




<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v72i1.56458>

## Integridad biótica de la Laguna del Mar Muerto, México, basada en peces

Luis Edson Monzón Hernández<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0009-0001-0612-1255>  
Miguel Ángel Peralta Meixueiro<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-2100-7821>  
José Manuel Aguilar Ballinas<sup>2</sup>;  <https://orcid.org/0009-0006-5653-7271>  
Gustavo Rivera Velázquez<sup>2</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-1076-1466>  
María Eugenia Vega Cendejas<sup>3</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-5462-069X>

1. Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Libramiento Norte Poniente 1150, Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29039; [biol.edsonmonz@gmail.com](mailto:biol.edsonmonz@gmail.com), [miguel.peralta@unicach.mx](mailto:miguel.peralta@unicach.mx)
2. Laboratorio de Acuicultura y Evaluación Pesquera, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Libramiento Norte Poniente 1150, col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29039; [josem.aguilar@unicach.mx](mailto:josem.aguilar@unicach.mx), [gustavo.rivera@unicach.mx](mailto:gustavo.rivera@unicach.mx)
3. Laboratorio de Taxonomía y Ecología de Peces, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida Km. 6 Antigua carretera a Progreso. Apdo. Postal 73, Cordemex, Mérida, Yuc., México CP. 97310; [maruvega@cinvestav.mx](mailto:maruvega@cinvestav.mx)

Recibido 05-IX-2023. Corregido 08-XI-2023. Aceptado 19-VI-2024.

### ABSTRACT

#### Biotic integrity of the Mar Muerto lagoon, Mexico, based on fish

**Introduction:** The Mar Muerto lagoon is an ecosystem characterized by high productivity upon which various inhabiting organisms depend. Additionally, it is a system susceptible to environmental impacts. Consequently, indices have been developed to determine the degree of disturbance caused by natural and/or anthropogenic factors.

**Objective:** To assess the degree of disturbance in the Mar Muerto lagoon using a Biotic Integrity Index (BII) based on ichthyofauna.

**Methods:** From December 2019 to March 2021, 12 sampling stations were established in the lagoon. The Biotic Integrity Index was developed by collecting data on hydrological variables (salinity, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, suspended solids, temperature, nitrites, nitrates, phosphates, and transparency) and classifying fish species based on their composition and richness. This was followed by a Water and Habitat Quality Index (WHQI) derived from the characterization and classification of sampling stations based on physicochemical variables. The correlation of the two indices allowed for the evaluation of the effectiveness of the BII.

**Results:** 65 species were reported for the lagoon, with *Lile gracilis*, *Oligoplites altus*, *Eucinostomus currani*, and *Gerres simillimus* being the most frequently recorded. Only station 10 exhibited poor biotic integrity (BII = 26), while the rest displayed regular biotic integrity (BII = 30 – 44), with station nine presenting the highest calculated value (BII = 42). The assessment of the lagoon's BII demonstrated an average biotic integrity considered "regular."

**Conclusion:** Through this study, the functionality of the modified BII for the Mar Muerto lagoon was verified, allowing for the evaluation of the present conservation status and comparison with previous studies.

**Key words:** biotic integrity index; environmental variables; matrix analysis; fishes; hydrological variables.



## RESUMEN

**Introducción:** La laguna Mar Muerto es un ecosistema caracterizado por una gran productividad, de la cual dependen diversos organismos que la habitan; también es un sistema susceptible a impactos ambientales. Por lo anterior, se han desarrollado índices que permiten conocer el grado de alteración por causas naturales y/o antropogénicas.

**Objetivo:** Evaluar el grado de perturbación de la laguna Mar Muerto, mediante un índice de integridad biótica (IBI) basado en la ictiofauna.

**Métodos:** De diciembre 2019 a marzo 2021, se establecieron 12 estaciones de muestreo en la laguna. La elaboración del índice de integridad biótica fue a partir de la recopilación de datos de las variables hidrológicas (salinidad, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, pH, OD, T, CE, transparencia y SDT) y la clasificación de las especies ícticas según su composición y riqueza; seguido de un índice de calidad de agua y hábitat (ICAH), elaborado a partir de la caracterización y clasificación de las estaciones de muestreo en función de variables fisicoquímicas. La correlación de los dos índices permitió evaluar la efectividad del IBI.

