



CALIDAD DEL AGUA EN HUMEDALES URBANOS DE ISLA MUJERES, QUINTANA ROO, MÉXICO †

[WATER QUALITY IN URBAN WETLANDS OF ISLA MUJERES,
QUINTANA ROO, MEXICO]

Roberto C. Barrientos-Medina¹, Rosiluz Ceballos-Povedano^{2*},
Víctor M. Cobos-Gasca¹ and Jorge A. Navarro-Alberto¹

¹*Departamento de Ecología, Cuerpo Académico de Ecología Tropical. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, Yucatán, México. Apdo. Postal 4-116 Itzinná, Mérida, Yucatán, México.*

²*Departamento de Economía y Negocios, Universidad del Caribe. Mza. 1, Lote 1, SM. 78, Esq. Fracc. Tabachines, Cancún, Quintana Roo, C.P. 77528. Email. rceballos@ucaribe.edu.mx*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background: Bodies of water in the interior of Isla Mujeres, characterized by having homes around. **Objective:** Show information on the water quality of the Chica y Grande salt flats of Isla Mujeres, Quintana Roo. **Methodology:** A study was carried out in each body of water considering different numbers of random points for the measurement of hydrological and microbiological variables in three visits during 2016. The data obtained were analyzed using multivariate exploration techniques (main component analysis) and hypothesis contrast (multivariate variance analysis with permutations). **Results:** The results indicate that the differences between climatic seasons (north, dry and rain) are more important than the differences between wetlands, with temperature being the variable with more significant changes in the dry season. In terms of water quality, the most relevant indicators were dissolved oxygen and chemical oxygen demand, whose values allow salt flats to be located as bodies of water of low environmental quality. **Implications:** The importance of having an appropriate monitoring program and management plan for these emblematic ecosystems of the island is highlighted. **Conclusion:** salt flats are shallow wetlands, with very low concentrations of dissolved oxygen, leading to them being located as ecosystems with low environmental quality. **Keywords:** Salt Mines; water pollution; Isla Mujeres.

RESUMEN

Antecedentes: Cuerpos de agua en el interior de Isla Mujeres, caracterizados por tener viviendas alrededor. **Objetivo/hipótesis:** Presentar información sobre la calidad del agua de las salinas Chica y Grande de Isla Mujeres, Quintana Roo. **Metodología:** Se realizó un estudio en cada cuerpo de agua considerando distintos números de puntos aleatorios para la medición de las variables hidrológicas y microbiológicas en tres visitas durante 2016. Los datos obtenidos se analizaron con técnicas multivariadas de exploración (análisis de componentes principales) y contraste de hipótesis (análisis de varianza multivariado con permutaciones). **Resultados:** Los resultados indican que las diferencias entre épocas climáticas (nortes, secas y lluvias) son más importantes que las diferencias entre humedales, siendo la temperatura la variable con cambios más significativos en la época seca. En términos de la calidad del agua, los indicadores más relevantes fueron el oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno, cuyos valores permiten ubicar a las salinas como cuerpos de agua de baja calidad ambiental. **Implicaciones:** Se resalta la importancia de contar con un programa de monitoreo y un plan de manejo adecuado para estos emblemáticos ecosistemas de la isla. **Conclusión:** las salinas son humedales someros, con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, lo que lleva a ubicarlos como ecosistemas con una baja calidad ambiental. **Palabras clave:** Salinas; contaminación agua; Isla Mujeres.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los principales problemas en torno al agua radica en la contaminación originada por las actividades humanas (Rojas *et al.*, 2016). En el caso

particular de los humedales, las poblaciones humanas por lo general se asientan en sus márgenes y, en el caso de las ciudades, los patrones de crecimiento y urbanización no planificados ocasionan el deterioro y

† Submitted March 26, 2020 – Accepted November 6, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

finalmente la pérdida de estos importantes ecosistemas (Rojas *et al.*, 2015).

