



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

LABORATORIO DE HUMEDALES



**“DISTRIBUCIÓN INTRA-ANUAL Y ESPACIAL DE LOS NUTRIENTES Y
CLOROFILA-a EN UNA LAGUNA COSTERA AL SUR DEL GOLFO DE
MÉXICO”**

TESIS

Para obtener el título de:

Maestro en Ciencias Ambientales

PRESENTA:

José Luis García Cruz

Director:

Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza

Co-Director:

Dr. Alberto J. Sánchez

Villahermosa, Tabasco, México. Febrero 2020



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 04 de Febrero de 2020

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. JOSÉ LUIS GARCÍA CRUZ** egresado de la Maestría en **CIENCIAS AMBIENTALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"DISTRIBUCIÓN INTRA-ANUAL Y ESPACIAL DE LOS NUTRIENTES Y CLOROFILA-a EN UNA LAGUNA COSTERA AL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

FEBRERO 04 DE 2020

**C. JOSÉ LUIS GARCÍA CRUZ
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **"DISTRIBUCIÓN INTRA-ANUAL Y ESPACIAL DE LOS NUTRIENTES Y CLOROFILA-a EN UNA LAGUNA COSTERA AL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO"**, asesorado por el Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza y Dr. Alberto de Jesús Sánchez Martínez, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el Dr. Arturo Garrido Mora, Dr. Juan de Dios Mendoza Palacios, Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza y Dr. Alberto de Jesús Sánchez Martínez y M. en C. Rosa Amanda Florido Araujo.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

CARTA AUTORIZACIÓN

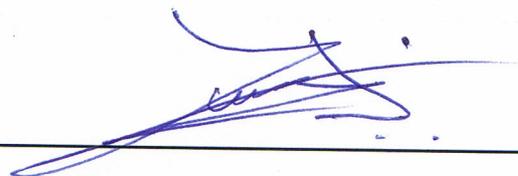
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“DISTRIBUCIÓN INTRA-ANUAL Y ESPACIAL DE LOS NUTRIENTES Y CLOROFILA-a EN UNA LAGUNA COSTERA AL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 04 de febrero del dos mil veinte.

AUTORIZO



JOSÉ LUIS GARCÍA CRUZ

AGRADECIMIENTOS

A mi madre que siempre confió en mí, y siempre ha sido la barra de hierro en la cual he podido apoyarme ante cualquier adversidad, y sin ella este proyecto jamás hubiera podido materializarse.

A Duke, quien más que una mascota es mi amigo, el cual estuvo a mi lado durante las largas y tediosas jornadas de escritura, siempre fiel, siempre esperando el ocaso de mis deberes para alegrarme los días, como lo ha hecho desde el día que llegó a mi vida.

A mi asesor el Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza, quien me aceptó como tutorado, y también al Dr. Alan, quienes sus constantes asesorías y recomendaciones personales, día tras días, fueron claves para darle forma a este proyecto.

Al laboratorio de humedales (Dr Nicolás, Maestra Rosa, Dr. Alberto) por ser el habitat, en el cual se fraguó este proyecto, y donde una y otra vez, se discutieron ideas y planteamientos, que dieron como resultado esta obra.

A mis compañeros de maestría, quienes me hicieron volver a sentir y disfrutar la etapa de ser nuevamente un alumno, lleno de jovialidad, curiosidad y alegría; y que a pesar de ser mucho mayor que ellos, me trataron como a un compañero más. Y como no recordar, a aquella empresa que formamos en los primeros meses de ausencia de beca, donde Cesar, Jazmín, Erika y Andrea haciendo dote de sus habilidades, hicieron la diferencia.

A Erika e Irving quienes, por azares del destino, pudieron sus caminos cruzarse y ser la relación, solida, fuerte y ejemplar, que a todos nos inspira.

A la tropa morita (Diana, Miranda, Kristell, Johana, yuni, etc) quienes alegraban y aun lo hacen, mis días en el laboratorio.

A mi mentor, el Biol. Felipe Alor Santos, quien hace muchos años cuando era solo un joven imberbe, confió en mí, y me encaminó hacia un mundo nuevo y desconocido, lleno de retos y trabajo duro; donde me enseñó que la lectura, es la principal arma contra la ignorancia, y la clave para el éxito en todo lo que nos propongamos.

Y a tantas personas que enaltecen mis días, las cuales no habría espacio para ponerlas a todas, les digo: esto es por ustedes y para ustedes.

Afirmaciones extraordinarias

Requieren evidencias extraordinarias

- Carl Sagan

La primera gran virtud del hombre fue la duda

El primer gran defecto, la fe.

-Carl Sagan

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	ANTECEDENTES	3
III.	JUSTIFICACIÓN	5
IV.	MÉTODOS	6
V.	OBJETIVO GENERAL	9
VI.	HIPÓTESIS DE TRABAJO	9
VII.	REFERENCIAS	10
VIII.	ARTICULO CIENTIFICO	15

Distribución intra-anual y espacial de los nutrientes y Clorofila-a en una laguna costera al Sur del Golfo de México.

I. INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras son ecosistemas de transición entre sistemas acuáticos epicontinentales y ecosistemas marinos costeros; donde dos masas de aguas se conjuntan creando gradientes de salinidad y nutrientes asociados a las mareas y aportes fluviales (Srichandan *et al.*, 2015, Pérez-Ruzafa *et al.*, 2019). Estos ambientes se encuentran dentro de los más productivos, complejos y dinámicos del planeta (Newton *et al.*, 2014, Martínez-Durazo *et al.*, 2019). La variabilidad de esas propiedades y la interacción entre ellas confieren características únicas a estos ecosistemas acuáticos (Quinlan *et al.*, 2007). Las lagunas costeras también juegan un rol ecológico importante al ofrecer una variedad de hábitats para muchas especies funcionando como áreas de vivero y zonas de alimentación para muchos residentes marinos, limnéticos y estuarinos (Santana *et al.*, 2018). Estos ecosistemas acuáticos también proveen diversos servicios ambientales como almacenamiento de agua dulce, regulación del clima, protección contra inundaciones, purificación del agua, retención y exportación de sedimentos y nutrientes; la mitigación de cambio climático y producción de oxígeno (Crespo *et al.*, 2019). También ofrecen una amplia gama de beneficios para las actividades humanas como la acuicultura, la recreación y el ecoturismo (Newton *et al.*, 2014, Velasco *et al.*, 2018) Toda esta diversidad de servicios es amenazada por distintas presiones de origen antropogénicas, principalmente la eutrofización cultural (García-Miranda *et al.*, 2018). En lagunas costeras el fitoplancton muestra variabilidad en múltiples escalas espaciales y temporales debido a los cambios diurnos, de mareas y marinos en la hidrología (Kramer *et al.*, 1994; Barrera-Alba *et al.*, 2019; Stumpner *et al.*, 2020). Además, en años recientes, las lagunas costeras han recibido incrementos en las concentraciones de nutrientes debido a las descargas antropogénicas (Beusen *et al.*, 2016, Rodríguez-Gallego *et al.*, 2017) las cuales contienen altas concentraciones de Nitrógeno y fósforo, provocando exceso en el florecimiento fitoplanctónico (Le-Moal *et al.*, 2019). Diversos estudios, han analizado los impactos que tiene los nutrientes sobre el fitoplancton en las lagunas costeras (Rakhesh *et al.*, 2015, Béjaoui *et al.*, 2018, Liang *et al.*, 2018, Leruste *et al.*, 2019, Cutrin *et al.*, 2019, Jiang *et al.*,

2019). Una forma de medir el crecimiento y distribución fitoplanctónica es mediante el análisis de la clorofila-a (Cl-a).