**Resultados:** 65 especies fueron reportadas para la laguna, de las cuales *Lile gracilis*, *Oligoplites altus*, *Eucinostomus currani* y *Gerres simillimus* se registraron con mayor frecuencia. Sólo la estación 10 presentó una integridad biótica pobre (IBI = 26), el resto presentó un IBI regular (IBI = 30 – 44), siendo la estación nueve la que presentó el valor máximo calculado (IBI = 42). La valoración del IBI de la laguna demostró que ésta presenta una integridad biótica promedio considerada “regular”.

**Conclusión:** A través de este trabajo, se comprobó la funcionalidad del IBI modificado para la laguna Mar Muerto, permitiendo evaluar el grado de conservación presente y compararlo con trabajos previos.

**Palabras clave:** índice de integridad biótica; variables ambientales; análisis de matrices; peces; variables hidrológicas.

## INTRODUCCIÓN

El creciente deterioro de los ecosistemas acuáticos causado por la actividad pesquera, contaminación, azolvamiento, pérdida de la vegetación ribereña, entre otros (Bartram & Ballance, 1996), ha venido demandando el desarrollo de métodos y sistemas, que permitan conocer su grado de perturbación debido a factores naturales y/o antropogénicas. Entre los conceptos y aproximaciones metodológicas más recientes se encuentra el Índice de Integridad Biótica (IBI, por sus siglas en inglés) (Pérez-Munguía et al., 2007). Siendo éste una medida de la integridad biológica del ecosistema definida como la capacidad que tiene un sistema acuático para soportar y mantener una comunidad de organismos adaptada, integrada y equilibrada, teniendo una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a la del hábitat natural de la región, sin alteración (Karr, 2006).

Por lo tanto, los IBI son indicadores complementarios a los métodos físicos y químicos para estimar la salud de los ecosistemas, aunque un inconveniente puede ser el hecho

de que deben adaptarse específicamente para casi todas las cuencas, debido a las diferencias naturales en biogeografía y ecología. Estos índices, desarrollados originalmente para arroyos, también se han aplicado a otros entornos acuáticos, como son los estuarios (Fisch et al., 2016; Pacheco-Díaz et al., 2017).

El sistema lagunar Mar Muerto se caracteriza por tener una gran productividad, lo que permite mantener una fuerte actividad pesquera por parte de las poblaciones aledañas, y a su vez deriva en un fuerte impacto tanto en las poblaciones de crustáceos y peces como en la misma calidad del agua. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo el empleo de herramientas metodológicas con las cuales se pueda evaluar el grado de perturbación de dicho ecosistema acuático, siendo el IBI la herramienta más adecuada para la evaluación, ya que este evalúa la degradación o recuperación de un ecosistema (Karr, 1981). Siendo así que la hipótesis planteada fue que el impacto causado por las actividades antropogénicas ha alterado la calidad ambiental de la laguna Mar Muerto; por lo que en el presente estudio se evaluó el grado

de perturbación de la laguna a partir de un IBI basado en su ictiofauna.

## MATERIALES Y MÉTODOS

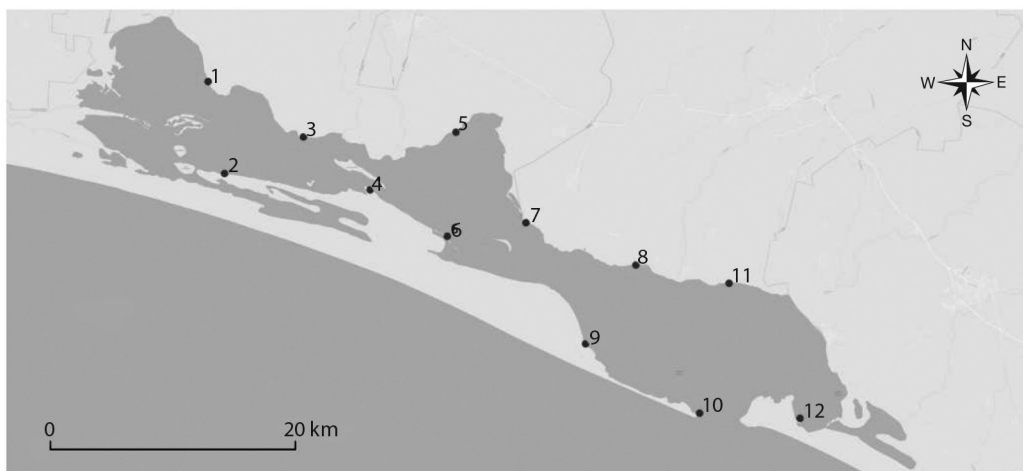
**Área de estudio:** La laguna Mar Muerto se localiza en la franja costera del Istmo de Tehuantepec (Fig. 1), en los estados de Oaxaca y Chiapas ( $16^{\circ}18'-15^{\circ}55'N$  &  $94^{\circ}28'-93^{\circ}48'W$ ) (Mera-Ortiz et al., 2016), con una extensión de 68 310 ha, (Castillo et al., 2009; Contreras, 1988). Cuenta con siete afluentes efímeros que desembocan en la laguna. La zona presenta clima cálido y una precipitación media anual de 1 100 mm. El área presenta cinco tipos de vegetación: selva baja caducifolia, matorral espinoso, asociaciones de manglar, pastos halófilos de dunas costeras y una superficie cubierta por vegetación introducida (Castillo et al., 2009). La principal actividad económica de la población es la pesca comercial de moluscos, crustáceos y peces, tanto de autoconsumo como para su venta local y nacional (Barrera, 1976). Las condiciones de higiene en el lugar son precarias, ya que cerca de la mitad de la población no cuenta con agua potable ni drenaje, el fecalismo al aire libre es una práctica común, y a la orilla de la laguna se acumula la basura (Anzures, 1995).