Se ha resaltado que la zona costera de la península de Yucatán, principalmente en el litoral del Caribe, se encuentra bajo un rápido e intenso desarrollo urbano (Schmitter-Soto *et al.*, 2002; Hernández-Terrones *et al.*, 2011). La preocupación por el impacto de este desarrollo y de las actividades turísticas sobre el estado de salud de los ecosistemas de la región, ha generado el interés por evaluar la calidad del agua en varias localidades continentales de Quintana Roo (Alcocer *et al.*, 1998; Tran *et al.*, 2002; Valero, 2002; Barrera-Escorcia y Namihira-Santillán, 2004; Hernández-Terrones *et al.*, 2015).

Sin embargo, esta clase de estudios aún son escasos en las islas del estado y se han realizado en agua subterránea (Wurl *et al.*, 2003) y en ambientes lagunares costeros y con influencia marina (Cervantes-Martínez *et al.*, 2015). Isla Mujeres cuenta con dos humedales interiores, conocidos como Salina Chica y Salina Grande, que en tiempos pasados se utilizaron para la recolección y uso de la sal por parte de los pobladores de la isla (Ceballos-Povedano *et al.*, 2016). Actualmente, estos humedales se encuentran inmersos en el paisaje urbano de la isla, por lo que presentan distintos problemas sociales y ambientales.

A pesar de lo anterior, y de la innegable importancia de estos cuerpos de agua en la historia de Isla Mujeres, el conocimiento sobre ellas es escaso, particularmente en la parte ambiental habiendo solo un antecedente reciente al respecto (Barrientos-Medina y López-Adrián, 2017). El objetivo del presente trabajo es presentar información sobre la calidad del agua de las salinas de Isla Mujeres, obtenida durante la realización de un diagnóstico ambiental de estos peculiares y poco estudiados ecosistemas cuyos beneficios abarcan, por su cercanía, a la población local, así como al Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc y a la conservación de playas y lagunas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las salinas se localizan hacia la parte media de Isla Mujeres e históricamente se consideran tres: Salina Chica, Salina Grande y Salina Mundaca (también denominada Norte), esta última ubicada el día de hoy cerca del aeropuerto. Este trabajo se enfocó en las salinas Chica y Grande, debido a que alrededor de ellas han crecido distintas colonias de habitantes permanentes de la isla (Figura 1).

