

# BASE DE DATOS PARA ANÁLISIS DE LAGUNAS COSTERAS EN MÉXICO

## DATABASE FOR ANALYSIS OF COASTAL LAGOONS IN MEXICO

Jorge Herrera-Silveira<sup>1†</sup>, Mónica Pech-Cardenas<sup>1</sup>, Sara M. Morales-Ojeda<sup>1</sup>, Javier Ramírez-Ramírez<sup>1</sup>, Israel Medina-Gómez<sup>1</sup> y Ileana Osorio-Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Producción Primaria, CINVESTAV – Instituto Politécnico Nacional, Mérida, Yucatán, México.

<sup>†</sup>Autor para correspondencia: jorge.herrera@cinvestav.mx

### RESUMEN

El conocimiento de los balances de agua, sal y nutrientes en las lagunas costeras permite realizar estimaciones sobre los flujos de carbono, nitrógeno y fósforo, usando modelos simplificados de procesos biogeoquímicos como el modelo de LOICZ. Los esfuerzos previos en México han permitido caracterizar 22 lagunas costeras, por lo que es necesario continuar con esta tarea para obtener un mayor conocimiento del estado de las lagunas costeras. En este trabajo se discute una base de datos de información relacionada con 69 lagunas costeras, muchas de ellas con información suficiente para aplicar las aproximaciones de los distintos balances propuestos en el modelo de LOICZ. Se discuten los problemas encontrados en el desarrollo de la base de datos y se dan algunas recomendaciones para continuar esta tarea.

**Palabras clave:** LOICZ; variables físicas y químicas y nutrientes; balance del agua; flujos.

### ABSTRACT

Knowledge of water, salt and nutrient balances in coastal lagoons allows estimations on carbon, nitrogen and phosphorus flows, using simplified models of biogeochemical processes such as the LOICZ model. Previous efforts in Mexico have allowed characterizing 22 coastal lagoons, so it is necessary to continue with this task to obtain a better knowledge of the state of the coastal lagoons. This paper discusses a database of information related to 69 coastal lagoons, many of them with enough information to perform some type of balance according to the LOICZ model. The problems found in the development of the database, as well as recommendations to continue this task, are discussed.

**Key words:** LOICZ; physicochemical variables and nutrients; water balance variables; flows.



## INTRODUCCIÓN

El territorio mexicano posee alrededor de 12 000 km de litoral costero. Se caracteriza por la presencia de diversos ambientes geomorfológicos, denominados comúnmente bajo el término de lagunas costeras, que exhiben diferencias regionales debido a su origen, extensión y naturaleza (Castañeda-López y Contreras-Espinoza, 2003; de la Lanza-Espino *et al.*, 2013).

De acuerdo con de la Lanza-Espino *et al.* (2013) el número de lagunas costeras (LC) reconocidas como unidades individuales en México es 164. Estos autores también clasifican la zona costera de acuerdo con la red fluvial y su intercambio energético, arreglo fisiográfico, geología, el clima y vegetación, proponiendo siete regiones geográficas del litoral costero.

Si bien, las lagunas costeras son ambientes de alta productividad, están expuestos a distintos grados de presión humana debido a los usos directos e indirectos que se hace de ellas. Para el manejo adecuado de estos ecosistemas, basado en información, se requieren análisis de datos robustos que permitan reconocer la funcionalidad de las LC y mejorar el entendimiento de los ciclos biogeoquímicos globales de elementos clave como: carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P). Éste, es uno de los principales objetivos del Proyecto *Land Ocean Interaction Coastal Zone* (LOICZ) del Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP, por sus siglas en inglés), al proveer herramientas que faciliten estimar los flujos de los principales elementos a través de balances biogeoquímicos en la zona costera (Gordon *et al.*, 1996). Si bien, un total de 22 cuerpos de agua en México han sido estudiados previamente bajo este enfoque (Smith *et al.*, 1997; Smith *et al.*, 1999.), existe la necesidad de mejorar el entendimiento del balance de carbono costero basado en la síntesis de información sobre distintas características del agua relacionadas con los ciclos biogeoquímicos (*i.e.* Hernández-Ayón *et al.*, 2004; Contreras-Espinoza *et al.*, 2005; Valenzuela-Siu *et al.*, 2007; Mendoza-Mojica *et al.*, 2013).

A partir de este análisis y síntesis de la información se podrá identificar, entre otras cosas, el estado auto o heterótrofo de las LC y el tiempo de residencia del agua; esta característica es importante como indicador del potencial de acumulación/retención de materia orgánica y contaminantes que se originan en la cuenca y que se depositan en las lagunas costeras. Por otra parte, la base de datos generada servirá como herramienta para identificar las regiones que requieren más atención en estos temas de investigación.

