénico como naturales, sin embargo, tiene una capacidad de resiliencia favoreciendo una innumerable cantidad de servicios ecosistémicos, por tal motivo es necesario seguir monitoreando la calidad del cuerpo de agua para diseñar un plan de manejo sustentable, que regule las fuentes de contaminación.

Es necesario seguir monitoreando este cuerpo de agua y además agregar estudios específicos para detectar la presencia de plaguicidas, realizar estudios sobre bosques de ribera aguas arriba; asimismo, en la parte alta de la subcuenca identificar la descarga puntual de aguas residuales, y sobre todo aplicar los diferentes índices para evaluar el estado actual de la laguna.

## AGRADECIMIENTOS

A CONAHCYT por el apoyo otorgado vía beca para el estudio de doctorado, al laboratorio de agua del Centro de Ciencias de Desarrollo Regional de la Universidad Autónoma de Guerrero y al Laboratorio de Ingeniería en los Sistemas de Tratamiento de Aguas S. A de C.V. (ISTA).

## REFERENCIAS

- Abdel-Satar, A.M., Salem, S.G., El-Sayed, S.M. Goher, M.E., Abdelaziz, G.S., Al-Afifi, A.D. G. 2024. Comprehensive assessment of water and sediment quality in Lake Nasser, Egypt, using various potential risk indices. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 53(1), 40-60. <https://doi.org/10.26881/oahs-2024.1.06>
- Annamala, K.V., Mohamad, N.A., Sugumaran, D., Masilamani, L.S., Liang, Y.Q., Jamal, M.H., Nainar, A. 2020. Sediment clues in flood mitigation: the key to determining the origin, transport, and degree of heavy metal contamination. *Hydrology Research*, 52(1), 91-106. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.119>
- APHA. 2005. *Standard methods for the examination of water and waste water*. 21th ed. American Public Health Association, Washington DC.
- Audouit, C., Pasqualini, V., De Wit, R., Flanquart, H., Deboudt, P., Rufin-Soler, C. 2017. Comparing social representation of water quality in coastal lagoons with normative use of ecological indicators. *Marine Policy*, 101, 137-146, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.023>
- Bolaños-Alfaro, J., Cordero-Castro, G., Segura-Araya, G. 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 4(30),15-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Bhuiyan, M.M. U., Rahman, M., Naher, S., Shahed, Z.H., Ali, M.M., Reza A., Islam, M.T. 2024. Oxygen declination in the coastal ocean over the twenty-first century: Driving forces, trends, and impacts. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100621>.
- Cardoso-Mohedano, J.G., Páez-Osuna, F., Amezcua-Martínez, F., Ruíz-Fernández, A.C. , Ramírez-Reséndiz, G., Sánchez-Cabeza, J.A. 2016. Combined environmental stress from shrimp farm and dredging releases in a subtropical coastal lagoon (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*, 104(1-2), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.008>
- Carol, E., Galliari, M.J. Santucci, L., Nuñez, F., Faleschini, M. 2023. Assessment of groundwater-driven dissolved nutrient inputs to coastal wetlands associated with marsh-coastal lagoons systems of the litoral of the outer Río de la Plata estuary. *Science of the Total Environment*, 885, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163942>
- Castillo-Elías, B., Gervacio-Jiménez, H., Bedolla-Solano, R., García-Domínguez, Y.B., Mendoza-Almazán, E. 2017. Evaluación de la calidad del agua en el canal meándrico lagunar de Coyuca de Benítez, Gro. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 4(5), 57-69
- CE-CCA-001/89. Criterios ecológicos de calidad de cuerpos de agua.
- Cervantes-Martínez, A., Gutiérrez-Aguirre, M., Álvarez-Legorreta, T. 2015. Indicadores de calidad del agua en lagunas insulares costeras con influencia turística: Cozumel e Isla Mujeres, Quintana Roo, México. *Teoría y Praxis*, 60-83. <https://doi.org/10.22403/UQROOMX/TYPNE2015/03>
- CONAGUA. 2012. Monitoreo de la Calidad del Agua. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/atlas/index.html>
- CONAGUA. 2017. Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Nacionales. Disponible en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/red-nacional-de-monitoreo-de-la-calidad-de-las-aguas-nacionales-de-conagua>