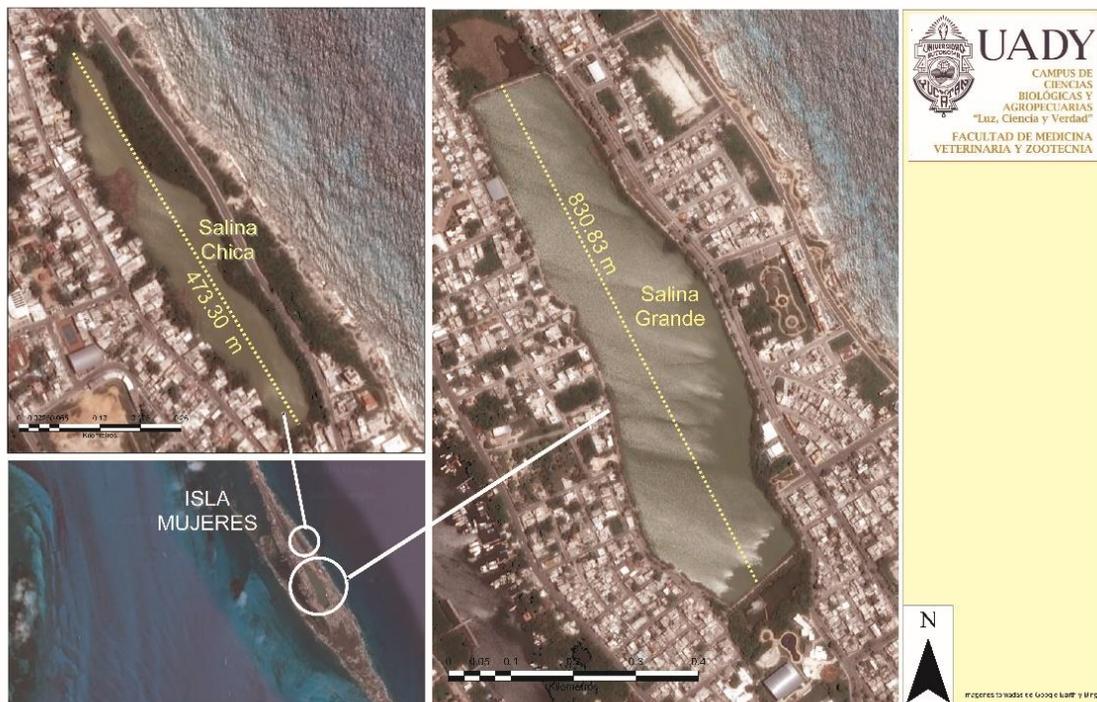


Figura 1. Ubicación de las salinas Chica y Grande en Isla Mujeres. La línea punteada señala el eje principal de cada cuerpo de agua.

Trabajo de campo

En cada salina se tomaron muestras superficiales de agua de un litro en puntos aleatorios a lo largo del eje central de cada cuerpo de agua (Figura 1), para la medición de la conductividad eléctrica, concentración de nitratos, oxígeno disuelto, pH, salinidad, sólidos totales disueltos y temperatura, con la ayuda de una sonda multiparamétrica, marca YSI modelo 603190 proveniente de EE.UU. En salina Grande se consideraron seis puntos aleatorios, mientras que en salina Chica se consideraron tres, con base en las diferencias en dimensiones y complejidad. Los puntos aleatorios no se geoposicionaron porque se establecieron con intenciones de representar la variabilidad en cada cuerpo de agua, no de monitoreo. Este procedimiento se repitió en tres visitas: febrero, junio y noviembre de 2016, que se corresponden con las épocas climáticas de la isla (Nortes, Secas y Lluvias). En cada una de estas visitas se emplearon diferentes puntos aleatorios y se recolectaron muestras de un litro en cada punto, las cuales se mantuvieron en refrigeración las 4 horas que duró el traslado hasta el laboratorio certificado donde se analizaron, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO), así como el número de coliformes fecales (unidades formadoras de colonias por ml, con agua colectada en bolsas estériles), de acuerdo con las siguientes normas mexicanas: NMX-AA-028-SCFI-2001, NMX-AA-030/2-SCFI-2011 y NMX-AA-102-SCFI-2006, respectivamente.

Análisis de la información

En primera instancia se realizó un análisis multivariado prospectivo a través de un análisis de componentes principales (PCA), para determinar posibles patrones espaciales (entre salinas) y temporales (entre muestreos); en este análisis las épocas climáticas se incluyeron como variables indicadoras (dummy). Para obtener los componentes principales la matriz de datos se estandarizó (Pla, 1986) y el número de componentes ecológicamente relevantes se determinó con la regla de la barra quebrada (Peres-Neto *et al.*, 2005). La hipótesis nula de no diferencias multivariadas entre salinas, entre muestreos y la interacción salina-muestreo se puso a prueba con un análisis multivariado de varianza no paramétrico con permutaciones (PERMANOVA), en el que se utilizó el coeficiente de Gower como medida de distancia ambiental, debido a la naturaleza de las variables involucradas. Todos los cálculos se realizaron con el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001), versión 3.22.

Finalmente, se estableció la calidad del agua de las salinas comparando los resultados obtenidos para algunas variables consideradas como indicadores (coliformes fecales, DBO₅, DQO, nitratos, oxígeno disuelto y pH) con los límites indicados en los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (CE-CCA-01/89) y en el apartado de calidad del agua del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, CONAGUA 2018).

RESULTADOS

De acuerdo con el PCA, los dos primeros componentes son ecológicamente interpretables y explican el 77.4% de la variación de los datos hidrológicos de las salinas (Tabla 1). El primer componente se correlaciona mejor con la salinidad, los sólidos totales disueltos y el pH. Las correlaciones más altas del segundo componente se presentan con la época de secas, la temperatura y la concentración de nitratos.