Se realizaron cinco muestreos en la laguna Mar Muerto, México en el periodo de diciembre

2019–marzo 2021, se establecieron doce estaciones a lo largo de la laguna siguiendo la línea de costa y tomado en cuenta su cercanía con los asentamientos humanos. El muestreo se realizó utilizando atarraya de monofilamento de 6 m de diámetro y de 20 mm de luz de malla, estandarizado a una captura por unidad de esfuerzo de 5 lances por estación en las cercanías de los manglares presentes. También se empleó un chinchorro con copo de 15 m de largo, caída de 3 m y 25 mm de luz de malla, estandarizado a una captura por unidad de esfuerzo de 2 arrastres por estación partiendo desde una profundidad de 1.5 m y terminando en la playa en la mayoría de estos; mientras que, en otros, el arrastre y cierre se realizó por completo en el agua; en ambos casos, la distancia fue de aproximadamente 50 m.

### Descripción de las variables ambientales:

Se obtuvieron muestras de agua por triplicado en cada uno de los puntos de muestreo, de los cuales se registraron los datos de las variables hidrológicas (salinidad (ups), nitratos (mg/l), nitritos (mg/l), fosfato (mg/l), pH, oxígeno disuelto (mg/l), temperatura ( $^{\circ}C$ ), conductividad ( $\mu mho/cm$ ), transparencia (cm) y sólidos disueltos totales (SDT) (mg/l)) mediante el uso del medidor multiparamétrico portátil (Hanna Instruments modelo HI9829). En el caso de la



**Fig. 1.** Ubicación de las estaciones estudiadas en la laguna Mar Muerto, México. Mapa elaborado con QGIS® y HCMGIS®.  
/ **Fig. 1.** Location of the studied stations in the Mar Muerto lagoon, Mexico. Map elaborated with QGIS® and HCMGIS®.



transparencia, esta medida se obtuvo por medio de un disco de Secchi.

**Evaluación del índice de calidad del agua y hábitat (ICAH):** Se utilizaron las variables hidrológicas y las variables ambientales de vegetación riparia, impacto sobre la línea de costa, tipo de fondo, uso de suelo, explotación humana y contaminación por basura (Tabla 1) para su posterior caracterización mediante los índices de calidad del agua y del hábitat.

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) a cada atributo, a partir del resultado obtenido se les proporcionó un peso relativo a los atributos evaluados, los

cuales se utilizaron en ambos índices. En seguida se elaboró el índice de calidad del agua (ICA) mediante el ICA de Brown modificado por la National Foundation Sanitation (NFS), en el cual se emplearon los valores de la salinidad, nitratos, nitritos, fosfato, pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales (SDT), para su valoración por estación. Posteriormente se evaluó la calidad del hábitat (ICH) a partir de un índice modificado para la laguna basado en la propuesta de Torres (2002). Donde las variables ambientales previamente mencionadas fueron valoradas cualitativamente a partir de observaciones sobre la calidad del hábitat de cada estación. La interpretación de

**Tabla 1**

Valoración de los atributos ambientales para la evaluación del ICAH modificado de acuerdo con Torres, 2002. / **Table 1.** Assessment of environmental attributes for the evaluation of the modified ICAH according to Torres, 2002.

