

Simplemente complejo: el Sistema Lagunar Nichupté en Cancún, Quintana Roo (México)

La península de Yucatán es conocida por su riqueza biológica, sus rasgos fisiográficos característicos y su larga línea costera. El sitio en donde mejor interactúan estos factores son las lagunas costeras, integrando la biodiversidad, las características kársticas de la región y la costa para formar un sistema con una variabilidad física, química y biológica compleja. Este ensayo presenta una recopilación de información sobre algunas características físicas, químicas y biológicas de una de las lagunas costeras más importantes de Quintana Roo, su vulnerabilidad ante diferentes factores externos y la manera en que podrían verse afectados por la actividad antrópica.

Palabras clave:
Biogeoquímica, laguna costera, laguna Nichupté, península de Yucatán.

PABLO JOHAN ORTEGA ALMAZÁN, EDUARDO CEJUDO
ESPINOSA* Y DANIELA ORTEGA CAMACHO

Unidad de Ciencias del Agua, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.,
Calle 8, No. 39, Mz. 29, S.M. 64,
77524, Cancún, Quintana Roo, México.

* eduardo.cejudo@cicy.mx

Las lagunas costeras son grandes cuerpos de agua superficiales usualmente orientados paralelos a la costa y que están conectados por una o más entradas al mar abierto, al menos de manera intermitente. A nivel global, las lagunas costeras ocupan un 13 % de las áreas costeras y se consideran muy vulnerables a impactos, tanto naturales como antrópicos (Kjervfve 1994). En México, contamos con 12018 km de línea de costa (Gobierno de México 2019), de los cuales tenemos 1176 km en el estado de Quintana Roo, representando más del 10.2 % de la costa del total de la república mexicana (INEGI 2010). Al norte del estado de Quintana Roo, al este de la ciudad de Cancún, se encuentra una de las lagunas costeras más grandes e importantes de la zona, el Sistema Lagunar Nichupté (SLN) (Figura 1), el cual es opacado muchas veces por las playas azul turquesa del destino turístico y únicamente apreciado por biólogos, conservacionistas y locales que entienden su riqueza e importancia para la región. Este importante cuerpo de agua tiene una gran complejidad, no solo por su vasta área de 47.47 km², sus aguas someras, sus “ojos de agua” (que son entradas de agua subterránea), sus siete cuerpos de agua y sus dos entradas a mar abierto que lo componen; sino también por la colindancia que tiene con zonas urbanas, la actividad ecoturística que se realiza y los grandes complejos hoteleros y residenciales, lo cual ha dejado al SLN completamente rodeado y expuesto a la actividad humana.

El SLN ha sido estudiado en múltiples ocasiones con diferentes enfoques. A lo largo de los años se han realizado estudios de fauna, microorganismos, fitoplancton y zooplancton, entre otros



Figura 1. A. posición del estado de Quintana Roo en México B. Manantiales Sistema Lagunar Nichupté. (Figuras A. Tomada de Wikipedia. B. Tomado de Carbajal, 2009).

(Collado-Vides y Gonzalez-Gonzalez 1995, Álvarez-Cadena *et al.* 2007, 2008). Buscando una mejor comprensión sistémica del funcionamiento y la dinámica del sistema lagunar, en los años noventa del siglo pasado ya se contaba con estudios publicados sobre las corrientes, mareas y algunos estudios de batimetría (González 1989, Merino *et al.* 1990, Vázquez-Urbe 1992). En los años posteriores, y con el desarrollo exponencial de la ciudad, empezaron a evaluarse sitios puntuales y de especial interés en la Laguna Bojórquez, al noreste del SLN, con la presunción de que existía contaminación (González 1989, Merino *et al.* 1992). En múltiples estudios se ha indicado que la Laguna Bojórquez, al noreste del SLN, se encuentra eutrofizada debido al impacto antropogénico al que ha estado expuesta (González 1990, Herrera-Silvera *et al.* 2006, Romero 2016). Esta laguna también se reportó como contaminada y se han llegado a tomar acciones preventivas y correctivas con el fin de restaurar la calidad del agua (López 2010, Alcocer *et al.* 2013).