El objetivo de este estudio, es determinar cómo la distribución de Cl-a, es afectada intranualmente por la mezcla de aguas de distintas densidades con conductividad eléctrica, sales de nitrógeno y fósforo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

II. ANTECEDENTES

Monbet (1992) encontró que en los ecosistemas estuarinos definidos por macro mareas (>2m) las concentraciones de Cl-a, fueron siempre menores que aquellos donde dominan las micro mareas (<2m), además de estas últimas ser más sensibles a la entrada de nutrientes. López-Cortez *et al.* (2003) determinaron la variación de la biomasa del fitoplancton en el Golfo de California, mediante un estudio hidrobiológico, en el que utilizaron parámetros de: temperatura, concentración de oxígeno disuelto, nutrientes inorgánicos y Cl-a; concluyeron que el efecto de los vientos, los aportes de agua exteriores y el proceso de desnitrificación, proveen incrementos en los contenidos de nitrato y fósforo por debajo de la termoclina, provocando variaciones de hipoxia y anoxia, procesos que se han asociado con los efectos negativo de la eutrofización. Posteriormente Cervantes *et al.* (2017) ratificó que la estratificación de la columna de agua, más la incidencia de luz solar determinan la variabilidad estacional de la productividad primaria del fitoplancton. De la Lanza *et al.*, (2008) estudiando las descargas procedentes de asentamientos y actividades antropogénicas diversas en la laguna costera de tres Palos en Oaxaca, descubrieron condiciones anóxicas en esta laguna debido a la sobreproducción de microorganismos fitoplanctónicos, ya que el fósforo se incrementó de 3.6 a 80.6 μM de forma sostenida, por lo que se agudizó la condición trófica hasta hipereutrófica. Ortega-López *et al.* (2012) concluyeron que la laguna Tampamachoco Veracruz, luego de analizar las variables fisicoquímicas encontraron que las variables climáticas como la precipitación que incrementa el caudal de descarga fluvial y con ello disminuye la salinidad y la transparencia. Coutinho *et al.* (2012) determinaron que las lagunas costeras en donde el tiempo de residencia es alto y la conexión con el mar tiende a desaparecer, se incrementan los valores en la producción fitoplanctónica por remineralización de nutrientes. Hemraj *et al.* (2017) estudiando lagunas costeras con conexión intermitente al mar, encontraron que la mayor abundancia de Cl-a y nutrientes, se daba en periodos cuando la laguna costera se encontraba aislada del mar, situación que se revertía cuando la conexión marina se restablecía. Cervantes *et al.* (2017) analizaron la bahía Magdalena que la alta productividad en el sitio, era producto de la fertilización por parte de la marea, que introducía nutrientes al sistema. Salas-Pérez y González-Gándara. (2016) determinaron que las concentraciones de Cl-a y Sólidos Suspendidos Totales, en la laguna Tamiahua en Veracruz México, son afectadas por los aportes en volumen de agua y materiales de acarreo durante la temporada de lluvias y fenómenos meteorológicos extremos. Mukherjee *et al.*

(2019) estudiando el consumo de nitrógeno en la laguna Chilika en la India, determinaron que en la zona donde desembocan los ríos y existen condiciones de mezcla, se presenta el rango más alto de consumo de (Nitrógeno Inorgánico Disuelto) DIN, además de la predilección del NH_4 por parte del fitoplancton que el NO_3 en toda la laguna. Marcovecchio *et al.* (2019) estudiando la laguna costera Mar Chiquita, determinaron que las mayores concentraciones de Cl-a fueron en 3 periodos de muestreos, más altos en la zona de convergencia de aguas fluviales, media en la zona de mezcla y bajas en la zona de influencia marina.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

III. JUSTIFICACIÓN

Las lagunas costeras, son ecosistemas importantes pues son fuente de una gran diversidad de servicios ambientales y entre los que destacan la captación y reciclaje de nutrientes (Brito *et al.*, 2012). Debido a estas características y a las interacciones océano-continente, estos ecosistemas presentan una alta productividad primaria (Nixon 1986). La laguna Mecoacán, es un ambiente estuarino, el cual por su misma naturaleza donde convergen masas de agua de distinta procedencia (limnéticos y marino en condiciones de mezcla), se encuentra dentro de los ambientes más productivos del planeta. Esta productividad, se refleja en las distintas actividades productivas que ahí se llevan a cabo, más los distintos servicios ambientales que provee. Esta laguna se encuentra en una zona muy vulnerable dentro del litoral del golfo de México (Gómez *et al.*, 2016) Caracterizar este embalse proporcionará información relevante para el adecuado manejo del mismo, además de cubrir la falta de información de dicho ecosistema. El monitoreo constante y el estudio del mismo mediante herramientas fisicoquímicas y estadísticas, contribuirán en el desarrollo potencial del sitio. Por lo anterior es relevante determinar si la mezcla de aguas de distintas densidades, con distintas concentraciones de nutrientes y sales, influyen en el crecimiento de la biomasa algal.

IV. MÉTODOS

Área de estudio

La laguna Mecoacán, es una laguna costera tropical formada por los sistemas deltaicos de los ríos Grijalva y Usumacinta en el sur del Golfo de México y se ubica en los 18.38°N; 93.15°O (Figura 1). La laguna posee una superficie aproximada de 5,168 ha, y se reconoce como un sistema somero con profundidades entre 0.3 m y 2.3 m. Se comunica con el mar a través de la Barra de Dos Bocas por la cual drenan las aguas salobres y permite la intrusión marina que actúa salinizando el ambiente lagunar (Contreras, 1985; Galaviz-Solís *et al* 1987; García-Cubas *et al.*, 1990). En esta laguna costera, Los escurrimientos superficiales son aportados por los de los ríos Seco en el norte de la laguna Mecoacán, Cuxcuchapa en el sur-este y el Escarbado y González en el este del sistema estuarino y en conjunto aportan un flujo de agua de $133 \times 10^6 \text{ m}^3$ por año a la laguna (Valdés, 1999). La amplitud de marea es de 0.02 a 0.7 (Galaviz-Solís *et al* 1987) lo cual la cataloga como una laguna influenciada por micromareas. La laguna se caracteriza por un fondo plano con profundidad media de aproximadamente 1.2 m y no se encuentran profundidades mayores a los tres metros, excepto en los canales de la boca, donde se alcanzan profundidades de hasta 6 m (Medellín y Mariño-Tapia 2013) y ambos estudios señalan el aporta flujos de agua desde la laguna hacia el mar. Por otra parte, la laguna está bordeada por un bosque de manglar y con vegetación secundaria como popales, y zonas de cultivos (De la Lanza *et al.*, 1999)

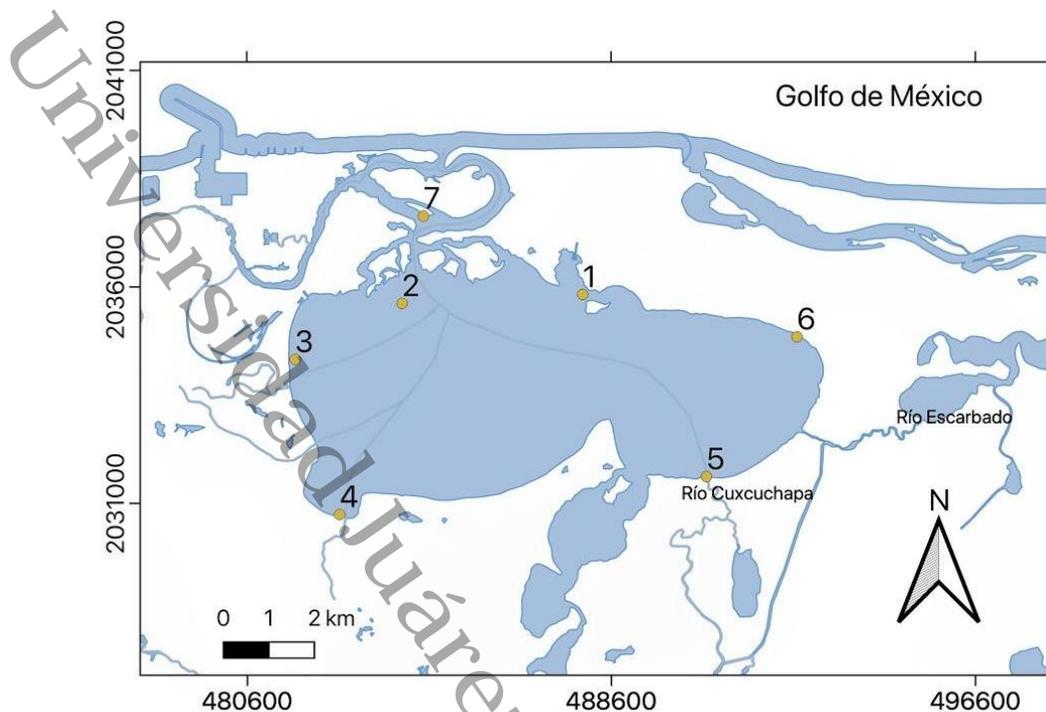


Figura 1. Localización del área de estudio y sitios de muestreo (1-7) en la Laguna Mecoaacán en el sureste de México.