El objetivo de este trabajo fue generar una base de datos de variables climáticas, físicas y químicas, de las distintas lagunas costeras para las cuales existe información publicada, para usarse en aplicaciones del modelo biogeoquímico de LOICZ.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisó información bibliográfica respecto a lagunas costeras de México. De cada estudio se extrajo información geográfica, climática y fisicoquímica del cuerpo de agua y época de muestreo. La información que fue objeto de búsqueda en los estudios revisados consistió en:

### Información geográfica de lagunas costeras

Esta información fue corroborada en un sistema de información geográfica, para asegurar que pertenezca a la laguna costera a la cual hace referencia y, de ser necesario, la coordenada fue modificada para mejorar la precisión.

### Dimensiones físicas y volumen de los distintos cuerpos de agua

En algunos estudios únicamente se reportó el área total del cuerpo de agua, por lo que fue necesario revisar más de un trabajo por cuerpo de agua hasta encontrar datos de profundidad y área.

### Datos climáticos

Los datos recabados fueron: precipitación, evaporación, evapotranspiración, etc. Los datos climáticos fueron tomados directamente de los estudios que especificaban esta información. Sin embargo, en muchos casos (aproximadamente el 50%), fue necesario obtener información climática por estado publicada a partir de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se mantuvo estricto cuidado en convertir las unidades de las variables climáticas reportadas en las bases de datos nacionales (anuales) a unidades compatibles con el modelo de LOICZ.

### Variables físicas y químicas y nutrientes de los cuerpos de agua costeros, agua dulce (subterránea o superficial) y el mar adyacente

Para reunir esta información se revisó la literatura publicada y depositada en bases de datos. Se hizo uso

de la literatura compilada por el personal de la UAM-Iztapalapa (Figura 1). En algunos casos fue necesario consultar trabajos de temáticas diversas, por ejemplo, investigaciones enfocadas en el estudio de organismos vertebrados e invertebrados, que reportaran variables ambientales de interés para la síntesis. Otro aspecto relevante en esta sección fue la estandarización de las

unidades de las variables. En caso de ser reportadas en  $\mu\text{M}$  o  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , se convirtieron a milimoles por metro cúbico ( $\text{mmol m}^{-3}$ ) para homogeneizar unidades con el modelo de LOICZ. Otras conversiones a las unidades fueron de tiempo, área (*i.e.*  $\text{km}^2$  a  $\text{m}^2$ ) y de volumen (*i.e.*  $\text{mm}$  a  $\text{m}^3$  o de litros a  $\text{m}^3$ ).