Pocos han sido los estudios que han tratado de evaluar de manera general a todo el SLN, la mayoría de estos recientes, llegando a diferentes conclusiones. En este artículo, se analiza de manera general los trabajos existentes que han evaluado propiedades del agua en el SLN, con el objetivo de poder identi-

car algunos patrones de comportamiento que podemos observar en una laguna costera en una región kárstica y colindante a la zona urbana, y proponer así enfoques de estudio para éste y para cuerpos costeros con características similares en la región.

¿Qué afecta al comportamiento de una laguna costera de la región?

Las lagunas costeras, al tener una o más conexiones con el mar, se encuentran influenciadas por este aporte del agua salada, la estabilidad general depende principalmente de condiciones climáticas, así como el ancho, número y tipo de conexiones (Kjervf 1994). Suelen ser cuerpos acuáticos con una alta productividad primaria y secundaria, atrapan sedimento y funcionan como reservorios de varios elementos químicos. Como consecuencia del subsuelo kárstico de la península de Yucatán, suelen tener aportes de agua dulce por medio de manantiales que modifican las propiedades del agua, actúan como fertilizantes y favorecen el intercambio de elementos con el mar (Herrera-Silveira *et al.* 1998). Inclusive en la región hay antecedentes de lagunas costeras que tienen identificadas entradas de agua subterránea de más de un origen, lo que modifica en buena medida las características del agua de las lagunas costeras (Young *et al.* 2008).

¿Qué procesos ocurren en el SLN?

El SLN es una laguna costera de tipo restringida que tiene dos conexiones con el Mar Caribe, la más grande es Calinda, de 62 metros, localizada al norte, y Nizuc al sur con 32 metros en sus puntos más angostos. Sin embargo, a pesar de tener más de una entrada, Merino y colaboradores (1990) la identifican como una laguna ahogada debido a sus largos tiempos de residencia, el control climático que ejerce sobre sus propiedades físicas y químicas, la influencia de las mareas confinada a las entradas y las zonas de influencia de estas. Dentro del SLN, más recientemente se ha identificado que el proceso principal que controla las propiedades químicas del agua es la evaporación (Romero 2016), aunque también se evidencia la importancia del aporte de agua subterránea, estimado en $8.7 \times 10^6 \text{ km}^3$ al año, lo que equivaldría al 6.3% del volumen total del sistema (Merino *et al.* 1990). Por medio de batimetría (que es la medición topográfica del fondo sumergido), se ha demostrado la presencia de 23 manantiales de agua dulce en el sistema lagunar (Carbajal 2009). Sin embargo, se cree que podría haber más en zonas no estudiadas, como en las zonas de manglares o cerca de las entradas de mar, y que la presencia o ausencia de estos podría ser dinámica, abriendo y cerrando de manera estacional en respuesta a la precipitación pluvial tierra dentro. En el estudio de Carbajal (2009), se presenta la hipótesis que, de las diferentes salidas de agua subterránea identificadas, algunas en la zona norte corresponden a agua con altas cargas de nutrientes, que modifican las propiedades químicas y biológicas por ser agua de posible origen antropogénico, mientras que el resto, ubicadas en la zona oeste de la cuenca central, corresponden a aguas de muy baja salinidad y con menos nutrientes, que modifican de manera más directa la salinidad.

Los primeros datos que se tiene de la calidad del agua del SLN datan de un estudio elaborado para FONATUR en 1998, en donde se realizó la medición de parámetros fisicoquímicos como pH, salinidad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), así como algunos nutrientes. El estudio evidenció el comportamiento heterogéneo del sistema lagunar, debido a valores atípicos en los parámetros fisicoquímicos en algunos sitios, principalmente por los gradientes pronuncia-

dos de salinidad. En años más recientes, se han realizado una mayor cantidad de estudios enfocados en parámetros fisicoquímicos como el pH, la alcalinidad, nutrientes o sólidos suspendidos, entre otros (Pedrozo-Acuña *et al.* 2008, FSIDA 2012, Romero 2016, Romero-Sierra *et al.* 2018, Cejudo *et al.* 2021). Actualmente la Red Nacional de Monitoreo en la Calidad del Agua (RENAMECA), mantiene un monitoreo en nueve puntos dentro del SLN, con intervalos de tres a cuatro meses, con datos disponibles entre 2012 al 2022, siendo esta la base de datos más grande disponible del sistema, incluso conteniendo información sobre algunos metales como Pb, Cd, Cu y Zn. (CONAGUA 2021).