Obtención de datos

Los datos fueron obtenidos en una base de datos con monitoreos en dos temporadas 2013, 2015, 2016 y 2017 en la laguna Mecoaacán, ubicada en el municipio de Paraíso Tabasco.

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos muestreados fueron CE, NO_3 , NH_4 , PT, Cl^- .

Análisis de laboratorio

Los NO_3 fueron analizados mediante el método de sulfato brucina, el NH_4 fue determinado con el método Kjeldahl, el PT a través del método del cloruro estano. La clorofila *a* por el método de extracción con acetona. La CE por el método de la NMX-AA-093-SCFI-2018.

Análisis estadístico

La variación espacial y temporal de la CE, nutrientes y CI-a fue interpretada a través de un análisis de componentes principales (ACP). El ACP se basó en los datos estandarizados de las variables CE, NH₄, NO₃, PT y CI-a empleados para construir la matriz de correlaciones (Legendre y Legendre 2012). Los componentes principales (CP) con eigenvalores mayores que 1 fueron seleccionados (Cuadras 2007; Legendre y Legendre 2012). En los CP seleccionados fueron consideradas las variables con un eigenvector mayor que |0.4| (Weilhoefer *et al.*, 2008; Cruz-Ramírez *et al.*, 2019) para la interpretación de la variación espacio-temporal de la producción de la biomasa algal, concentraciones de nutrientes y CE en la laguna. El análisis de las muestras asociadas con los eigenvectores por tiempo y espacio fue complementado con las medidas de tendencia central. Los procedimientos estadísticos fueron realizados con el programa JMP vs. 10 (SAS Institute, 2012).

V. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la distribución intra-anual y espacial de los nutrientes y Clorofila-a en la laguna Mecoacán

Objetivos específicos

1. Analizar la distribución intra-anual y espacial de la conductividad eléctrica, NH_4 , NO_3 , PT y clorofila-a en la laguna Mecoacán.
2. Determinar si la variación espacio-temporal se asocia con la producción de la biomasa del fitoplancton en función de un gradiente de sales disueltas en la laguna Mecoacán.

VI. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La producción de biomasa del fitoplancton se relaciona con la distribución espacial e intra-anual de la conductividad eléctrica, sales nitrogenadas y fósforo asociada con la mezcla dinámica de agua con densidades diferentes

VII. REFERENCIAS

- Béjaoui, B., Ottaviani, E., Barelli, E., Ziadi, B., Dhib, A., Lavoie, M., & Aleya, L. (2018). Machine learning predictions of trophic status indicators and plankton dynamic in coastal lagoons. *Ecological Indicators*, 95, 765-774.
- Beusen, A. H., Bouwman, A. F., Van Beek, L. P., Mogollón, J. M., & Middelburg, J. J. (2016). Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum. *Biogeosciences*, 13(8), 2441-2451.
- Cervantes Duarte, R., Rodríguez Mata, L. M., & López López, S. (2017). Efecto de la marea en la concentración de nutrientes, clorofila a y parámetros físicos y químicos en una laguna costera subtropical (Bahía Magdalena, México). *Hidrobiológica*, 27(2), 253-264.
- Brito, A. C., A. Newton, P. Tett & T. F. Fernandes. 2012. How will shallow coastal lagoons respond to climate change? A modelling investigation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 112: 98-104
- Coutinho, M. T. P., Brito, A. C., Pereira, P., Gonçalves, A. S., & Moita, M. T. (2012). A phytoplankton tool for water quality assessment in semi-enclosed coastal lagoons: Open vs closed regimes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 110, 134-146.
- Crespo, G. D. L. C. R., Socorro, M. A. A., Junco, O. D., Permuy, Y. R., & Troche, A. P. (2019). Servicios ecosistémicos en manglares: potencialidad para seguridad alimentaria en comunidades costeras. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 56-71.
- Cruz-Ramírez, A. K., Salcedo, M. Á., Sánchez, A. J., Macías, E. B., & Palacios, J. M. (2019). Relationship among physicochemical conditions, chlorophyll-a concentration, and water level in a tropical river–floodplain system.

International journal of environmental science and technology, 16 (7), 3869-3876.

Cutrim, M. V. J., Ferreira, F. S., dos Santos, A. K. D., Cavalcanti, L. F., de Oliveira Araújo, B., de Azevedo-Cutrim, A. C. G., ... & Oliveira, A. L. L. (2019). Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 98-109.

De la Lanza Espino, G., & Aguirre, S. G. (1999). Físicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *CIENCIA ergo-sum*, 6 (2), 147-153.

De la Lanza Espino, G., & Martínez, C. C. (1994). Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

García-Miranda, F. G., & Miranda Rosales, V. (2018). EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO.

Gómez, J. C. N., Reyes, R. R., Macías, E. B., Tenorio, A. E., & Campillo, L. M. G. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2016 (91), 70-85.

Hemraj, D. A., Hossain, M. A., Ye, Q., Qin, J. G., & Leterme, S. C. (2017). Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 184, 102-114.

Herrera-Silveira, J. A., Lara-Domínguez, A. L., Day, J. W., Yáñez-Arancibia, A., Ojeda, S. M., Hernández, C. T., & Kemp, G. P. (2019). Ecosystem Functioning and Sustainable Management in Coastal Systems With High Freshwater Input in the Southern Gulf of Mexico and Yucatan Peninsula. *In Coasts and Estuaries* (pp. 377-397)

- Human, L. R., Snow, G. C., Adams, J. B., Bate, G. C., & Yang, S. C. (2015). The role of submerged macrophytes and macroalgae in nutrient cycling: a budget approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 154, 169-178.
- Jiang, Z., Du, P., Liu, J., Chen, Y., Zhu, Y., Shou, L., & Chen, J. (2019). Phytoplankton biomass and size structure in Xiangshan Bay, China: Current state and historical comparison under accelerated eutrophication and warming. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 119-128.
- Le Moal, M., Gascuel-Oudou, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., & Pinay, G. (2019). Eutrophication: A new wine in an old bottle?. *Science of the Total Environment*, 651, 1-11.
- Leruste A., Pasqualine V., Garrido M., (2019). Physiological and behavioral responses of phytoplankton communities to nutrient availability in a disturbed Mediterranean coastal lagoon, *estuarine, coastal and shelf Science*, 219, 176-188.
- Liang, Z., Wu, S., Chen, H., Yu, Y., & Liu, Y. (2018). A probabilistic method to enhance understanding of nutrient limitation dynamics of phytoplankton. *Ecological Modelling*, 368, 404-410.
- López-Cortés, D. J., Gárate-Lizárraga, I., Bustillos-Guzmán, J. J., Alonso-Rodríguez, R., & Murillo-Murillo, I. (2003). Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999). *Hidrobiológica*, 13 (3), 195-206.
- Marcovecchio, J. E., De Marco, S. G., Magani, F., Spetter, C. V., Beltrame, M. O., & Cionchi, J. L. (2019). Hydraulic stopper effect as a regulator of inorganic nutrients distribution in Mar Chiquita coastal lagoon (Argentina). *Ecohydrology & Hydrobiology*.
- Martínez Durazo, A., García Hernández, J., Páez Osuna, F., Soto-Jiménez, M. F., & Jara-Marini, M. E. (2019). The influence of anthropogenic organic matter and nutrient inputs on the food web structure in a coastal lagoon receiving agriculture and shrimp farming effluents. *Science of the Total Environment*, 664, 635-646.