Estos patrones permiten separar las muestras, principalmente por época climática y en menor proporción por cuerpo de agua (Figura 2). El primer componente se interpreta como un gradiente positivo de salinidad y sólidos totales disueltos y negativo para pH. El segundo componente representa un gradiente positivo de nitratos y DBO₅ y negativo para la temperatura.

Tabla 1. Correlaciones entre las variables originales y los componentes principales (CP). Se indican con negrillas las correlaciones más altas y se incluye la varianza explicada por componente (VE) y la varianza acumulada (VA).

	CP 1	CP 2
Nortes	68.5	26.1
Secas	0.1	95.9
Lluvias	72.5	22.0
Temperatura	1.7	93.5
Oxígeno disuelto	69.1	9.6
Conductividad eléctrica	77.0	15.4
Sólidos totales disueltos	94.5	1.8
Salinidad	95.2	1.1
pH	87.2	5.3
Nitratos	6.5	82.6
DBO ₅	6.0	36.4
DQO	9.9	0.2
Coliformes fecales (UFC)	10.0	17.7
VE (%)	46.0	31.4
VA (%)	46.0	77.4

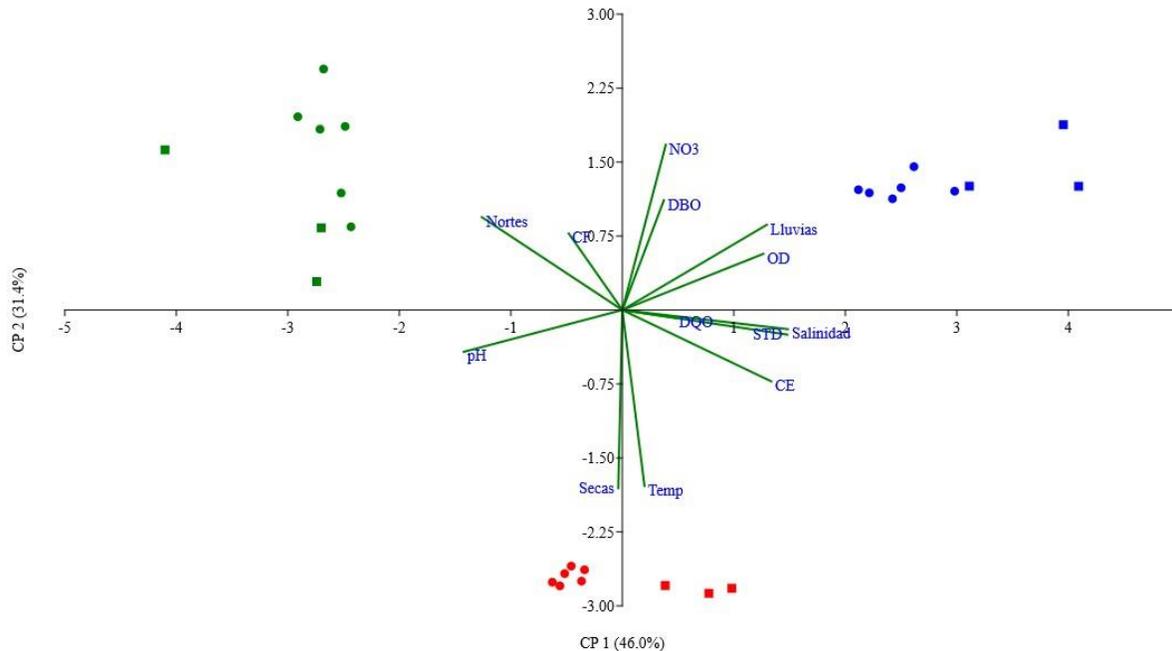


Figura 2. Diagrama de ordenación obtenido a partir de las dos primeras coordenadas (PCA). Los cuadros representan las muestras de salina Chica y los círculos las de salina Grande. Los colores representan las muestras de las distintas épocas climáticas: nortes (verde), secas (rojo) y lluvias (azul).