Las dificultades de su estudio

La gran cantidad de variables que influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas mencionadas anteriormente, hacen que el SLN sea heterogéneo y que presente variabilidad estacional y espacial, así como inter-anual. Esto ha provocado que exista una gran dificultad en abordar las problemáticas en todos los estudios y ha generado que, con un mal planteamiento combinado con diferente número de variables medidas, se obtengan resultados diferentes en cada estudio, produciendo generalidades inconsistentes (y potencialmente erróneas) al momento de intentar categorizar al SLN, llevando a contradicciones en los resultados que otros autores han obtenido a lo largo del tiempo.

Por ejemplo, el tiempo de residencia del agua en una laguna costera es una estimación muy importante, este define la recirculación de nutrientes y la capacidad de exportar elementos químicos de la laguna, entre otras cosas. A mayor tiempo de residencia, mayor riesgo de una laguna de sufrir contaminación y eutrofización (Herrera-Silveira 2006). De ahí que sea tan importante a la hora de estudiar un cuerpo de agua costero. En el SLN, el estudio de Merino y colaboradores (1990) obtuvo una estimación del tiempo de residencia de 1.24 años, lo que nos habla de una laguna con muy poca conectividad e intercambio con el mar (1990). Posterior a este estudio, se estimó mediante cálculos matemáticos que el tiempo de residencia del agua es de aproximadamente 21 días, lo que lleva a una interpretación de que el sistema tiene una buena capacidad para regularse (Romero 2016). La diferen-

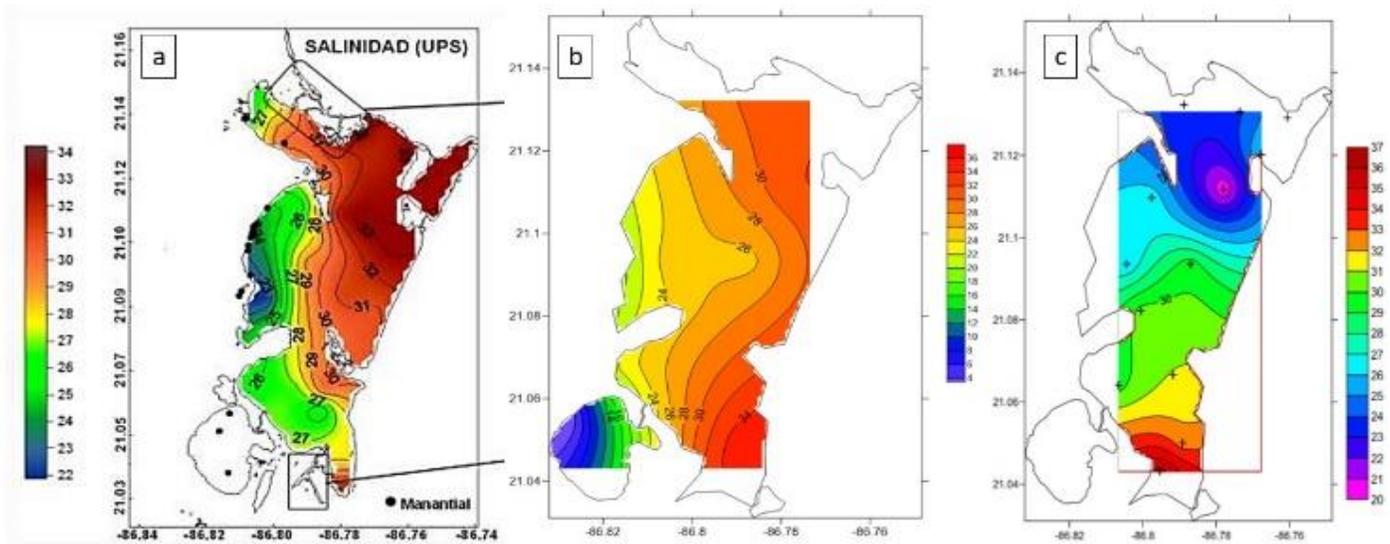


Figura 2. Isobaras de salinidad de marzo. A. 2007. B. 2013. C. 2016. (Figuras: A. Tomado de Carbajal, 2009. B. Tomado de Hernández-Terrones *et al.*, 2013. C. Tomado de Romero, 2016).

cia de valores es contrastante; mientras que un estudio la determina como una laguna ahogada con una circulación mínima con el mar, en el otro estudio se establece como una laguna con mucho mayor capacidad de intercambio, teniendo valores más cercanos a lagunas muy expuestas como la laguna de Términos en Campeche (Kjerfve 1994). Esta diferencia podría deberse a las metodologías utilizadas, o a los valores utilizados o asumidos de salinidad y flujo de agua.