Atributo (Aj)	Vi= 0	Vi= 0.25	Vi= 0.50	Vi= 0.75	Vi =1
1. Vegetación riparia	Ausente	Muy escasa, Fragmentada por asentamientos Humanos	Escasa, predominan pastizales	Fragmentada por procesos naturales	Presente
2. Línea de costa	Completa urbanización del área	Poco asentamiento humano	Esporádico asentamiento humano	área estudiada sin asentamiento humano, presente sólo en la periferia de este	Línea de costa sin alteración antropogénica alguna
3. Tipo de fondo	Fondos constantemente alterados por dragados	Fondos menor alteración de dragados, ocasionales o anuales	Completamente fangoso o arenoso.	Fangoso/arenoso	Limo-arcilloso, sin presentar alteraciones ni dragados
4. Uso de suelo	Áreas privadas con fines industriales	Área destinada a la agricultura, ganadería etc.	Área con fines de urbanización, poca actividad antropogénica	Sin actividad antropogénica presente	Área destinada oficialmente para la protección.
5. Explotación humana	Área completamente destinada para la pesca industrializada	Área destinada a la pesca de alto impacto	Áreas destinadas a la pesca de bajo impacto (pesca artesanal)	Actividades recreativas locales (comedores, balnearios, actividades acuáticas etc.	Sin explotación
6. Contaminación por basura	Zona designada como vertedero de basura	Gran cantidad de basura dentro del agua como en la línea de costa	Considerable cantidad de basura en la mayor parte del área estudiada	Esporádica	Ausente

dichos valores fue establecida de acuerdo con Borrero-García (2018) para el ICA y Torres (2002) para el ICH.

El valor del ICAH fue obtenido tras la sumatoria de los atributos del ICA e ICH evaluados por estación, dichos valores fueron posteriormente multiplicados entre sí, al resultado se le adicionó o restó un punto para diferenciar a aquellas estaciones que obtuvieron un mismo valor de ICAH, de acuerdo con las observaciones de campo, siendo esto con base en la propuesta modificada de Schmitter-Soto (2014), esto se llevó a cabo para cada estación a lo largo de todo el periodo de muestreo. El gradiente de calidad ambiental se calificó en una escala de 0-100, por lo que estaciones con mejor calidad ambiental tendrán un mayor valor (Ramírez-Herrejón et al., 2012).

**Elaboración del Índice de Integridad Biótica (IBI):** La elaboración del Índice de Integridad Biótica se llevó a cabo a partir de los atributos de las categorías funcionales de composición y riqueza de especies, composición trófica y la abundancia y condición de los organismos (Tabla 2). Las especies fueron

**Tabla 2**

Atributos considerados para el desarrollo del IBI modificado para la laguna Mar Muerto, México. / **Table 2.** Attributes considered for the development of the modified IBI for the Mar Muerto lagoon, México.

Composición y Riqueza	
Número de especies	
Número de especies tolerantes	
Número de especies sensitivas	
Número de especies nativas	
Número de especies exóticas	
Composición trófica	
Número de especies detritívoras	
Número de especies herbívoras	
Número de especies omnívoras	
Número de especies piscívoras	
Número de especies zoobentívoras	
Número de especies zooplantívoras	
Abundancia y condición de los organismos	
Proporción de individuos con anomalías	

clasificadas según su composición (clasificación taxonómica) y riqueza (número de especies), además se determinó también la frecuencia de cada especie (Tabla 3).

**Tabla 3**

Número de ejemplares colectados por cada estación y su frecuencia (F). / **Table 3.** Number of specimens collected by each station and their frequency (F).

Familia	Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	F (%)
Gymnuriidae	<i>Gymnura marmorata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8.33
Elopidae	<i>Elops affinis</i>	3	2	3	22	11	2	0	1	8	0	0	0	66.66
Albulidae	<i>Albula esuncula</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	16.66
Pristigasteridae	<i>Opisthopterus dovii</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8.33
Engraulidae	<i>Anchovia macrolepidota</i>	250	4	63	2	9	10	25	4	0	4	13	57	91.66
	<i>Anchoa mundeala</i>	0	0	0	0	1	14	1	0	0	0	1	0	33.33
	<i>Anchoa ischana</i>	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	8.33
	<i>Anchoa curta</i>	17	11	0	15	201	186	11	0	1	10	0	0	66.66
Clupeidae	<i>Lile gracilis</i>	57	17	56	105	24	160	34	2	1	27	16	53	100
	<i>Lile stolifera</i>	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8.33
	<i>Opisthonema bulleri</i>	0	0	0	0	0	0	0	447	0	0	30	10	25
Ariidae	<i>Cathorops fuerthii</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8.33
	<i>Cathorops steindachneri</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	42	1	33.33
Batrachoididae	<i>Batrachoides waltersi</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	1	25
Eleotridae	<i>Gobiomorus maculatus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.33
Gobiidae	<i>Gobionellus microdon</i>	1	0	0	1	0	1	1	4	0	0	1	2	50
Mugilidae	<i>Mugil curema</i>	11	8	22	32	92	2	42	3	28	18	0	0	83.33