Con el PERMANOVA se hallaron diferencias significativas entre las salinas ($F= 16.536$, $P= 0.0.0001$ con 1, 21 g.l.), entre épocas ($F= 139.15$, $P= 0.0.0001$ con 2, 21 g.l.) y debido a la interacción entre ambos factores ($F= 7.7841$, $P= 0.0.0001$ con 2, 21 g.l.). En todos los casos, se emplearon 9,999 permutaciones.

Resulta evidente que los cambios más importantes se presentaron entre épocas. El más significativo se relaciona con la temperatura del agua, cuyos valores medianos en la época de secas son superiores a los 30°C mientras que en las otras dos épocas son iguales o menores a los 26°C (Figura 3).

En el caso de los nitratos, las concentraciones medianas más bajas se presentan en la época de secas, mientras que en la época de nortes se presentan diferencias entre los valores medianos de las salinas (Figura 4).

Para los sólidos totales disueltos, los valores medianos presentan diferencias entre salinas en todas las épocas, las cuales son más evidentes en la época seca (Figura 5).

En términos de la calidad del agua, los indicadores señalan las siguientes tendencias. Para la concentración de oxígeno disuelto, todas las muestras

se encuentran muy por debajo de la concentración mínima deseable para la protección de la vida acuática indicada por los Criterios Ecológicos para la Calidad del Agua (5 mg L^{-1}), sin importar el cuerpo de agua y la época del año. El patrón contrario se observa en el caso de las concentraciones de nitratos en el agua, las cuales se mantuvieron por debajo del límite máximo que señalan los Criterios (5 mg L^{-1}).

Comparando los valores registrados con las categorías indicadas en el SINA-CONAGUA, para la DBO_5 todas las muestras de salina Grande caen en el rango de calidad aceptable (> 6 y $\leq 30\text{ mg L}^{-1}$) mientras que las de salina Chica dos caen en el rango de buena calidad (> 3 y $\leq 6\text{ mg L}^{-1}$) y el resto en aceptable (> 6 y $\leq 30\text{ mg L}^{-1}$). Para la DQO, todas las muestras, sin importar sitio y época del año, caen en la categoría de contaminadas (> 40 y $\leq 200\text{ mg L}^{-1}$). En el caso de los sólidos totales disueltos, todas las muestras caen en la categoría de salobre ($2,000 - 10,000\text{ mg L}^{-1}$).

Finalmente, en cuanto a la cantidad de coliformes fecales, la mayoría de las muestras se consideran como de excelente o buena calidad ($\leq 200\text{ UFC}/100\text{ ml}$); solamente una muestra de salina Grande (en época de nortes) cae en el rango de aceptable (> 200 y $\leq 1,000\text{ UFC}/100\text{ ml}$).

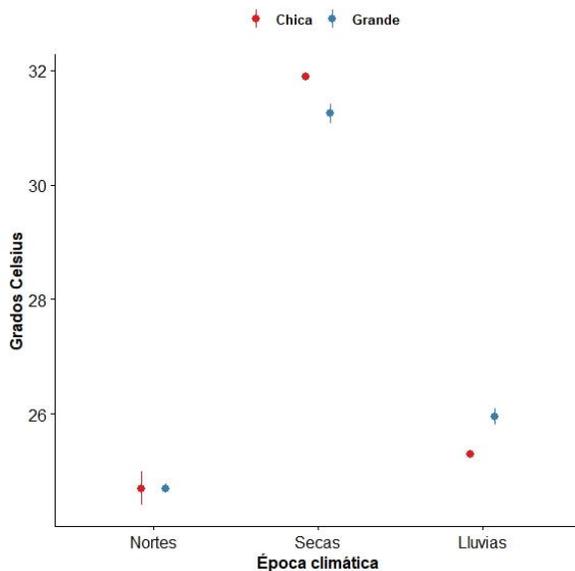


Figura 3. Variación de la temperatura, época climática y sitio. Los puntos representan la mediana y las barras de error la desviación absoluta mediana.