- CONAGUA. 2017. Monitoreo de la Calidad del Agua. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/145524/Monitoreo\\_de\\_calidad\\_del\\_agua\\_en\\_México\\_2012-2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/145524/Monitoreo_de_calidad_del_agua_en_México_2012-2015.pdf)
- De la Lanza-Espino, G., Gutiérrez-Mendieta, F.J. 2017. Intervalos de parámetros no-conservativos en sistemas acuáticos costeros de México. *Hidrobiológica*, 27(3), 369-390. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2017v27n3/Delalanza>
- De Liz-Arcari, A., Tavora, J., Van Der-Wal, D., Salama, M.S. 2023. The Wastewater Contamination Index: A methodology to assess the risk of wastewater contamination from satellite-derived water quality indicators. *Frontiers Environmental Science*, 11, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1130655>
- Duijndam, S. Van Beukering, P. Fralikhina, H. Molenaar, A., Koetse, M. 2020. Valuing a Caribbean coastal lagoon using the choice experiment method: The case of the Simpson Bay Lagoon, Saint Martin. *Journal for Nature Conservation*, 56, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125845>
- Espinal-Carreón, T., Sedeño-Díaz, J.E., López-López, E. 2013. Evaluación de la calidad del agua en la Laguna Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 147-163
- Eugercios-Silva, A.R., Álvares-Covelas, M., Montero-González, E. 2017. Impactos del Nitrógeno agrícola en los ecosistemas acuáticos. *Ecosistemas*, 26(1), 37-44. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.06>
- Fang, X., Li, X., Xiang, Y., Hao, C., Zhao, Y., Zhang, Y. 2020. Cumulative impact of anthropogenic nutrient inputs on lagoon ecosystems — A case study of Xincun Lagoon, Hainan, China. *Regional Studies in Marine Science*, 35, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101213>
- García-Oliva, M., Marcos, C., Umgiesser, G., McKiver, W., Ghezzi, M., De Pascalis, F., Pérez-Ruzafa, A. 2019. Modelling the impact of dredging inlets on the salinity and temperature regimes in coastal lagoons. *Ocean & Coastal Management*, 180, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104913>
- González-Dávila, R.P. Ventura-Houle, R. De La Garza-Requena, F.R., Heyer-Rodríguez, L. 2019. Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(1), 1-29. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-01>
- Han, D., Hong, Y., Wu, J., Xian, H., Dong, X., Liu, H., Ye, F., Wang, Y. 2024. Salinity and pH related microbial nitrogen removal in the largest coastal lagoon of Chinese mainland (Pinqing Lagoon). *Marine Pollution Bulletin*, 201, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116181>
- INECC-CCA. 2010. Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices prioritarias del PRONAME.
- Joao-Rocha, M., Rocha, E. 2024. Pesticides in a temperate coastal lagoon in southwest Europe (Ria de Aveiro, Portugal) – Risk assessment and acute assays with *Artemia* and *Daphnia*. *Emerging Contaminants*, 10(2), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100282>
- Kreiling, R.M., Bartsch, L.A., Perner, P.M., Hlavacek, E.J., Christensen, V.G. 2021. Riparian forest cover modulates phosphorus storage and nitrogen cycling in agricultural stream sediments. *Environmental Management*, 68, 279-293. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01484-9>
- Makhlouf-Belkahia, N., Pagano, M., Chevalier, C., Devenon, J.L., Daly Yahia, M.N. 2021. Zooplankton abundance and community structure driven by tidal currents in a Mediterranean coastal lagoon (Boughrara, Tunisia, SW Mediterranean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 250, 1-22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107101>
- McGrane, S.J. 2016. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2295-2311, <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>