- Monbet, Y. (1992). Control of phytoplankton biomass in estuaries: a comparative analysis of microtidal and macrotidal estuaries. *Estuaries*, 15 (4), 563-571.
- Monroy, F. L., Ghinaglia, L. T., Poblete, E., & González, L. V. (2017). Dinámica de los nutrientes en una laguna costera tropical hipersalina (Las Marites, Isla de Margarita, Venezuela). *Revista Bio Ciencias*, 4(6).
- Mukherjee, R., Kumar, S., & Muduli, P. R. (2019). Spatial variation of nitrogen uptake rates in the largest brackish water lagoon of Asia (Chilika, India). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 87-97.
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A. C., Colijn, F., & Ivanova, K. (2014). An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 95-122.
- Ortega, M. L., Flores, G. P., Solís, A. S., Oyarzún, J. C. G., Monks, W. S., & Jiménez, M. A. L. (2012). Evaluación estacional de las variables fisicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12 (3), 713-719.
- Pérez-Ruzafa, A., Pérez-Ruzafa, I. M., Newton, A., & Marcos, C. (2019). Coastal Lagoons: Environmental Variability, Ecosystem Complexity, and Goods and Services Uniformity. In *Coasts and Estuaries* (pp. 253-276).
- Quinlan, E. L., & Philips, E. J. (2007). Phytoplankton assemblages across the marine to low-salinity transition zone in a blackwater dominated estuary. *Journal of Plankton Research*, 29 (5), 401-416.
- Rakshesh, M., Madhavirani, K. S. V. K. S., Kumar, B. C., Raman, A. V., Kalavati, C., Rao, Y. P., ... & Subramanian, B. R. (2015). Trophic-salinity gradients and environmental redundancy resolve mesozooplankton dynamics in a large tropical coastal lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, 1, 72-84.
- Robson, B. J., Bukaveckas, P. A., & Hamilton, D. P. (2008). Modelling and mass balance assessments of nutrient retention in a seasonally-flowing estuary

- (Swan River Estuary, Western Australia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76 (2), 282-292.
- Rodríguez-Gallego, L., Achkar, M., Defeo, O., Vidal, L., Meerhoff, E., & Conde, D. (2017). Effects of land use changes on eutrophication indicators in five coastal lagoons of the Southwestern Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 188, 116-126.
- Salas-Pérez, J. D. J., & González-Gándara, C. (2016). Fluctuaciones espaciales y temporales de la temperatura superficial del mar y las concentraciones de clorofila a debido a forzamientos atmosféricos en una laguna costera tropical. *Ciencias marinas*, 42 (1), 49-65.
- Santana, F. M., Morize, E., Labonne, M., Lessa, R., & Clavier, J. (2018). Connectivity between the marine coast and estuary for white mullet (*Mugil curema*) in northeastern Brazil revealed by otolith Sr:Ca ratio. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 215, 124-131
- Srichandan, S., Kim, J. Y., Bhadury, P., Barik, S. K., Muduli, P. R., Samal, R. N., & Rastogi, G. (2015). Spatiotemporal distribution and composition of phytoplankton assemblages in a coastal tropical lagoon: Chilika, India. *Environmental monitoring and assessment*, 187 (2), 47.
- Sujitha, S. B., Jonathan, M. P., Escobedo-Urías, D. C., Aguirre-Bahena, F., Villegas, L. E. C., & Muñoz-Sevilla, N. P. (2017). Spatial variability of inorganic nutrients and physical parameters in the waters of Bahia Magdalena lagoon, Pacific Coast, Mexico. *Acta Ecologica Sinica*, 37 (3), 187-194.
- Tepetlan, P. S., & Aranda, A. (2008). Macrofauna bentónica asociada a bancos ostrícolas en las lagunas costeras Carmen, Machona y Mecoacán, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*.
- Velasco, A. M., Pérez-Ruzafa, A., Martínez-Paz, J. M., & Marcos, C. (2018). Ecosystem services and main environmental risks in a coastal lagoon (Mar Menor, Murcia, SE Spain): The public perception. *Journal for Nature Conservation*, 43, 180-189.

Distribución intra-anual y espacial de los nutrientes y Clorofila-a en una laguna costera al Sur del Golfo de México.

Producción de biomasa del Fitoplancton en la laguna Mecoacán

García-Cruz José Luis¹, Salcedo Miguel Ángel², Sánchez Alberto J.², Mendoza-Palacios Juan de Dios³, Florido Rosa², Cruz-Ramírez Allan Keith², Álvarez-Pliego Nicolás²

¹Maestría en Ciencias Ambientales. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.

²Diagnóstico y Manejo de Humedales Tropicales, División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco, México

³ Recursos Hídricos y Edáficos, División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México

RESUMEN

Las lagunas costeras estuarinas son ecosistemas acuáticos costeros donde confluyen masas de agua marinas y fluviales, que regulan los procesos ecohidrogeomórficos y fisicoquímicos en diferentes escalas de tiempo. La mezcla de ambas masas de agua genera un gradiente de sales disueltas y se han asociado a patrones espaciales y temporales de nutrientes y de producción de biomasa algal. La distribución intra-anual y espacial de la conductividad eléctrica y nutrientes en la laguna Mecoacán se analizó para determinar si su variación espacio-temporal se asocia con la producción de la biomasa del fitoplancton en la laguna. Para lograr este objetivo, se midieron los parámetros de Cl-a, NH₄, NO₃, CE y PT, los cuales se interpretaron mediante un Análisis de componentes principales (ACP). En el ACP se definieron dos componentes, (CP1, p=0.0038; CP2, p=0.0262) que en conjunto explicaron el 58.8% de la variación total de los datos. En el CP1 la conductividad eléctrica se asoció negativamente con el NH₄ y el NO₃. En el CP2, la Cl-a se

relacionó con el fósforo total. En la laguna Mecocacán la mesohalinidad resultó la condición dominante y en donde se detectaron las máximas concentraciones en nutrientes y Cl-a. El monitoreo a largo plazo ayudará a integrar la biogeoquímica de los nutrientes con las funciones biofísicas producidas por las corrientes de marea y descarga de los ríos en escalas diarias, estacionales e inter-anales.

Palabras clave: producción algal; trófico; dispersión mareal; nutrientes inorgánicos; multidimensión.

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras estuarinas son ecosistemas productivos, complejos y dinámicos debido a la interacción de la energía de marea, flujos de los ríos fluviales y subterráneos, la cual determina patrones espacio-temporales en la fisicoquímica del agua y la distribución de los organismos (Roselli *et al.*, 2013; Srichandan *et al.*, 2015; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2019). Esta dinámica espacio-temporal se puede observar en los gradientes de salinidad en lagunas estuarinas, con fluctuaciones desde 0.5 ups u oligohalinas hasta más de 40 ups o hiperhalinas (Cowardin *et al.*, 1979; Tweedley *et al.*, 2019). Además, los flujos hídricos de diversas fuentes, producen fluctuaciones en la concentración y distribución entre nutrientes alóctonos y los autóctonos que son producto de la degradación de la materia orgánica y resuspensión de sedimentos (White *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2011; Camacho-Ibar *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2017). Las formas nitrogenadas destacan entre los nutrientes. Por ejemplo, las concentraciones altas de amonio (NH_4) y su asimilación se han relacionado con el incremento y la distribución espacio-temporal de la producción de biomasa algal (Gilbert *et al.*, 2016; Bhavya *et al.*, 2016; Mukherje *et al.*, 2018). También, el nitrato (NO_3) es un nutriente utilizado por las algas en condiciones de escasez del amonio debido al gasto energético asociado a su asimilación, además el nitrato es más estable en condiciones aeróbicas y temperaturas cálidas (De La Lanza & Cáceres-Martínez, 1994; Dugdale *et al.*, 2013; Stumpner *et al.*, 2019). En ambientes estuarinos, los cambios en la distribución de los nutrientes se han