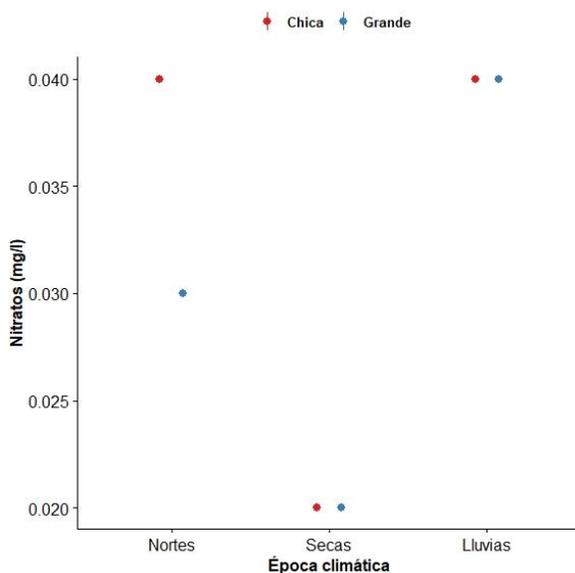


Figura 4. Variación en la concentración de nitratos, por época climática y sitio. Los puntos representan la mediana y las barras de error la desviación absoluta mediana.

DISCUSIÓN

A pesar de sus limitaciones, principalmente temporales, este estudio aporta información relevante sobre la calidad del agua de las salinas de Isla Mujeres, que puede coadyuvar para proponer estrategias que

conlleven a un adecuado manejo de estos emblemáticos lugares de la isla.

Si bien hay diferencias entre las salinas consideradas, los cambios temporales en las variables analizadas son los más importantes, como lo indican las técnicas multivariadas de análisis empleadas (PCA, PERMANOVA). El cambio más evidente es el relacionado con la temperatura del agua, cuyos valores medianos claramente aumentan en la época seca, pues pasan de estar en el rango de los 24 - 26°C a los 31°C en ambos humedales. Este aumento, junto con la escasa profundidad del agua, los bajos niveles de oxígeno disuelto y la presencia de especies de microalgas consideradas tóxicas, como *Limnithrix redeki*, *Microcystis aeruginosa* y *M. wessenbergii* (Barrientos-Medina y López-Adrián, 2017), podrían formar parte de los factores causantes de las mortalidades de peces que se observan durante la época seca en la salina Grande (NOTICARIBE, 2014).

En cuanto a las concentraciones de nitratos en el agua, la única variación que se presenta entre las salinas es en la época de nortes. La salina Chica conserva un poco más de cobertura vegetal (manglar), pero es de menor tamaño y cuenta con una mayor densidad de casas-habitación alrededor que en comparación con la salina Grande. Es posible que estas características favorezcan una concentración de nitratos más alta en la salina Chica, después de la recarga del acuífero y un mayor arrastre de materiales alóctonos que se observan en la época de lluvias (Pacheco y Cabrera, 2003; Medina y Santos, 2015).

En el caso de la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua, aunque las diferencias entre humedales son más claras en las épocas de secas y lluvias, es probable que las causas estén relacionadas con aspectos similares a los descritos para los nitratos.

Finalmente, en términos de la calidad del agua, el análisis de las muestras señala patrones contrastantes. Por un lado, en indicadores como la concentración de nitratos y el pH, todas las muestras se encontraron ya sea por debajo o en los rangos aceptables, lo mismo que en el caso de la DBO₅ y la calidad microbiológica del agua (evaluada a través de la concentración de coliformes fecales). Sin embargo, en el caso de indicadores como la concentración de oxígeno disuelto (0.3 - 1.3 mg l⁻¹) y la DQO (50.57 - 115.65 mg l⁻¹), todas las muestras analizadas se consideran ya sea por debajo de los límites mínimos aceptables o como contaminadas, de acuerdo con los criterios de referencia empleados. Esto significa que las salinas de Isla Mujeres se pueden considerar como humedales casi anóxicos y con una importante contaminación de tipo orgánico, aspecto que ya había sido mencionado por Barrientos-Medina y López-Adrián (2017).