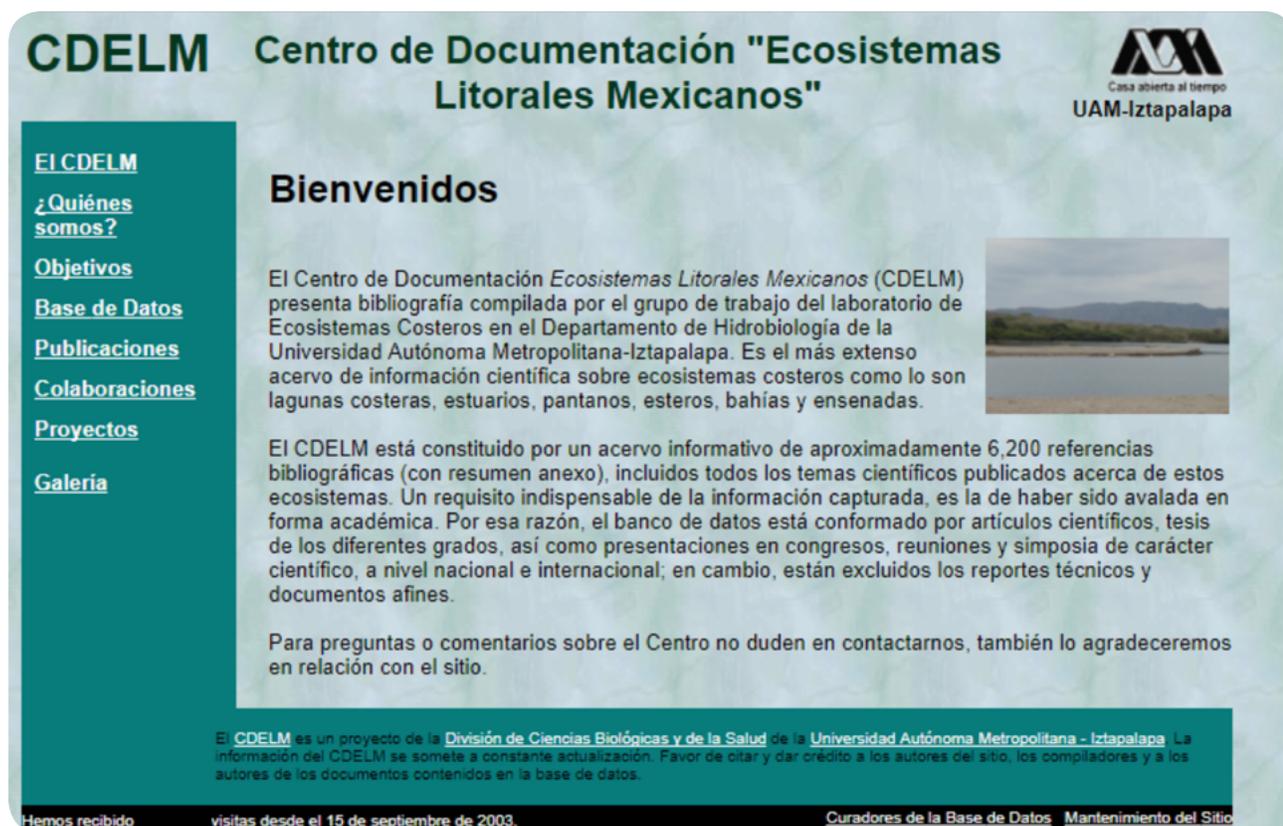


Figura 1. Portal de la UAM-Iztapalapa; ejemplo de una de las fuentes revisadas de las cuales se obtuvo información de diferentes variables de interés para la síntesis de lagunas costeras de México.

### Información sobre temporada/mes y año del muestreo

En muchos casos esta información ayudó a la búsqueda de variables climáticas del mismo año o época del año en que se muestreó el cuerpo de agua.

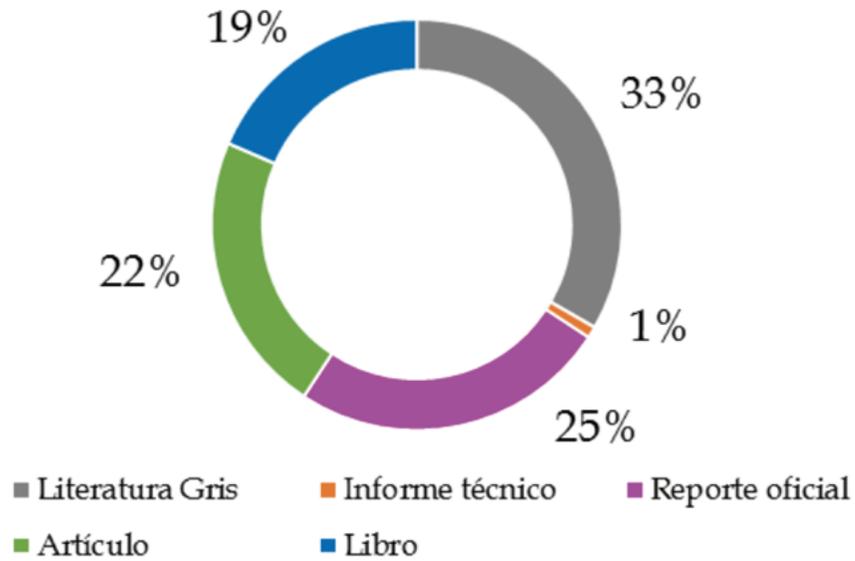
### Información de los flujos de los ríos que descargan en los cuerpos de agua

Esta información se obtuvo de la revisión de literatura sobre descargas o escorrentías pluviales, la cual es muy escasa; o bien, de consultar bases de datos nacionales. Sin embargo, mucha información de los ríos o descargas subterráneas se encontró agrupada y/o promediada por cuencas (*i.e.* CONAGUA, 2016).

## RESULTADOS

### Información recopilada y estructura de la base de datos

Se obtuvo información de un total de 67 cuerpos de agua en México. Los años de los muestreos en los estudios fueron de 1978 a 2014. La fuente de información de la que se obtuvo la mayor cantidad de datos proviene de literatura gris, mientras que en los libros se obtuvo la menor información sobre cuerpos de agua en México (Figura 2).



**Fuente de los datos**

Figura 2. Porcentaje de información que aportó cada tipo de fuente revisada en este trabajo.

Partiendo de la regionalización del litoral costero mexicano de Lankford (1977) que se desglosa en el Cuadro 1, se muestra la Figura 3 que indica la

distribución de datos de las lagunas costeras, a partir de la información disponible.