relacionado con la variación intra-anual de la producción de la biomasa algal (Paerl *et al.*, 2014; Barik *et al.*, 2017; Pei *et al.*, 2019) y es limitada por el fósforo y en conjunto con las sales nitrogenadas (Coelho *et al.*, 2015; Béjaoui *et al.*, 2016; Béjaoui *et al.*, 2018; Cutrin *et al.*, 2019). No obstante, la producción de la biomasa fitoplanctónica pueden ser afectados por la cantidad de radiación solar, la fluctuación del nivel y temperatura del agua (Ortega-López *et al.*, 2012; Barrera-Alba *et al.*, 2019). En este contexto, la laguna Mecoacán es un ecosistema estuarino con alta productividad primaria y eficiente en la utilización de nitrógeno y fósforo, los cuales provienen del flujo de los ríos y de la producción y degradación de materia orgánica *in situ* (García-Cubas *et al.*, 1990; de la Lanza *et al.*, 1999; Torres *et al.*, 2017). Asimismo, la variación de la producción de biomasa del fitoplancton se ha registrado 6.7-21.4 mg/m³ (Contreras-Espinoza y Warner 2004; De la lanza *et al.*, 2017). En este estudio se plantea que el incremento en la producción de biomasa del fitoplancton se relaciona con la distribución espacial e intra-anual de la conductividad eléctrica, sales nitrogenadas y fósforo asociada con la mezcla dinámica de agua con densidades diferentes. Para comprobar la hipótesis anterior se analizó la distribución intra-anual y espacial de la conductividad eléctrica, nutrientes y clorofila-a para determinar si su variación espacio-temporal se asocia con la producción de la biomasa del fitoplancton en función de un gradiente de sales disueltas en la laguna Mecoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La laguna Mecoacán, es una laguna costera tropical formada por los sistemas deltaicos de los ríos Grijalva y Usumacinta en el sur del Golfo de México y se ubica en los 18.38°N; 93.15°O (Figura 1). Esta laguna presenta un área aproximada de 5,168 ha y profundidades entre 0.3 y 2.3 m (Gutiérrez-Mendieta *et al.*, 2019). La comunicación hidráulica continua superficial entre la laguna Mecoacán y el mar es a través de la Barra de Dos Bocas (Galaviz-Solís *et al.*, 1987; García-Cubas *et al.*,

1990; Barba *et al.*, 2014). Además, el ingreso de agua superficial hacia la laguna es a través de los escurrimientos de los ríos Seco en el norte de la laguna Mecoacán, Cuxcuchapa en el sur-este y los ríos Escarbado y González en el este del ecosistema acuático (Medellin *et al.*, 2013). En la laguna Mecoacán, anualmente las micromareas presentan una amplitud de 0.02 a 0.7 metros sobre el nivel medio del mar (msnm) de acuerdo con Galaviz-Solís *et al.* (1987) y SEMAR (2019). La laguna Mecoacán presenta una variación estacional en la concentración de sales, con mayores valores en la temporada de secas, y menores en lluvias. Además, la variación espacial de la salinidad se ha reportado en un gradiente de sureste a norte, donde los valores mínimos se localizan en el sur, en el área de influencia fluvial (ríos Escarbado y Cuxcuchapa) y los máximos registros de salinidad en el oeste y norte de la laguna se han registrado próximos a la boca donde fluye el agua marina (Domínguez *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2017).

La laguna está bordeada por un bosque de manglar donde dominan las especies *Rhizophora mangle* (L), *Laguncularia racemosa* (C.F. Gaertn) y *Avicennia germinans* (L) (Torres *et al.*, 2017) y vegetación hidrófila secundaria como *Thalia geniculata* L. y *Thypha latifolia* L. (Alejandro, 2010); Mientras que, destacan por su densidad, las especies de decápodos, *Eurypanopeus depressus* (S. I. Smith) y *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus) (Domínguez *et al.*, 2003), además son cultivadas en bancos la especie *Crassostrea virginica* (Gmelin), de acuerdo con Torres *et al.*, (2017).

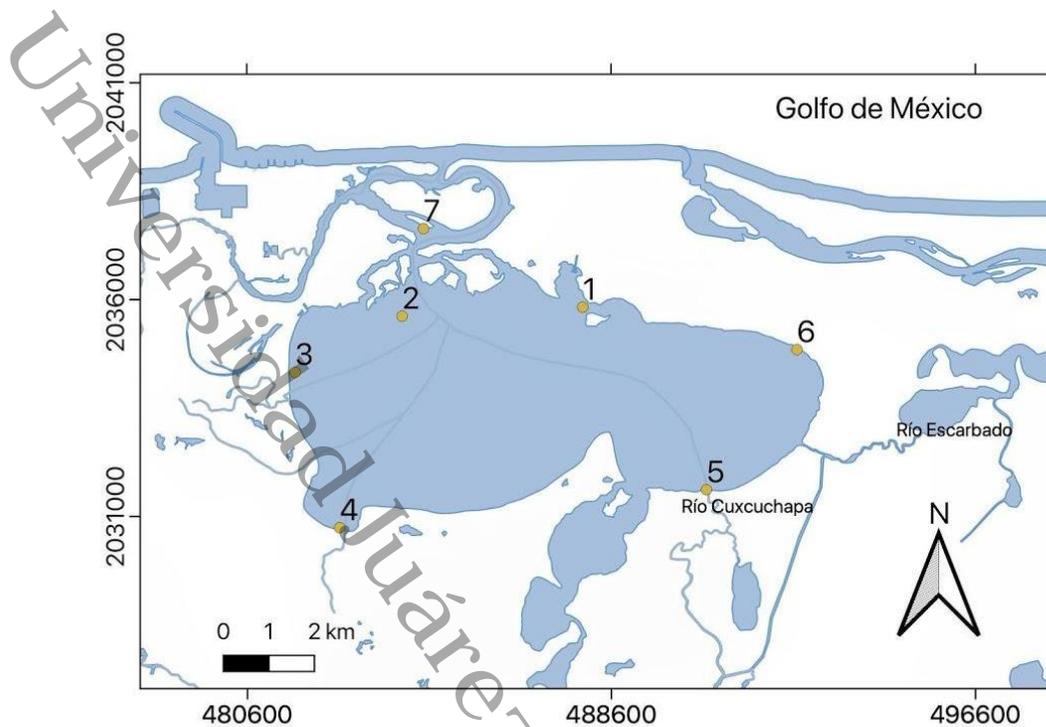


Figura 1 Localización del área de estudio y sitios de muestreo en la Laguna Mecoaacán en el sureste de México.

Muestreo

En la laguna Mecoaacán se realizaron muestreos semestrales en siete sitios (ubicación en mapa) durante cuatro años (2013, 2015, 2016 y 2017) y se obtuvieron muestras de agua para el análisis de cinco variables fisicoquímicas. Un total de 56 muestras fueron analizadas para la determinación de amonio (NH_4), nitratos (NO_3), fósforo total (PT), conductividad eléctrica (CE) y clorofila-a (Cl-a), de acuerdo con los métodos APHA (1998). El total de las mediciones sumó 280 datos.

Análisis de datos

La variación espacial y temporal de NH_4 , NO_3 , PT, CE y Cl-a fue interpretada a través de un análisis de componentes principales (ACP). El ACP se basó en los datos estandarizados de las cinco variables, empleados para construir la matriz de correlaciones (Legendre & Legendre, 2012). Los componentes principales (CP) con

eigenvalores mayores que 1 y con diferencias significativas en la prueba de Bartlett fueron seleccionados (Cuadras, 2007; Legendre & Legendre, 2012). En los CP seleccionados para la interpretación de la variación espacio-temporal de la producción de la biomasa algal, concentraciones de nutrientes y CE en la laguna fueron consideradas las variables con eigenvector mayor que |0.4| (Weilhoefer *et al.*, 2008; Cruz-Ramírez *et al.*, 2019). Además, el análisis de las muestras asociadas con los eigenvectores por tiempo y espacio fue complementado con el cálculo de las medidas de tendencia central. Todos los procedimientos estadísticos fueron realizados con el programa JMP vs. 10 (SAS Institute, 2012).