La interacción entre los organismos y el ambiente (es decir, la biogeoquímica) es aún más compleja. Desde los primeros estudios de FONATUR en 1998, se ha identificado una heterogeneidad espacial del SLN, obteniendo valores muy diferentes de algunos parámetros como salinidad, pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), incluso en los mismos sitios de toma de muestra. En 2006, Valdés-Lozano y colaboradores estudiaron el OD y el consumo de este en todo el SLN, expresado en mili moles de oxígeno disuelto por metro cuadrado por día ($\text{mmol O}_2/\text{m}^2\text{d}$). Los autores encontraron una variabilidad espacial muy pronunciada, en algunos sitios valores de consumo de oxígeno muy bajos (por debajo de $20 \text{ mmol O}_2/\text{m}^2\text{d}$) y obteniendo valores muy altos en Bojórquez y alrededores (de cerca de 300

$\text{mmol O}_2/\text{m}^2\text{d}$), mucho más altos que el resto de los sitios, sugiriendo posible eutrofización y riesgo de hipoxia.

Finalmente, en el año 2008, se le dio a el SLN su reconocimiento ecológico con el decreto del Área Natural Protegida (ANP) “Manglares de Nichupté”, categorizada como un área de protección de flora y fauna, por sus 225 especies de plantas vasculares observadas y 171 de animales, de las cuales 31 protegidas por la norma NOM-052-SEMARNAT-1996, y en donde se incluían 914 ha del SLN en cuerpos colindantes con los manglares (CONANP 2014). Posterior al decreto de ANP, hubo un mayor interés en el estudio de la calidad del agua. Carbajal presentó un modelo de hidrodinámica y transporte de contaminantes y sedimentos en el SLN (2009). Hernández-Terrones *et al.* (2013) realizaron un estudio de contaminación en sitios específicos del SLN, y Romero (2016) realizó una tesis de posgrado sobre la variabilidad hidrodinámica del SLN. De manera paralela, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) incluye múltiples puntos del sistema lagunar a la Red Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Agua (RENAMECA), con la que se obtiene una base de datos de mediciones trimestrales o cuatrimestrales desde el año 2012 hasta el 2020. Lo que llama la atención de estos trabajos simultáneos, son

algunos resultados contradictorios entre ellos, a pesar de tener objetivos, metodologías y planteamientos similares. Por ejemplo, en los tres estudios se busca por medio de isobaras (líneas imaginarias que unen los puntos de misma salinidad), presentar de manera visual el comportamiento de la salinidad de todo el sistema lagunar. Sin embargo, los resultados presentan una gran variabilidad entre sitios, y aún mayor de un estudio comparado con otro, como se puede apreciar en la Figura 2, aun cuando los tres estudios corresponden a muestreos llevados a cabo en el mismo mes de diferentes años.

En sitios tan complejos como el SLN, una alternativa es la obtención e integración de datos con diferentes enfoques y diferentes variables, con el fin de poder llegar a identificar ciertos patrones de comportamiento. En este caso, dentro de todos los estudios mencionados, se presentan los valores de salinidad más bajos por lo general en la zona oeste, zona donde Carbajal identifica los manantiales (2009) (Figura 1). Con base en estas observaciones y en las isobaras de salinidad de otras temporadas (mostradas en la Figura 3), es posible observar un descenso en la salinidad del este hacia el oeste en todo el sistema lagunar. Esto debido a las propiedades de baja salinidad del agua subterránea y al flujo identificado desde tierra adentro hacia la costa en la península de Yucatán (Bauer-Gottwein *et al.* 2011).

La variabilidad también es fácilmente apreciable en los nutrientes, en donde los estudios de la RENAMECA, obtienen concentraciones de nitrato alrededor de 0.8 mg/L (CONAGUA 2021). No obstante, son valores bajos comparados con resultados reportados por Romero (2016), en donde se obtiene concentraciones de nitrato de hasta 40 mg/L, valores sin precedentes en la región, pero que además varían entre temporadas de muestreo, teniendo cambios de 40 a 20 mg/L, o de 35 mg/L hasta valores por debajo del límite de detección de la temporada de lluvias a la de secas. En este último caso, podría tratarse de valores atípicos por algún evento meteorológico o de origen antrópico puntual que los generara justo antes de los muestreos, o por algún potencial error en sobreestimación de concentraciones. No obstante estas diferencias, la información generada sigue siendo útil para identificar el comportamiento de los nutrientes en el SLN.