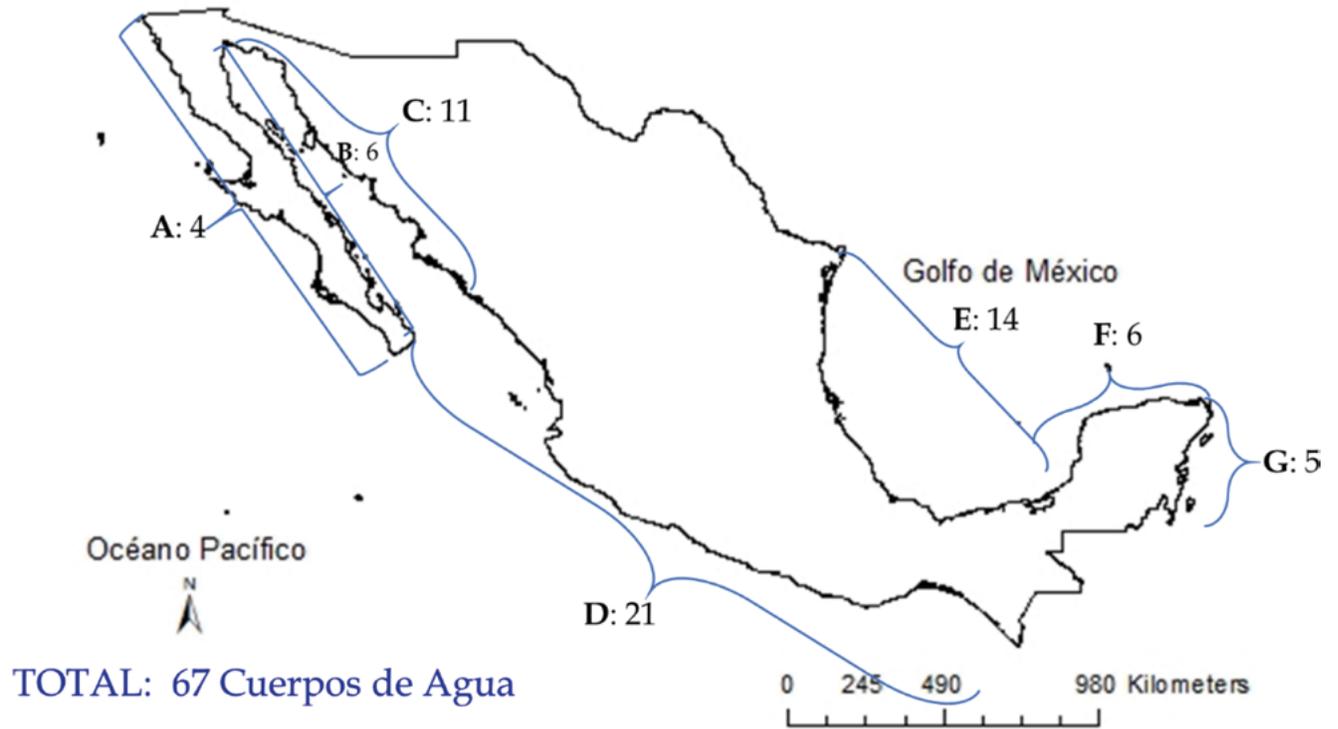


Figura 3. Distribución de datos de lagunas costeras por regiones geográficas del litoral de México.

El Cuadro 1 describe los campos de la base de datos generada en este trabajo, mostrando las variables, sus atributos y sus unidades.

**Cuadro 1. Descripción de la base de datos de lagunas costeras**

<b>Campo</b>	<b>Descripción del campo</b>	<b>Atributo</b>	<b>Unidades</b>
ID_NUM	Identificador.	Numérico	NA
REGION	Región geográfica.	Categorico: A= Pacífico Norte; B= Pacífico Centro; C=Golfo de California; D=Pacífico Sur; E=Golfo de México; F=Península de Yucatán; G=Caribe (de acuerdo con Lankford, 1977)	NA
TIPO	Tipo de laguna costera.	Categorico: 1=Bahía; 2=Estero; 3= Estuario; 4=Estuario subterráneo; 5= Laguna costera; 6= otro	NA
ESTADO	Entidad federativa donde se realizó el muestreo.	Nombre oficial conforme aparece en INEGI	NA
LOC	Nombre oficial (de acuerdo con INEGI) del poblado costero más cercano a donde se realizó el muestreo.	Categorico	NA
NOM_LOC	Nombre popular de la localidad.	Categorico	NA
SITIO	Nombre de la laguna costera. En caso de existir un área específica donde se realizó el muestreo (ejemplo: Chiquila, punta mosquito).	Categorico	NA
ZONA	Zonificación que se presenta de acuerdo con el estudio en cuestión. La zonificación puede deberse a salinidad, nivel de impacto, profundidad, distancia a la costa, etc. O indicar si los valores subsecuentes harán referencia a las concentraciones/características generales o totales de la LC.	Categorico	NA

<b>Campo</b>	<b>Descripción del campo</b>	<b>Atributo</b>	<b>Unidades</b>
LATITUD	Ubicación del cuerpo de agua con respecto a los meridianos.	Numérico	Grados decimales
LONGITUD	Ubicación del cuerpo de agua con respecto a los paralelos.	Numérico	Grados decimales
AREA	Extensión general que hace referencia a todo y exclusivamente al cuerpo de agua.	Numérico	10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
AN_LC	Ancho promedio de cada lóbulo, o en la zona específica donde se muestreo.	Numérico	m
LR_LC	Largo promedio o longitud del segmento en la zona en la que se muestreó.	Numérico	m
PROF_LC	Profundidad promedio en la zona/ lóbulo muestreada.	Numérico	m
VOL_LAG	Volumen de agua total de la laguna.	Numérico	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
ESCO	Escorrentía. Lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo.	Numérico	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
T_RES	Tiempo de residencia del agua en la zona muestreada (por ejemplo, en la zona más alejada a la conexión con el mar el T_RES puede ser mayor que en zona media o boca. Tiempo en el cual se completa el recambio de agua en la laguna costera, con respecto al cuerpo de agua adyacente. Ciclo de ingreso, permanencia y egreso del agua.	Categorico: 1= si el valor es producto de medición directa; 2= si fue estimado	d

Continuación Cuadro 1...