RESULTADOS

Los primeros dos componentes principales (CP) resultaron con eigenvalores mayores que 1, ambos presentaron variación significativa (CP1, $p=0.0038$; CP2, $p=0.0262$) y en su conjunto explicaron el 58.8% de la variación total de los datos. En el CP1, la CE resultó en una relación inversa con el NH_4 y NO_3 . En el CP2 la Cl- a y PT presentaron una relación positiva (Tabla 2).

Tabla 1. Eigenvectores, eigenvalores y varianza del ACP. CP= componente principal. En negritas, eigenvectores mayores que |0.4|.

Variables	CP 1	CP 2
CE	-0.49	-0.33
Clorofila-a	0.2	0.59
NH ₄	0.54	-0.34
NO ₃	0.58	0.14
PT	-0.29	0.63
Variación (%)	31.9	27
Eigenvalores	1.59	1.35

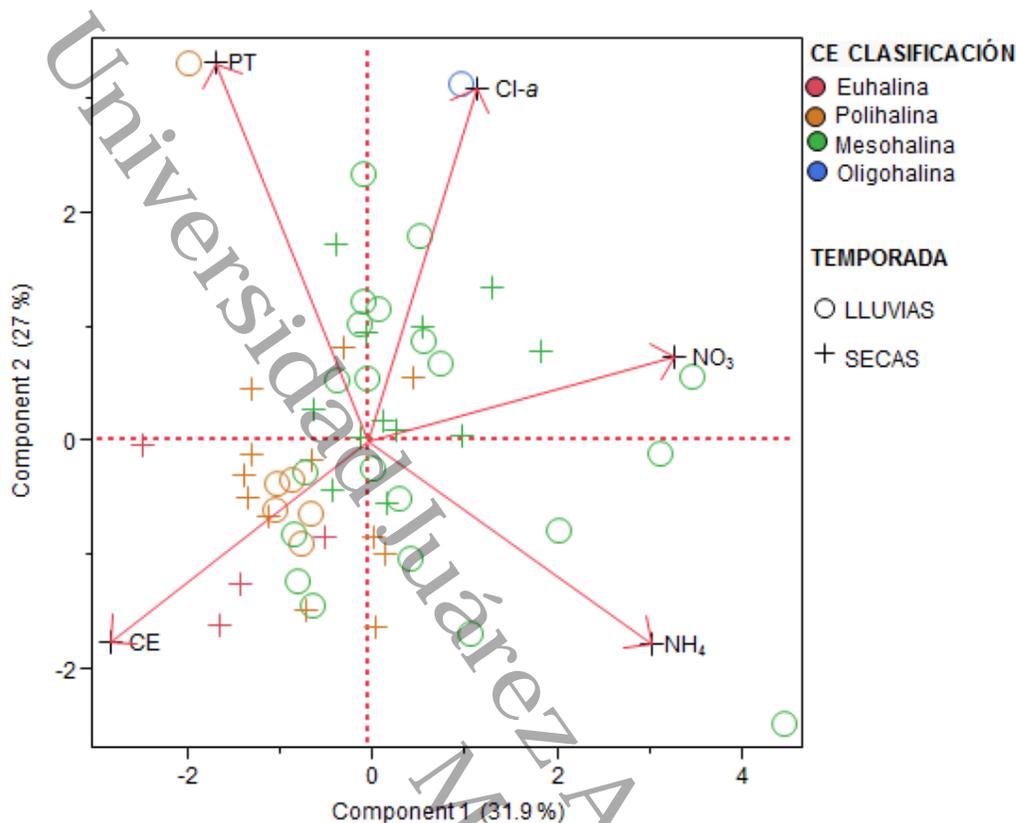


Figura 2. Gráfico del Análisis de Componentes Principales (variables y puntuaciones) de los datos de nitratos (NO_3), nitrógeno amoniacal (NH_4), fósforo total (PT), conductividad eléctrica (CE) y clorofila-a (Cl-a). Las muestras de las variables son clasificadas con base en los valores de conductividad eléctrica.

En el CP1, la distribución de todas las muestras de CE fluctuó desde 6 296 en el lado positivo del eje hasta 56855 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en su sección negativa. En la distribución de las muestras de CE destacó el factor espacial, pues la distribución de las muestras asociadas con la CE se puede interpretar como un gradiente y sus mayores valores resultaron en la zona adyacente a la boca de la laguna, y los menores fueron registrados en la zona contigua al flujo de los ríos. No obstante, en la temporada de secas dos intervalos de valor de la CE resultaron con igual proporción, pues cada una presentó el 21.4% del total de las muestras, el primero resultó desde 9 242 hasta 29 571 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y el segundo fue de 30860 a 42891 $\mu\text{s}/\text{cm}$, además el 7.1% de las muestras fluctuaron de 48 492 a 56 855 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y en la de lluvias el 37.5% de las muestras varió de 10 203 a 28 242 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y el 10.7% de éstas

resultó desde 30 096 hasta 43 180 $\mu\text{s/cm}$. La mesohalinidad con menores valores y una muestra oligohalina fueron relacionadas con el área de influencia de los flujos de los ríos Escarbado y Cuxcuchapa. Mientras que, las condiciones polihalina y euhalina fueron comunes en el área próxima al flujo de entrada mareal en la laguna Mecoacán (Figura 1). En este CP1, las concentraciones de NO_3 registraron incrementos (>0.028 mg/L) en el 12.5% de las muestras, las cuales se asociaron con registros de CE (9 242 - 37 576 $\mu\text{s/cm}$) y el 8.9% de las muestras del nutriente fueron detectadas en un intervalo mayor entre 9 242 y 26 5356 $\mu\text{s/cm}$. También, las tres mayores concentraciones de NO_3 fueron determinadas en muestras adyacentes al flujo de los ríos. Además, en el CP1 siete muestras resultaron con los mayores contenidos de NH_4 (0.154 - 0.819 mg/L) fueron asociadas con valores de CE desde 16 792 hasta 35 900 $\mu\text{s/cm}$ y cinco muestras destacaron con elevados contenidos del nutriente en la temporada de lluvias, pues sus registros variaron de 0.182 a 0.819 mg/L

En el CP2, las mayores concentraciones de Cl-a (≥ 34.3 mg/m³) fueron detectadas en 9 muestras, de las cuales resultaron 7 en condiciones mesohalinas (13 526 a 28 503 $\mu\text{s/cm}$) y 2 en polihalinas (34 724 a 37 576 $\mu\text{s/cm}$), de las cuales cuatro se ubicaron en la zona de influencia de los ríos con registros de Cl-a mayores que 42.7 mg/m³. Los contenidos superiores de Cl-a fueron similares entre las temporadas de lluvias (52.9 a 80 mg/m³) y secas (34.3 hasta 65.9 mg/m³). Además, en este CP, los registros elevados de PT resultaron en ocho muestras (≥ 0.144 mg/L), seis de estas coincidieron con valores de CE mesohalina (10 203 a 26 536 $\mu\text{s/cm}$). Las variables Cl-a y PT se pueden relacionar por la coincidencia de sus valores mayores en la condición mesohalina.

DISCUSIÓN

En la laguna Mecoacán, el incremento en la producción de biomasa del fitoplancton se relacionó con el 60% con condiciones mesohalinas. En lagunas costeras con comunicación permanente, la fuerza de la marea es la principal fuente de energía

(Cervantes-Duarte *et al.*, 2017), como es el caso la laguna Mecoacán que esta comunicada al sur del Golfo de México. Además, en estos ecosistemas las condiciones fisicoquímicas y biológicas son reguladas por la interacción de las mareas y el flujo fluvial en escalas diarias y estacionales, respectivamente (Comín *et al.*, 2004; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2011). En la laguna Mecoacán se registró un gradiente de conductividad eléctrica oligohalina - euhalina, dominado espacio temporalmente por la condición mesohalina. Este gradiente resultó similar al registrado por Domínguez *et al.* (2003), Reyes *et al.* (2017) y Torres *et al.* (2019). En los ecosistemas estuarinos, la variabilidad de las sales disueltas en las lagunas costeras se ha vinculado con la distribución y ciclo de vida de las especies acuáticas (Chung, 2001). Por ejemplo, los macrocrustáceos *Farfantepenaeus aztecus* (Smith), *F. duorarum* (Burkenroad), *Callinectes sapidus* Rathbun, *C. similis* Williams, *Eurypanopeus depressus* (Smith) se distribuyen desde condiciones mesohalinas a polihalinas y *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus) desde zonas oligohalinas a mesohalinas, mientras que la especie de pez *Cathorops aguadulce* (Meek) se ha registrado desde la oligohalinidad hasta la condición mesohalina (Domínguez *et al.*, 2003; Reyes-Ramírez *et al.*, 2017).