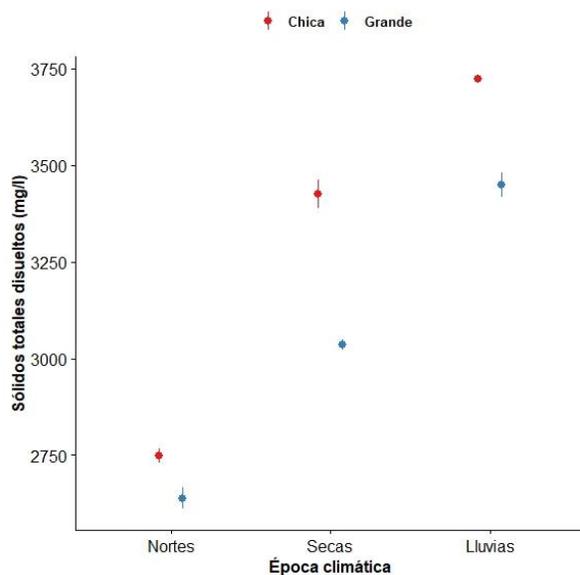


Figura 5. Variación en la concentración de sólidos totales disueltos, por época climática y sitio. Los puntos representan la mediana y las barras de error la desviación absoluta mediana.

CONCLUSIONES

Se puede señalar que actualmente las salinas de Isla Mujeres son humedales someros, con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, que presentan un aumento de temperatura significativo en la época de secas y con evidencia de contaminación orgánica (con base en las concentraciones de DQO), lo que lleva a ubicarlos como ecosistemas con una baja calidad ambiental. Dada la importancia histórica y actual de las salinas para los habitantes de la isla, deben desarrollarse planes de manejo adecuados para estos ambientes, para lo cual es necesario implementar un programa de monitoreo que permita obtener más información sobre los patrones de variación espacio-temporal en la calidad del agua. En este futuro programa de monitoreo debe tomarse en cuenta el otro humedal interior (salina Norte o Mundaca, ubicada cerca del aeropuerto de la isla) y considerar los resultados aquí presentados.

Agradecimientos

Al Biól. Mario Tomás Escalante Rodríguez, por la elaboración del mapa de ubicación de las salinas.

Financiación. Este trabajo no recibió financiamiento externo

Conflicto de intereses. Los autores de este artículo declaran que no existe conflicto de intereses relacionados con esta publicación.

Cumplimientos de normas éticas. La presente revisión se desarrolló bajo el código de ética de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán. Asimismo, no incluye ningún estudio realizado con seres humanos o experimentos con animales, respetándose la cultura local.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con el autor de correspondencia, al correo rceballos@ucaribe.edu.mx a petición razonable.

REFERENCIAS

- Alcocer, J., Lugo, A., Marín, L.E., Escobar, E., 1998. Hydrochemistry of waters from five cenotes and evaluation of their suitability for drinking-water supplies, northeastern Yucatan, Mexico. *Hydrogeology Journal* 6: 293-301. <https://doi.org/10.1007/s100400050152>
- Barrera-Escorcia, G., Namihira-Santillán, P.E., 2004. Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 14(1): 27-35. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972004000100004&lng=es&nrm=iso.
- Barrientos-Medina, R.C., López-Adrián, S.J., 2017. Calidad del agua y fitoplancton de las salinas de Isla Mujeres, Quintana Roo. pp: 119 – 128. En: López-Adrián, S.J., Novelo Maldonado, E. (eds). *Microalgas de la Península de Yucatán*. Ginkopy, Impresiones Digitales. Mérida, Yucatán.
- Ceballos-Povedano, R., Corona-Sandoval, E., Olivares-Urbina, M., 2018. Diagnóstico socio económico y ambiental de Las Salinas de Isla Mujeres, *Ciencias Administrativas. Teoría y Praxis*, 13(1): 54-93. <https://cienciasadm.vastyp.uat.edu.mx/index.php/ACACIA/article/view/73>.
- Cervantes-Martínez, A., Gutiérrez-Aguirre, M.A., 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*, Número Especial: 60-83. <http://hdl.handle.net/20.500.12249/662>
- Comisión Nacional del Agua. 2016. Estadísticas del Agua en México, Edición 2016. México, D.F., México. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>.
- Comisión Nacional del Agua. 2018. Mapa Nacional de la Calidad del Agua, Sistema Nacional de