Campo	Descripción del campo	Atributo	Unidades
F_AGD	Fuente de agua dulce.	Categorico: 1= Río; 2=Subterráneo; 3=ambos	NA
FLU_AGD	Flujo del agua dulce sumatoria si son varios ríos.	Numérico	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
INF	Infiltración de agua. La velocidad máxima de penetración de agua en el suelo.	Numérico	Mm
CLIMA	Conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por los registros de, al menos, 30 años de temperatura, cantidad y frecuencia de lluvias, humedad, vientos, entre otros. Para México se utiliza la clasificación de Köpen modificada por García (1988).	Categorico	NA
PP_ATM	Precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. La información se presenta en promedio.	Numérico	mm d <sup>-1</sup>
EVAP	Evaporación, cambios de fase del agua, de un estado líquido a uno gaseoso por absorción de calor.	Numérico	mm d <sup>-1</sup>
ET	Evapotranspiración. Cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera por la consideración conjunta de dos procesos: evaporación del suelo y transpiración de la vegetación.	Numérico	mm d <sup>-1</sup>
SAL_AGD	Salinidad, contenido de sales minerales disueltas en la fuente de agua dulce. Considera la salinidad del promedio de los afluentes.	Numérico	Unidades prácticas de salinidad (psu) Adimensional

Campo	Descripción del campo	Atributo	Unidades
OD_AGD	Concentración de oxígeno disuelto en la fuente de agua dulce.	Numérico	mg L <sup>-1</sup>
pH_AGD	Concentración de iones hidrógeno [H] <sup>+</sup> presentes en la fuente de agua dulce. Escala NBS (Pérez y Praga, 1987).	Numérico	Adimensional
CLA_AGD	Pigmento fotosintético característico de plantas verdes, de fácil detección debido a su comportamiento frente a la luz. La concentración de clorofila-a en una muestra de agua permite una estimación de la concentración de fitoplancton e indirectamente, de la actividad biológica.	Categorico: 1=fluorescencia; 2= extracción con acetona y espectrometría; 3= sensor; 4= otro.	µg L <sup>-1</sup>
TR_AGD	Transparencia de Secchi en la fuente de agua dulce.	Numérico	m
TUR_AGD	Turbidez. Medida del grado de transparencia que pierde la fuente de agua dulce por la presencia de partículas en suspensión medido con turbidímetro o nefelómetro.	Numérico	Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)
NO <sub>2</sub> _AGD	Concentración de nitrito en la fuente de agua dulce.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub> _AGD	Concentración de nitrato en la fuente de agua dulce.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>
NH <sub>4</sub> _AGD	Concentración de amonio en la fuente de agua dulce.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>
NID_AGD	Concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en la fuente de agua dulce.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>

Continuación Cuadro 1...

Campo	Descripción del campo	Atributo	Unidades
PID_AGD	Concentración de fósforo inorgánico disuelto en la fuente de agua dulce.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
NT_AGD	Concentración de nitrógeno total en la fuente de agua dulce.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
SIRS_AGD	Concentración de silicato en la fuente de agua dulce.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
SST_AGD mg L <sup>-1</sup>	Sólidos suspendidos totales. Cantidad de sólidos presentes, en suspensión en la fuente de agua dulce y que pueden ser separados por medios mecánicos.	Numérico	mg L <sup>-1</sup>
SAL_LC	Salinidad. Contenido de sales minerales disueltas en la laguna costera. Considera la salinidad del promedio de los afluentes.	Numérico	Unidades prácticas de salinidad (psu) Adimensional
OD_LC	Concentración de oxígeno disuelto en la laguna costera.	Numérico	mg L <sup>-1</sup>
pH_LC	El pH indica la concentración de iones hidrógeno [H] <sup>+</sup> presentes en la laguna costera en escala NBS (Pérez y Praga, 1987).	Numérico	Adimensional
CLA_LC	Pigmento fotosintético característico de plantas verdes de fácil detección debido a su comportamiento frente a la luz. La concentración de clorofila-a en la laguna costera se utiliza como <i>proxy</i> de la concentración de fitoplancton e indirectamente, de la actividad biológica.	Categorico: 1=fluorescencia; 2= extracción con acetona y espectrofotometría; 3= sensor; 4= otro	µg L <sup>-1</sup>
TR_LC	Transparencia de Secchi en la laguna costera.	Numérico	m