En este estudio el incremento de NH_4 y NO_3 se asoció con la mesohalinidad y las concentraciones superiores de NH_4 fueron relacionadas parcialmente con la estacionalidad, pues se distribuyeron en la temporada de lluvias, mientras que las de los NO_3 , no se relacionaron con el factor temporal. También, la distribución de NH_4 resultó similar a lo registrado por Muciño-Márquez *et al.* (2017) en en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, quienes detectaron el aumento de esta sal nitrogenada en condiciones asociadas con la incidencia del flujo de los ríos y la esorrentía en el sistema fluvio-lagunar Palizada del Este. Pero ellos no los relacionaron con valores de sales disueltas. El enriquecimiento por amonio no se detectó en este estudio, pues solamente dos registros de esta sal nitrogenada superaron el umbral para la eutrofización en lagunas costeras (>0.28 mg/L) de acuerdo con de la lanza *et al.* (2017). La distribución del NO_3 detectado en la laguna Mecoacán, coincidió con el registro de las concentraciones superiores de NO_3 relacionadas con la mesohalinidad en la Laguna Chilika (Nazneen *et al.*, 2019).

Asimismo, en este estudio las máximas concentraciones de NO_3 no superaron el límite referido para la eutrofización (0.42 mg/L) propuesto por de la Lanza *et al.* (2017). El cotejo trófico anterior sugiere que las concentraciones de ambas sales nitrogenadas pueden relacionarse con su asimilación por el fitoplancton en la laguna Mecoacán (De la Lanza *et al.*, 1999; Torres *et al.*, 2017). Así, el amonio y el nitrato han sido vinculados con el incremento y la distribución de la producción de biomasa algal en condiciones mesohalinas (Dugdale *et al.*, 2013; Gilbert *et al.*, 2016; Bhavya *et al.*, 2016; De La Lanza *et al.*, 2017; Mukherje *et al.*, 2018; Stumpner *et al.*, 2019). En la laguna Mecoacán, la producción de la biomasa del fitoplancton y las concentraciones de fósforo se relacionaron por la coincidencia de sus valores mayores durante la condición mesohalina, independiente de su variación intra-anual. Los altos valores de alta biomasa algal pueden explicarse debido a que la entrada de la laguna es afectada por la energía de la marea, ya que este ecosistema presenta una amplitud de marea 0.41 y 0.55 m (SEMAR 2017). Este resultado coincidió con lo publicado por Monbet; (1992), en donde los ecosistemas estuarinos regidos por micro mareas (<2m) presentan concentraciones de Cl-a (>20 mg/m³; de la Lanza 2017) y de nutrientes elevadas. En estas condiciones, la producción de biomasa del fitoplancton indica un estado eutrófico en la laguna Mecoacán, pues la concentración del pigmento en 84% de las muestras mesohalinas, superó el valor referencial (20 mg/m³) para lagunas costeras en México (De la Lanza *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

En la laguna Mecoacán la dinámica fisicoquímica y biológica puede relacionarse con la interacción de la energía de marea y fluvial que generan condiciones de mezcla de materiales disueltos que resultó en un gradiente de salinidad en el que destaca la mesohalinidad. En esta condición, el incremento del NH_4 se vinculó con una mayor concentración de sales disueltas, mientras que el NO_3 y el PT en una mayor amplitud de la CE. En esta laguna mesohalina la producción de biomasa de

fitoplancton resultó en una marcada eutrofización e independiente de la variación intra-anual. No obstante, se requiere de monitoreos a largo plazo para la integración de la biogeoquímica de los nutrientes y la función biofísica vinculada con los factores diales y intra-anales.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

REFERENCIAS

- Alejandro, M., & Alberto, M. (2010). *Vegetación y flora del municipio de Paraíso*. Villahermosa, Tabasco México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasc., 154 p.
- APHA (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edn. *American Public Health Association*, Washington.
- Barba-Macías, E., Rangel-Mendoza, J., & Ramos-Reyes, R. (2014). Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 22 (2).
- Barik, S. K., Muduli, P. R., Mohanty, B., Behera, A. T., Mallick, S., Das, A. & Pattnaik, A. K. (2017). Spatio-temporal variability and the impact of Phailin on water quality of Chilika lagoon. *Continental Shelf Research*. 136, 39-56.
- Barreiro-Güemes, M. T., & Aguirre-León, A. (1999). Distribución espacio-temporal de la biomasa fitopláctica en el sistema lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*. 27-35.

- Barrera-Alba, J. J., Abreu, P. C., & Tenenbaum, D. R. (2019). Seasonal and inter-annual variability in phytoplankton over a 22-year period in a tropical coastal region in the southwestern Atlantic Ocean. *Continental Shelf Research*. 176, 51-63.
- Béjaoui, B., Armi, Z., Ottaviani, E., Barelli, E., Gargouri-Ellouz, E., Chérif, R. & Aleya, L. (2016). Random forest model and TRIX used in combination to assess and diagnose the trophic status of Bizerte Lagoon, southern Mediterranean. *Ecological indicators*. 71, 293-301.
- Béjaoui, B., Ottaviani, E., Barelli, E., Ziadi, B., Dhib, A., Lavoie, M., & Aleya, L. (2018). Machine learning predictions of trophic status indicators and plankton dynamic in coastal lagoons. *Ecological Indicators*. 95, 765-774.
- Beusen, A. H., Bouwman, A. F., Van Beek, L. P., Mogollón, J. M., & Middelburg, J. J. (2016). Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum. *Biogeosciences*. 13 (8): 2441-2451.
- Bhavya, P. S., Kumar, S., Gupta, G. V. M., Sudheesh, V., Sudharma, K. V., Varrier, D. S., & Saravanane, N. (2016). Nitrogen uptake dynamics in a tropical eutrophic estuary (Cochin, India) and adjacent coastal waters. *Estuaries and coasts*. 39 (1): 54-67.
- Camacho-Ibar, V. F., & Rivera-Monroy, V. H. (2014). Coastal lagoons and estuaries in Mexico: processes and vulnerability. *Estuaries and Coasts* 37,1313–1318.
- Cervantes Duarte, R., Rodríguez Mata, L. M., & López López, S. (2017). Efecto de la marea en la concentración de nutrientes, clorofila ay parámetros físicos y químicos en una laguna costera subtropical (Bahía Magdalena, México). *Hidrobiológica*. 27 (2): 253-264.
- Chung, K. S. (2001). Adaptabilidad ecofisiológica de organismos acuáticos tropicales a cambio de salinidad. *Revista de Biología Tropical*. 49 (1): 9-13.

- Coelho, S., Pérez-Ruzafa, A., & Gamito, S. (2015). Phytoplankton community dynamics in an intermittently open hypereutrophic coastal lagoon in southern Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 167, 102-112.
- Comín, F. A., Menéndez, M., & Herrera, J. A. (2004). Spatial and temporal scales for monitoring coastal aquatic ecosystems. *Aquatic conservation*. 14, S5-S18.
- Contreras E. F., Catañeda O. L., Torres, Alvarado R. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras Mexicanas. *Revista de Biología Tropical*. 44 (2): 417-425.
- Contreras-Espinosa, F., & Warner, B. G. (2004). Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia*, 511(1-3): 233-245.
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., & LaRoe, E. T. (1979). Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. *Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior*. FWS/OBS-79/31.
- Cuadras, C. M. (2007). Nuevos métodos de análisis multivariante. Barcelona: CMC editions.
- Cutrim, M. V. J., Ferreira, F. S., dos Santos, A. K. D., Cavalcanti, L. F., de Oliveira Araújo, B., de Azevedo-Cutrim, A. C. G., ... & Oliveira, A. L. L. (2019). Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 216, 98-109.
- Cruz-Ramírez, A. K., Salcedo, M. Á., Sánchez, A. J., Macías, E. B., & Palacios, J. M. (2019). Relationship among physicochemical conditions, chlorophyll-a concentration, and water level in a tropical river–floodplain system. *International journal of environmental science and technology*. 16 (7): 3869-3876.