Una medición fisicoquímica que consideramos útil es la alcalinidad, ya que en el SLN no tiene una

variación espacial demasiado grande (FSIDA 2012, Romero 2016). Los valores ligeramente más bajos suelen encontrarse en las zonas con menor salinidad (al oeste del SLN y al noroeste), y la variación estacional observada disminuyendo en la temporada de lluvias, podría asociarse a ciclos de las mareas o a mayor aporte de agua de lluvia por intercepción directa, por escorrentías y manantiales.

En cuanto a la dinámica de los metales pesados en el SLN, se han obtenido resultados completamente diferentes en los estudios en que se cuantifican. Carbajal (2009) reportó altas concentraciones de cadmio (Cd) únicamente en la Laguna Bojórquez y alrededores, con una ausencia de este elemento en el resto del SLN, infiriendo que Bojórquez exportaba Cd al resto de la cuenca norte. Sin embargo, en la base de datos de la RENAMECA (CONAGUA, 2021), con datos del 2012 al 2020, en ningún muestreo se reporta la presencia de Cd en Bojórquez, pero si se presenta en la zona oeste, cerca de los manantiales identificados. Es en esta zona oeste de la cuenca central que Carbajal (2009) reporta presencia de plomo (Pb), asumiendo que este elemento provenía de descargas de agua subterránea y escorrentías de la zona urbana; mientras que la RENAMECA no reporta Pb en esa zona, pero si en la laguna de Bojórquez. Estos resultados contradictorios nos podrían hablar de un cambio en el comportamiento, dinámica y fuente de los metales, las cuales requieren un estudio para identificar su procedencia y como se desplazan, ya que las grandes fuentes de ambos metales se relacionan a industrias metalúrgicas, electrónicos, fertilizantes, entre otras que no se encuentran cerca del SLN (De Lacerda 1994). Algo muy importante a destacar es que ambos metales (Cd y Pb) lideran los metales más tóxicos para la biota marina, en especial en lagunas costeras, llevando a cambios en las comunidades naturales y causando extinciones locales (De Lacerda 1994). Consideramos que hacen falta estudios de calidad del agua para protección de la vida acuática considerando otro tipo de contaminantes, como es el caso de los metales pesados, los cuales son más difíciles de cuantificar al ser elementos que se encuentran en baja concentración y requerir metodologías más complejas para su análisis y cuantificación. Estos pueden ser indicadores de contaminación antropogénica directa y tener implicaciones en la salud ambiental de los cuerpos costeros por toxicidad, que podría llevar a un decremento en la calidad del agua