<b>Campo</b>	<b>Descripción del campo</b>	<b>Atributo</b>	<b>Unidades</b>
TUR_LC	Turbidez. Medida del grado de transparencia que pierde la laguna costera por la presencia de partículas en suspensión medido con turbidímetro o nefelómetro.	Numérico	Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)
NO <sub>2</sub> _LC	Concentración de nitrito en la laguna costera.	Categorico	mmol L <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub> _LC	Concentración de nitrato en la laguna costera.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>
NH <sub>4</sub> _LC	Concentración de amonio en la laguna costera.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>
NID_LC	Concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en la laguna costera.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
PID_LC	Concentración de fósforo inorgánico disuelto en la laguna costera.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
NT_LC	Concentración de nitrógeno total en la laguna costera.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
SIRS_LC	Concentración de silicato en la laguna costera.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
SST_LC mg L <sup>-1</sup>	Sólidos suspendidos totales. Cantidad de sólidos presentes, en suspensión en la laguna costera y que pueden ser separados por medios mecánicos.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
SAL_MC	Salinidad. Contenido de sales minerales en el mar costero. Considera la salinidad del promedio de los afluentes.	Numérico	Unidades prácticas de salinidad (psu) Adimensional

Continuación Cuadro 1...

Campo	Descripción del campo	Atributo	Unidades
OD_MC	Concentración de oxígeno disuelto en el mar costero.	Numérico	mg L <sup>-1</sup>
EM_CO <sub>2</sub> _LC	Emisiones de dióxido de carbono	Numérico	mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
EM_CH <sub>4</sub> _LC	Emisiones de metano	Numérico	mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
pH_MC	Concentración de iones hidrógeno [H] <sup>+</sup> presentes en el mar costero, en escala NBS (Pérez y Praga, 1987).	Numérico	Adimensional
CLA_MC	Pigmento fotosintético característico de plantas verdes de fácil detección debido a su comportamiento frente a la luz. La concentración de clorofila-a en el mar costero se utiliza como <i>proxy</i> de la concentración de fitoplancton e indirectamente, de la actividad biológica.	Categorico: 1=fluorescencia; 2= extracción con acetona y espectrofotometría; 3= sensor; 4= otro	µg L <sup>-1</sup>
TR_MC	Transparencia de Secchi en el mar costero.	Numérico	m
TUR_MC	Turbidez. Medida del grado de transparencia que pierde el mar costero por la presencia de partículas en suspensión medido con turbidímetro o nefelómetro.	Numérico	Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)
NO <sub>2</sub> _MC	Concentración de nitrito en el mar costero. Indicador de contaminación antropogénica por descomposición de materia orgánica.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub> _MC	Concentración de nitrato en el mar costero.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>
NH <sub>4</sub> _MC	Concentración de amonio en el mar costero.	Categorico: 1= espectrofotometría; 2= kit; 3= sensor; 4= autoanalizador; 5= otro	mmol L <sup>-1</sup>

<b>Campo</b>	<b>Descripción del campo</b>	<b>Atributo</b>	<b>Unidades</b>
NID_MC	Concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en el mar costero.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
PID_MC	Concentración de fósforo inorgánico disuelto en el mar costero.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
NT_MC	Concentración de nitrógeno total en el mar costero.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
SIRS_MC	Concentración de silicato en el mar costero.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
SST_MC mg L <sup>-1</sup>	Sólidos suspendidos totales: cantidad de sólidos presentes en suspensión en el mar costero y que pueden ser separados por medios mecánicos.	Numérico	mmol L <sup>-1</sup>
EM_CO <sub>2</sub> _MC	Emisiones de dióxido de carbono el mar costero.	Numérico	mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
EM_CH <sub>4</sub> _MC	Emisiones de metano en el mar costero.	Numérico	mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
REF	Referencia de la publicación en formato APA.	Texto	NA
MES	Mes o estación climática en que fueron tomados los datos.	Texto	NA
AÑO	Año de los datos.	Texto	NA
FUENTE	Tipo de fuente de donde se extraen los datos, (tesis, base de datos, informe técnico, artículo).	Texto	NA

### Análisis de la información disponible

La información disponible de las principales variables de interés varía por laguna costera y región; el Cuadro 2 muestra los porcentajes de lagunas costeras

con información de flujos de agua al sistema; el Cuadro 3 los porcentajes de información de variables físicas y químicas de las lagunas y mar costero y el Cuadro 4 los porcentajes de información de variables físicas y químicas en agua dulce.

**Cuadro 2. Porcentajes de información de flujos de agua al sistema.**

Región	No. de lagunas	Volumen (%)	Precipitación (%)	Flujo de agua dulce (%)	Infiltración (%)	Escorrentía (%)	Evapotranspiración (%)
A	4	75	100	100	0	100	100
B	6	83	100	100	0	100	100
C	11	100	100	100	0	100	100
D	21	90.5	100	57	14	100	100
E	14	100	100	71.4	7	100	100
F	6	100	100	100	16	100	100
G	5	100	100	100	0	100	100

**Cuadro 3. Porcentajes de información de variables físicas y químicas, nutrientes y clorofila a, en agua de mar en lagunas y mar costero.**

Región	No. de lagunas	Salinidad (%)	OD (%)	pH (%)	NID (%)	PID (%)	SIRS (%)	Cl-a (%)
A	4	100	50	50	50	50	0	50
B	6	83	83.3	83.3	83.3	83.3	16.6	83.3
C	11	100	91	36.3	72.7	63.6	0	82
D	21	100	95.2	66.6	66.6	66.6	4.8	62
E	14	100	85.7	64.3	78.5	71.4	14.3	100
F	6	100	100	83.3	100	100	100	100
G	5	100	40	40	80	80	80	100

OD = Oxígeno disuelto, NID = Nitrógeno inorgánico disuelto, PID = Fósforo inorgánico disuelto, SIRS = Silicato y Cl-a = clorofila a.