- Información del Agua.
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa&o=2&n=nacional>.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Version 2.17c.
- Hernández-Terrones, L., Rebolledo-Vieyra, M., Merino-Ibarra, M., Soto, M., Le-Cossee, A., Monroy-Ríos, E., 2011. Groundwater pollution in a karstic region (NE Yucatan): Baseline nutrient content and flux to coastal ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 218: 517-528. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0664-x>
- Hernández-Terrones, L., Null, K.A., Ortega-Camacho, D., Paytan, A., 2015. Water quality assessment in the Mexican Caribbean: Impacts on the coastal ecosystem. *Continental Shelf Research* 102: 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.015>
- Medina González, R., Santos Flores, J., 2015. Evaluación de la calidad del agua en fuentes de abastecimiento en ranchos de doble propósito (leche y carne) en Municipio de Sucilá, Yucatán. *Bioagrociencias* 8(2): 1 – 21. <https://www.ccba.uady.mx/bioagro/V8N2/B%2082%20agua.pdf>.
- NOTICARIBE. 2014. Alarma masiva mortandad de peces en la Salina Grande de Isla Mujeres. <https://noticaribe.com.mx/2014/05/01/alarma-masiva-mortandad-de-peces-en-la-salina-grande-de-islajmujeres/>
- Pacheco, J., Cabrera, A., 2003. Fuentes principales de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería* 7(2): 47 – 54. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46770204.pdf>.
- Pla, L. E. 1986. *Análisis multivariado: método de componentes principales*. OEA, Washington, DC (EUA). Secretaría General. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Peres-Neto, P. R., Jackson, D. A., Somers, K. M. 2005. How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics & Data Analysis*, 49(4), 974-997. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2004.06.015>
- Rojas, C., Sepúlveda-Zúñiga, E., Barbosa, O., Rojas, O., Martínez, C., 2015. Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitana. *Revista de Geografía Norte Grande*, 61: 181-204. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022015000200010>
- Rojas, N.E., Muñoz, G., Sosa, A., Baqueiro, I., 2016. Determinación de la calidad microbiológica del agua de la Laguna Chapulco, Puebla. *Investigación y Ciencia* 68: 29-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6137636>
- Schmitter-Soto, J.J., Comín, F.A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L.E., Steinich, B., 2002. Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467(1-3), 215-228. <https://doi.org/10.1023/A:1014923217206>
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología., 1989. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89. *Diario Oficial de la Federación*, 435(9), 7-23.
- Secretaría de Salubridad y Asistencia. 2000. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*, 22 de noviembre de 2000. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110520/MODIFICACION_A_LA_NORMA_NOM_127_SSA1_1994_22_NOVIEMBRE_2000.pdf
- Tran, K.C., Valdés, D., Euán, J., Real, E., Gil, E., 2002. Status of water quality at Holbox Island, Quintana Roo state, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 5(2): 173-189. <https://doi.org/10.1080/14634980290031875>
- Valero, M.E. 2002. Calidad del agua de la bahía de Chetumal. En: Rosado-May, F.J., Navarrete, A. de J. (Eds.). *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la bahía de Chetumal y su área de influencia*. UQROO. Chetumal, Q. Roo, México. p 179-184.
- Wurl, J., Giese, S., Frausto, O., Chale, G., 2003. Ground Water Quality Research on Cozumel Island, State of Quintana Roo, Mexico.

Second International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling, and Management.
Merida, Mexico, March 30 - April 2. 5 p.

(Disponible en línea)
<https://olemiss.edu/projects/sciencenet/saltnet/swica2/Wurl-1.pdf>