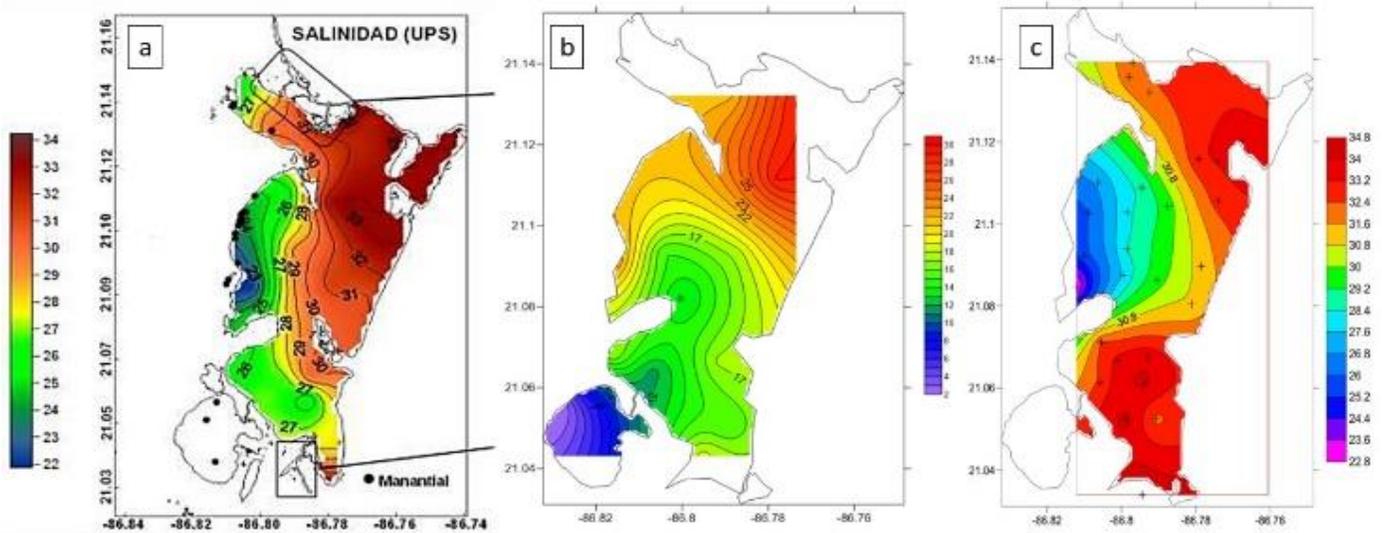


Figura 3. Gráficos de salinidad de **A.** julio-agosto 2007. **B.** noviembre 2013. **C.** agosto 2015. (Figuras: A. Tomada de Carbajal 2009. B. Tomado de Hernández-Terrones *et al.* 2013. C. Tomado de Romero 2016).

para contacto recreativo, afectar la vida acuática, pérdida de flora y fauna y potencialmente destrucción de los recursos naturales (De Lacerda 1994). Además, es recomendable la cuantificación de metales en el sedimento, ya que estos pueden almacenar compuestos y contaminantes en fase sólida por periodos largos, convirtiéndolo en un archivo ambiental relevante.

Por último, los parámetros bacteriológicos que se han cuantificado son las bacterias asociadas al tracto digestivo de humanos y otros mamíferos, las coliformes fecales y enterococos fecales (CONAGUA 2021), mismos que no han sido discutidos en ningún texto debido a ser cuantificados únicamente en la base de datos de la RENAMECA. Los datos que se muestran son muy preocupantes, ya que casi en todos los muestreos se encuentran resultados positivos de coliformes fecales, teniendo muchos valores por encima del límite permisible (LMP) de mil células en número más probable (1000 NMP/100 mL), establecido por la norma mexicana para aguas tratadas con contacto indirecto u ocasional. En el caso de contacto directo (SEMARNAT 1997) el valor es de 240 NMP/100 mL; es decir, también sobrepasado. En otros puntos hay una muy baja presencia de estos organismos patógenos enterococos fecales, con valores que rondan la media de los

120 NMP/100 mL, valor que no pareciera ser elevado; sin embargo, en algunos muestreos se presentan valores de 1000 hasta 3000 NMP/100 mL, muy por arriba de los LMP establecidos por la COFEPRIS (2019), que establece que por arriba de 200 NMP/100 mL, las playas o cuerpos de agua dulce deberían emitir una leyenda de vigilancia sanitaria en donde no se recomiende su uso recreativo, mientras que por arriba de 500 NMP/100 mL se recomienda como “no apta” y se debería establecer un programa de muestreo extraordinario y un informe de actividades para resolver la situación. Los valores bacteriológicos tan altos reportados en el SLN son indicadores de contaminación antrópica y pueden tener diferentes fuentes. En sitios con valores presentados siempre elevados, se podría hablar de una contaminación permanente, proveniente de infiltraciones de aguas residuales por ausencia de drenajes de zonas no urbanizadas de Cancún, mientras que los valores puntuales altos de enterococos podrían tener su origen en contaminación puntual de algún drenaje irregular que, acompañado de algún evento extraordinario, podría haber llegado al sistema lagunar. La baja presencia de coliformes en la zona este podría asociarse a las condiciones salinas del agua en ese sitio, ya que los coliformes no son persistentes en este tipo de agua.

La presencia tan alta de coliformes en la zona oeste (dominada por manglares) habla del ingreso elevado y constante de agua dulce, y expone que el origen de la contaminación proviene de agua subterránea, dado que no hay otras posibles fuentes y son los únicos puntos con esos valores reportados.

Conclusiones

Los parámetros e indicadores en sistemas complejos como las lagunas costeras, son muy útiles no solo para evidenciar contaminación, sino también para tener un mejor entendimiento del sistema, del origen del agua y del contaminante en cada uno de los sitios de interés y en la totalidad del sistema acuático.