- De la Lanza Espino, G. D. L., & Gutiérrez-Mendieta, F. J. (2017). Intervalos de parámetros no-conservativos en sistemas acuáticos costeros de México. *Hidrobiológica*. 27 (3): 369-390.
- De la Lanza Espino, G., & Aguirre, S. G. (1999). Físicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *CIENCIA Ergo-sum*, 6 (2): 147-153.
- De la Lanza Espino, G., & Martínez, C. C. (1994). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. México, DF. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Domínguez, J. C., Sánchez, A. J., Florido, R., & Barba, E. (2003). Distribución de macrocrustáceos en Laguna Mecoacán: al sur del Golfo de México. *Hidrobiológica*. 13 (2): 127-135.
- Dugdale, R. C., Wilkerson, F. P., & Parker, A. E. (2013). A biogeochemical model of phytoplankton productivity in an urban estuary: the importance of ammonium and freshwater flow. *Ecological modelling*. 263: 291-307.
- Galaviz S., A., M. Gutiérrez E., A. Castro R., (1987). Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM*. 14 (2): 109-123.
- García Cubas, A., D. F. Escobar, A. L. González, M. Reguero. (1990). Moluscos de la Laguna Mecoacán, Tabasco, México: Sistemática y Ecología. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 17 (1): 1-30.
- Gil, J., Mineros, E., & Romero, T. (2013). Estimación de la producción primaria y biomasa del fitoplancton y su relación con algunas condiciones ambientales en la Laguna de Chautengo, Guerrero. *El Hombre y su Ambiente*. 1-16.
- Glibert, P. M., Wilkerson, F. P., Dugdale, R. C., Raven, J. A., Dupont, C. L., Leavitt, P. R., ... & Kana, T. M. (2016). Pluses and minuses of ammonium and nitrate

- uptake and assimilation by phytoplankton and implications for productivity and community composition, with emphasis on nitrogen-enriched conditions. *Limnology and Oceanography*. 61 (1): 165-197.
- Gómez, J. C. N., Reyes, R. R., Macías, E. B., Tenorio, A. E., & Campillo, L. M. G. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*. 91: 70-85.
- Grenz, C., Moreno, M. O., Soetaert, K., Denis, L., Douillet, P., & Fichez, R. (2019). Spatio-temporal variability in benthic exchanges at the sediment-water interface of a shallow tropical coastal lagoon (south coast of Gulf of Mexico). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 218: 368-380.
- Gutiérrez Mendieta, F. J., Varona-Cordero, F., & Contreras Espinosa, F. (2006). Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*. 16 (2): 137-146.
- Herrera-Silveira, J. A., & Ramírez-Ramírez, J. (1998). Salinity and nutrients in the coastal lagoons of Yucatan, Mexico. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*. 26 (3): 1473-1478.
- Legendre P, Legendre L (2012) Numerical ecology. *Elsevier Science*, Amsterdam. 1006 p
- Li, G., Gao, K., Yuan, D., Zheng, Y., & Yang, G. (2011). Relationship of photosynthetic carbon fixation with environmental changes in the Jiulong River estuary of the South China Sea, with special reference to the effects of solar UV radiation. *Marine pollution bulletin*. 62 (8): 1852-1858.
- Medellín G., Mariño Tapia I. (2013). Influencia de la marea en la hidrodinámica del sistema Mecoacan-río González, México. *Ciencias del agua*. 4 (2): 71-90.

- Monbet, Y. (1992). Control of phytoplankton biomass in estuaries: a comparative analysis of microtidal and macrotidal estuaries. *Estuaries*. 15 (4): 563-571.
- 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.
- Mukherjee, R., Kumar, S., & Muduli, P. R. (2019). Spatial variation of nitrogen uptake rates in the largest brackish water lagoon of Asia (Chilika, India). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 216, 87-97.
- Nazneen, S., Raju, N. J., Madhav, S., & Ahamad, A. (2019). Spatial and temporal dynamics of dissolved nutrients and factors affecting water quality of Chilika lagoon. *Arabian Journal of Geosciences*. 12 (7): 243.
- Ortega, M. L., Flores, G. P., Solís, A. S., Oyarzún, J. C. G., Monks, W. S., & Jiménez, M. A. L. (2012). Evaluación estacional de las variables fisicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12 (3): 713-719.
- Paerl, H. W., Hall, N. S., Peierls, B. L., & Rossignol, K. L. (2014). Evolving paradigms and challenges in estuarine and coastal eutrophication dynamics in a culturally and climatically stressed world. *Estuaries and Coasts*. 37 (2): 243-258.
- Pei, S., Laws, E. A., Zhu, Y., Zhang, H., Ye, S., Yuan, H., & Ding, X. (2019). Nutrient dynamics and their interaction with phytoplankton growth during autumn in Liaodong Bay, China. *Continental Shelf Research*. 186: 34-47.
- Pérez Ruzafa, A., Pérez-Ruzafa, I. M., Newton, A., & Marcos, C. (2019). Coastal Lagoons: Environmental Variability, Ecosystem Complexity, and Goods and Services Uniformity. In *Coasts and Estuaries* pp. 253-276.

- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Pérez-Ruzafa, I. M., & Pérez-Marcos, M. (2011). Coastal lagoons: "transitional ecosystems" between transitional and coastal waters. *Journal of Coastal Conservation*. 15 (3): 369-392.
- Roselli, L., Cañedo-Argüelles, M., Goela, P. C., Cristina, S., Rieradevall, M., D'Adamo, R., & Newton, A. (2013). Do physiography and hydrology determine the physico-chemical properties and trophic status of coastal lagoons? A comparative approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 117: 29-36.
- Srichandan, S., Kim, J. Y., Bhadury, P., Barik, S. K., Muduli, P. R., Samal, R. N., ... & Rastogi, G. (2015). Spatiotemporal distribution and composition of phytoplankton assemblages in a coastal tropical lagoon: Chilika, India. *Environmental monitoring and assessment*, 187 (2): 47.
- Stumpner, E. B., Bergamaschi, B. A., Kraus, T. E., Parker, A. E., Wilkerson, F. P., Downing, B. D., ... & Kendall, C. (2019). Spatial variability of phytoplankton in a shallow tidal freshwater system reveals complex controls on abundance and community structure. *Science of The Total Environment*. 700, 134392.
- Torres, J. R., Barba, E., & Choix, F. J. (2019). Production and biomass of mangrove roots in relation to hydroperiod and physico-chemical properties of sediment and water in the Mecoacan lagoon, Gulf of Mexico. *Wetlands Ecology and Management*. 27 (2-3): 427-442.
- Torres, J. R., Infante-Mata, D., Sánchez, A. J., Espinoza-Tenorio, A., & Barba, E. (2017). Atributos estructurales, productividad (hojarasca) y fenología del manglar en la Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*. 65(4), 1592-1608.
- Tweedley, J. R., Dittmann, S. R., Whitfield, A. K., Withers, K., Hoeksema, S. D., & Potter, I. C. (2019). Hypersalinity: Global Distribution, Causes, and Present

and Future Effects on the Biota of Estuaries and Lagoons. In *Coasts and Estuaries* pp. 523-546.

White, D. L., Porter, D. E., Lewitus, A. J., & Keesee, J. (2008). Spatial gradient analyses of nutrients and chlorophyll a biomass in an urbanized lagoonal estuary: a comparison between wet and dry periods. *Journal of Coastal research*. 649-659.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.