**Cuadro 4. Porcentajes de información de variables físicas y químicas, nutrientes y clorofila a, en agua dulce**

Región	No. lagunas costeras (con descarga de AGD)	Salinidad (%)	OD (%)	pH (%)	NID (%)	PID (%)	SIRS (%)	Cl-a (%)
A	4(0)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B	6(0)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
C	11(3)	100	0	0	33	66	0	0
D	21(15)	100	6.6	0	20	33.3	13.3	0
E	14(10)	100	30	30	10	40	0	0
F	6(6)	100	0	0	67	67	50	0
G	5(5)	100	0	0	20	20	0	0

AGD = Agua dulce, OD = Oxígeno disuelto, NID = Nitrógeno inorgánico disuelto, PID = Fósforo inorgánico disuelto, SIRS = Silicato y Cl-a = clorofila a.

## DISCUSIÓN

Las principales dificultades que se encontraron durante las diferentes etapas del proyecto: búsqueda bibliográfica, conformación de bases de datos y control de calidad, fueron las siguientes:

Algunas LC pueden ser denominadas de diferente forma, por lo que fue necesario corroborar la ubicación de cada LC y el nombre.

En muchos casos, las coordenadas se determinaron y corrigieron para mejorar la precisión y lograr una mejor ubicación de las LC.

Definición de la fuente de agua dulce: en muchos trabajos no se toma en cuenta esta información al estudiar el cuerpo de agua por tanto es necesario verificar en Google EarthMR si el cuerpo de agua presenta ríos y asumir valores de salinidad y concentración de nutrientes de las fuentes a partir de otras estimaciones.

Debido a la dispersión de las variables estudiadas en los trabajos que existen en estos ambientes, fue necesario revisar más de un estudio por LC para obtener la información necesaria para llevar a cabo los cálculos de acuerdo con el modelo de LOICZ.

La obtención de medidas morfométricas de las LC como la profundidad, que no se reporta en muchos de los estudios. En algunos casos, la carencia de estas

variables imposibilitó conocer el volumen de estos sistemas y calcular los balances.

Muchas variables y coordenadas son reportadas en unidades diferentes a las que se utilizan en el modelo de LOICZ, por lo que fue necesario convertir/transformar los datos a las unidades requeridas.

Dificultad en la caracterización de variables físicas y químicas y del flujo de agua en los ríos que son fuente de agua dulce de las LC. La literatura publicada sobre variables ambientales de interés para la síntesis en ríos superficiales y subterráneos, es escasa y poco accesible. Los monitoreos publicados por la CONAGUA no reportan la mayoría de las variables que se incluyen en la base; a partir del 2013 se dejó de reportar en las Síntesis Nacionales las concentraciones de nutrientes tales como el nitrógeno y fósforo en agua.

Dificultad en la obtención de variables físicas y químicas en el mar costero; lo anterior imposibilita la obtención del balance de nutrientes en las LC; sin embargo, se podrían usar las estimaciones de sitios cercanos que presenten características similares al sistema costero de interés.

Debido a que en algunos casos solo fue posible calcular el balance de un solo nutriente (o ninguno), el metabolismo neto del ecosistema no se pudo determinar en las LC.

## Lecciones aprendidas

La literatura publicada sobre variables físicas y químicas y nutrientes en ríos superficiales y subterráneos es escasa, y poco accesible. Los monitoreos publicados por la CONAGUA no reportan la mayoría de las variables que se incluyen en la base.

Fue necesario verificar cualquier coordenada en algún SIG (Sistema de Información Geográfica) antes de ser ingresado a la base, es posible que las coordenadas reportadas estén fuera de la laguna costera.

Se requiere verificar las unidades de cada variable, ya que puede ser necesaria la transformación de unidades.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se recopiló información necesaria para realizar el balance de agua y sal en mayor número de lagunas costeras que en lo reportado en estudios previos con objetivos similares a los de éste (22).

Los resultados en esta síntesis ayudarán a una mejor comprensión de los procesos biogeoquímicos que actúan en los cuerpos de agua en México e identificar necesidades de investigación y, con ello, orientar futuros estudios de las interacciones tierra-océano en la zona costera.

En muchos casos, debido a la heterogeneidad que presentan los trabajos para lagunas costeras en cuanto a preguntas de investigación, diseño experimental, variables reportadas, diferencias de las escalas espaciales y temporales utilizadas, entre otros, las estimaciones de los balances de agua, sal y variables no-conservativas, no consiguen reflejar los patrones de variación existentes en estos ambientes.