Con relación a las propiedades del agua del SLN no se han podido establecer generalidades ya que la variabilidad en resultados de nutrientes e indicadores se mueve en un rango demasiado amplio que habla de condiciones completamente distintas, desde oligotróficas en estudios con ausencia de nutrientes disueltos, hasta eutróficas con valores de nitratos arriba de 40 mg/L o de amonio de hasta 3.7 mg/L (Romero 2016). También se reporta poca y baja presencia de metales en las zonas de manglares (Carbajal 2009), hasta a concentraciones detectables de estos en la misma zona (CONAGUA 2021) y por último, condiciones de una laguna ahogada (Merino *et al.* 1990) a un sistema con un flujo de agua muy alto (Romero 2016).

Ante la heterogeneidad que presentan las lagunas costeras en el comportamiento de sus variables, lo recomendado sería conformar una base de datos en diferentes condiciones estacionales y de amplia distribución de sitios de muestreo de seguimiento continuo para poder observar más fácilmente generalidades y tendencias a lo largo del tiempo.

Las variables fisicoquímicas que presentan una mayor estabilidad son la salinidad, alcalinidad y pH, por lo que se recomienda continuar con el uso de estos parámetros para la comprensión general de los procesos en una laguna costera. No obstante, parámetros como nutrientes, oxígeno disuelto o metales serán cada vez más necesarios para identificar otros procesos asociados a eutrofización o contaminación por causas antrópicas.

El SLN presenta una alta heterogeneidad por causa de los procesos naturales complejos que ahí

ocurren (como la entrada de agua dulce y salada) en conjunto con el impacto antrópico por la actividad turística y recientemente, la construcción de un puente vehicular a través de la laguna. Se recomienda un monitoreo constante enfocado en evaluar los cambios que el sistema presenta de manera natural y aquellos que podrían ser relacionados a un impacto antrópico.

Referencias

- Alcocer Yamanaka V., Albornoz Góngora P., Rodríguez Varela J.M. y Mariano Romero C. 2013.** Segunda etapa de la restauración ecológica de la laguna Bojórquez, Benito Juárez, Quintana Roo: 5. Supervisión de acciones y seguimiento del proyecto de restauración ecológica de la laguna de Bojórquez. Informe Final HC1215.2. <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/710/HC-1215.2.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (consultado: 4 Enero 2024).
- Álvarez-Cadena J.N, Ordóñez-López U., Valdés-Lozano D., Almaral-Mendivil A.R. y Uicab-Sabido A. 2007.** Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78(2): 421-430. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.002.405>
- Álvarez-Cadena J.N., Almaral-Mendivil A.R., Ordóñez-López U. y Uicab-Sabido A. 2008.** Composición, abundancia y distribución de las especies de quetognatos del litoral norte del Caribe de México. *Hidrobiológica* 18(Supl. 1): 37-48.
- Bauer-Gottwein P., Gondwe B.R., Charvet G., Marín L.E., Rebolledo-Vieyra M. y Merediz-Alonso G. 2011.** The Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal* 3(19): 507-524. [10.1007/s10040-010-0699-5](https://doi.org/10.1007/s10040-010-0699-5)
- Carbajal Pérez N. 2009.** Hidrodinámica y transporte de contaminantes y sedimentos en el Sistema Lagunar de Nichupté-Bojórquez, Quintana Roo. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Informe Técnico Proyecto CQ063.