- Menció, A., Madaula, E., Meredith, W., Casamitjana, X., Quintana, X.D. 2023. Nitrogen in surface aquifer - Coastal lagoons systems: Analyzing the origin of eutrophication processes. *Science of The Total Environment*, 871, 2-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161947>.
- Muciño-Márquez, R.E. Aguirre-León, A., Figueroa-Torres, M.G. 2017. Evaluación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México. *Hidrobiológica*, 27(3), 281-291. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/hidro/2017v27n3/Mucino>
- Newton, A., Mistri, M., Pérez-Ruzafa, A., Reizopoulou, S. 2023. Editorial: Ecosystem services, biodiversity, and water quality in transitional ecosystems. *Frontiers Ecology and Evolution*, 11, 1-3. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1136750>
- NMX-AA-012-SCFI-2001. Determinación de Oxígeno Disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales.
- Orif, M.I. 2020. Environmental aspects of Al-Shabab and Al-Arbaeen, two coastal lagoons in the eastern Red Sea coast. *Regional Studies in Marine Science*, 40, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101401>
- Patra, S., Basuri, C.K., Muduli, P.R., Kanuri, V.V., Robin, R.S., Dipnarayan, G., Abhilash, K.R., Avvari, L., Panda, U.S., Dash, S.K., Ramana-Murthy, M.V. 2024. Determination of biogeochemical rate constants for Chilika Lake, a tropical brackish water lagoon on the east coast of India. *Frontiers in Marine Science*, 11, 01-09. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1323229>.
- Pérez-Ruzafa, A., Molina-Cuberos, G.J., García-Oliva, M., Umgieser, G., Marcos, C. 2024. Why coastal lagoons are so productive? Physical bases of fishing productivity in coastal lagoons. *Science of the Total of Environment*, 922, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171264>
- PROYECTO-NMX-AA-121-SCFI-2005. Proyecto de Norma Mexicana que establece los procedimientos de muestreo en aguas naturales epicontinentales, costeras y marinas.
- Rendón-Dircio, J.A. Ponce-Palafox, J.T. Rojas-Herrera, A. Arredondo-Figueroa, J.L. De la Lanza, G. Flores-Verdugo, F. 2011. Morfometría Hidrodinámica y Físico-Química del Agua de la Laguna de Chautengo, Guerrero, México. *Biociencias*, 1(4), 25-37
- Sánchez, A., Gómez-León, A. 2024. Azotic sediments and benthic foraminifera: Environmental quality in a subtropical coastal lagoon in the gulf of California. *Environmental Research*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117924>.
- Sandonnini, J., Del Pilar Ruso, Y., Cortés Melendreras, E., Barberá, C., Hendriks, I.E., Kersting, D.K., Giménez Casalduero, F. 2021. The emergent fouling population after severe eutrophication in the Mar Menor coastal lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101720>
- Seiler, L.M. N., Fernandes, E.H. L., Siegle, E. 2020. Effect of wind and river discharge on water quality indicators of a coastal lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, 40, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101513>
- Singh, R.B., Patra, K.C., Pradhan, B., Samantra, A. 2024. HDTO-DeepAR: A novel hybrid approach to forecast surface water quality indicators. *Journal of environmental Management*, 352, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120091>
- Villeras-Salinas, S. Violante-González, J. García-Castro, N., Alonzo-Guzmán, L. 2016. Environmental Deterioration of the Tecamate Coastal Lagoon, in the Guerrero State, Mexico. *International Journal of Geosciences*, 7, 1-10. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.71001>.
- Zainol, Z., Akhir, M.F., Abdullah, S. 2020. Hydrodynamics, nutrient concentrations, and phytoplankton biomass in a shallow and restricted coastal lagoon under different tidal and monsoonal environmental drivers. *Regional Studies in Marine Science*, 38, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101376>
- Zilius, M., Bariseviciute, R., Bonaglia, S., Klawonn, I., Lorre, E., Politi, T., Vybernaite-Lubiene, I., Voss, M., Bukaveckas, P. 2024. Riverine inputs and phytoplankton community composition control nitrate cycling in a coastal lagoon. *EGUsphere* [preprint]. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-3054>, 2024.