Las actividades pendientes para realizar pueden ser resumidas en los siguientes puntos:

Completar información sobre las dimensiones de las lagunas costeras, específicamente, de variables como la profundidad de estos sistemas costeros, donde no se cuenta con información para poder obtener el volumen del cuerpo de agua.

Revisar más literatura sobre calidad de agua en las descargas de ríos; se cuenta con poca información de este tema en la base de datos debido a que la mayoría de los estudios y reportes oficiales revisados no reporta las variables que se solicita en la base.

Revisión de literatura y captura de datos de variables físicas y químicas y nutrientes en el mar adyacente a los cuerpos de agua.

Completar información de medidas morfométricas y variables físicas y químicas de los cuerpos de agua, para incrementar el número de estimaciones completas de balance de agua, nutrientes y metabolismo.

Es interesante observar que, si bien los grupos académicos, instituciones de gobierno y organizaciones no gubernamentales, reconocen la importancia de la conectividad en los ecosistemas costeros, generalmente esta característica no se evaluó en la literatura revisada. Una de las vías en las que se da la conectividad entre los ecosistemas costeros, es a través de la hidrología. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones revisadas no incluyen en sus estudios las características del agua de fuentes, tanto terrestres como marinas, que tengan influencia en las características estructurales y el funcionamiento de las lagunas costeras de México.

## BASE DE DATOS

En seguimiento a la política del Programa Mexicano del Carbono, de libre acceso a las bases de datos asociadas al ciclo del carbono y sus interacciones, así como en soporte de las síntesis nacionales del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres y acuáticos, la base de datos de este trabajo está disponible en [http://pmcarbono.org/pmc/bases\\_datos/](http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/).

## AGRADECIMIENTOS

Esta compilación es resultado de muchos estudios realizado por un sin número de investigadores, a todos ellos se agradece y reconoce su esfuerzo y dedicación. El trabajo de recopilación, análisis y síntesis ha sido gracias al apoyo del Programa Mexicano del Carbono a través de la beca a la M. en C. Mónica Pech Cárdenas, y a los proyectos de CONABIO 2356-T, y CONACYT G34709.

## LITERATURA CONSULTADA

- Castañeda-López, O. y F. Contreras-Espinosa. 2003. Ecosistemas costeros mexicanos - una actualización. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México. <http://investigacion.izt.uam.mx/ocl/mapa.html> (Consulta: Enero 14, 2018).
- CONAGUA. 2016. Estadísticas del Agua en México. Edición 2016. Comisión Nacional del Agua y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, D. F., México.
- Contreras-Espinosa, F., N. Rivera y R. Segura. 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del Golfo de México. *Hidrobiologica* 15:299-310.

- de la Lanza-Espino, G., M. Ortiz-Pérez y J. L. Carbajal-Pérez. 2013. Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas* 81: 33-50.
- García, E. 1988. Climas (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). D.F. México.
- Gordon, Jr., D. C., P. R. Boudreau, K. H. Mann, J.-E. Ong, W. L. Silvert, S. V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff and T. Yanagi, 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. LOICZ Reports and Studies No. 5. LOICZ Core Project, Netherlands Institute for Sea Research. Texel, The Netherlands. 96 p.
- Hernández-Ayón, J. M., M. S. Galindo-Bect, V. Camacho-Ibar, S. García-Esquivel, M.A. González-Gómez, Marco and F. Ley-Lou. 2004. Nutrient dynamics in the west arm of San Quintín Bay, Baja California, Mexico, during and after El Niño 1997/1998. *Ciencias Marinas* 30:119-132.
- Lankford, R. 1977. Coastal lagoons of Mexico. *In*: Wiley, M. (ed.). *Their Origin and Classification Estuarine Processes*, Academic Press Inc. New York. pp. 182-215.
- Mendoza-Mojica, M., A. Arroyo, M. Espinosa., O. Peralta y T. Castro. 2013. Caracterización de dos lagunas costeras del pacífico tropical mexicano en relación con el contenido de carbono y la captura y emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29:145-154.
- Pérez, F. and F. Fraga. 1987. The pH measurements in seawater on the NBS scale. *Marine Chemistry* 21:315-327.
- Smith, S. V., J. I. Marshall Crossland and C. J. Crossland. 1999. Mexican and Central American Coastal Lagoon Systems: Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes (Regional Workshop II). LOICZ Reports and Studies No. 13. LOICZ International Project Office, Netherlands Institute for Sea Research. Texel. The Netherlands. 115 p.
- Smith, S. V., S. Ibarra-Obando, P. R. Boudreau and V. F. Camacho-Ibar. 1997. Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons, LOICZ Reports and Studies No. 10. LOICZ Core Project, Netherlands Institute for Sea Research. Texel, The Netherlands. 84 p.
- Valenzuela-Siu, M., J. Arreola., S. Sánchez y G. Padilla. 2007. Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la laguna costera Lobos, México. *Hidrobiologica* 17:193-202.