- <http://www.cbmm.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos.cgi?Letras=CQ&Numero=63>
 (consultado: 10 Noviembre 2023).
- Cejudo E., Acosta-González G., Ortega-Camacho D. y Ventura-Sanchez K. 2021.** Water quality in natural protected areas in Cancun, Mexico: A historic perspective for decision makers. *Regional Studies in Marine Science* 48: 102035. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102035>
- COFEPRIS. 2019.** Manual Operativo: Monitoreo de Agua de Contacto Primario en el Agua de Mar de Playas y Cuerpos de Agua Dulce. Secretaría de Salud. Gobierno de México. Ciudad de México.
- Collado-Vides L., Gonzalez-Gonzalez J. y Ezcurrea E. 1995.** Patrones de distribución ficoflorística en el sistema lagunar de Nichupté, Quintana Roo, México. *Acta Botanica Mexicana* 31: 19-32. <https://doi.org/10.21829/abm31.1995.734>
- CONABIO. 2019.** Nueva cartografía de la línea de costa de México. <http://www.gob.mx/conabio/prensa/conabio-genera-nueva-cartografia-de-la-linea-de-costa-de-mexico?idiom=es> (consultado: 5 Febrero 2024).
- CONAGUA. 2021.** Comisión Nacional del Agua. Red Nacional de la Medición de la Calidad del Agua. Ciudad de México.
- CONANP. 2014.** Programa de manejo, Área de protección de flora y fauna manglares de Nichupté. SEMARNAT. Gobierno de México. Mexico D.F.
- De Lacerda L.D. 1994.** Biogeochemistry of heavy metals in coastal lagoons. En Kjerfve B. Ed. Elsevier Oceanography Series. Vol. 60, pp. 221-241. Elsevier, Amsterdam.
- FSIDA. 2012.** Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua. 2012. Primer informe de validación en campo humedales zona costera norte de Quintana Roo (Sistema Lagunar Nichupté). Proyecto 84369 CONACyT-CONAGUA 2011. Ciudad de México.
- González L.A. 1989.** Hidrología y nutrientes de la Laguna Bojórquez (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría (Oceanografía. Biológica y Pesquera), UACPyP-CCH. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México
- Hernández-Terrones L., Almazán-Becerril A., Ortega Camacho D., Escobar Morales S., Irola Sansores E.D. y Delgado Pech B. 2013.** Estudio contaminación en sitio específicos del sistema lagunar Nichupté. Reporte Final. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Cancún, Quintana Roo.
- Herrera-Silveira J.A. 2006.** Lagunas Costeras de Yucatán (SE, México) Investigación, Diagnóstico y Manejo. *ECOTROPICOS* 19 (2): 94-108.
- Herrera-Silveira J.A., Ramírez J. y Zaldivar A. 1998.** Overview and characterization of the hydrology and primary producer communities of selected coastal lagoons of Yucatán, México. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 1(3-4): 353-372. [https://doi.org/10.1016/S1463-4988\(98\)00014-1](https://doi.org/10.1016/S1463-4988(98)00014-1)
- INEGI. 2010.** Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Aguascalientes, México.
- Kjerfve B. 1994.** Coastal lagoons. En Kjerfve B. Ed. Elsevier Oceanography Series. Vol. 60, pp. 1-8. Elsevier, Amsterdam.
- López J.I.R. 2010.** Aplicación de un sistema de aireación en la laguna de Bojórquez, Cancún, Mexico. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 31: 28-33.
- Merino M., Czitrom S., Jordán E., Martín E., Thomé P. y Moreno O. 1990.** Hydrology and rain flushing of the Nichupté lagoon system, Cancún, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 30(3): 223-237. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(90\)90049-W](https://doi.org/10.1016/0272-7714(90)90049-W)
- Merino M., González A., Reyes E., Gallegos M. y Czitrom S. 1992.** Eutrophication in the lagoons of Cancún, México. En Marine Coastal Eutrophication. Vollenweider, R.A., Marchetti, R., Viviani, R. pp:861-870. Elsevier, Amsterdam.
- Romero Sierra M.P. 2016.** Variabilidad hidrodinámica de Sistema Lagunar Nichupté, Quintana Roo. Tesis maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. México, Yucatán.
- SEMARNAT. 1997.** NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, Que Establece Los Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al Público. Ciudad de México.
- Valdés-Lozano D.S., Chumacero M. y Real E. 2006** Sediment oxygen consumption in a developed

coastal lagoon of the Mexican Caribbean. *Indian Journal of Geomarine Sciences* 35: (3):227-234.

Vázquez-Uribe J. 1992. Estudio hidrodinámico de la laguna de Nichupté, Cancún, Quintana Roo. Segundo informe ADISA e ICA. Proyectos Especializados de Ingeniería. México, D.F. 30 p.

Young M.B., Gonnee M.E., Fong D.A., Moor W.S., Herrera-Silveira J. y Paytan A. 2008. Characterizing sources of groundwater to a tropical coastal lagoon in a karstic area using radium isotopes and water chemistry. *Marine Chemistry* 109(3-4):377-394.
[10.1016/j.marchem.2007.07.010](https://doi.org/10.1016/j.marchem.2007.07.010)

Desde el Herbario CICY, 16: 122-130 (20-junio-2024), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 20 de junio de 2024. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.