Familia	Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	F (%)
	<i>Mugil cephalus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	16.66
Cichlidae	<i>Amphilophus macracanthus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8.33
Atherinopsidae	<i>Leuresthes sardina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	8.33
	<i>Atherinella guatemalensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1	125	0	0	25
Hemiramphidae	<i>Hyporhamphus rosae</i>	0	0	1	0	0	0	10	1	0	0	0	0	25
Belonide	<i>Tylosurus pacificus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8.33
Anablepidae	<i>Anableps dowei</i>	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	8.33
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis turrubarensis</i>	0	1	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	25
	<i>Poeciliopsis gracilis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8.33
	<i>Poeciliopsis fasciata</i>	0	1	13	55	1	0	1	12	1	0	3	0	66.66
	<i>Poecilia sphenops</i>	0	1	0	1	4	0	9	0	1	0	0	0	41.66
Nematistiidae	<i>Nematistius pectoralis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	16.66
Carangidae	<i>Oligoplites altus</i>	27	14	9	27	14	7	4	4	6	1	4	7	100
	<i>Oligoplites saurus</i>	8	5	4	5	2	2	2	0	5	0	1	0	75
	<i>Oligoplites refulgens</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	25
	<i>Caranx caninus</i>	8	0	0	3	4	1	2	4	3	0	10	6	75
	<i>Caranx vinctus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	8.33
	<i>Selene brevoorti</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	16.66
Sphyraenidae	<i>Sphyraena ensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8.33
Achiridae	<i>Achirus mazatlanus</i>	0	0	1	1	25	4	1	3	3	0	4	3	75
	<i>Achirus scutum</i>	0	0	0	0	11	1	1	1	0	0	1	0	41.66
Paralichthyidae	<i>Cyclopsetta querna</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8.33
	<i>Cyclopsetta panamensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8.33
	<i>Etropus crossotus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	16.66
Syngnathidae	<i>Pseudophallus starksii</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	8.33
Centropomidae	<i>Centropomus robalito</i>	0	0	0	2	1	0	2	0	3	0	4	13	50
	<i>Centropomus armatus</i>	35	1	2	2	4	3	12	1	1	1	1	40	100
	<i>Centropomus viridis</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	16.66
	<i>Centropomus nigrens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	8.33
Gerreidae	<i>Diapterus peruvianus</i>	946	96	350	1011	476	100	83	145	14	0	48	37	91.66
	<i>Eucinostomus argenteus</i>	0	2	2	0	11	12	3	2	4	16	10	2	83.33
	<i>Eucinostomus currani</i>	3	6	3	23	25	7	7	5	13	188	25	8	100
	<i>Eucinostomus gracilis</i>	0	2	0	1	16	2	0	0	2	10	2	0	58.33
	<i>Eugerres lineatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	8.33
	<i>Gerres simillimus</i>	190	55	74	301	120	32	202	33	22	10	38	6	100
Haemulidae	<i>Genyatremus pacifici</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8.33
	<i>Pomadasys macracanthus</i>	0	0	0	2	0	1	4	3	4	0	4	1	50
	<i>Pomadasys branickii</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	16.66
	<i>Pomadasys bayanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8.33
	<i>Pomadasys panamensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	9	0	2	0	25
	<i>Orthopristis chalceus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8.33
Lutjanidae	<i>Lutjanus argentiventris</i>	0	0	2	0	0	0	0	2	5	3	2	2	50
	<i>Lutjanus colorado</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8.33
Polynemidae	<i>Polydactylus approximans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	8.33
Ephippidae	<i>Chaetodipterus zonatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8.33
Sciaenidae	<i>Micropogonias altipinnis</i>	7	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Tetraodontidae	<i>Sphoeroides annulatus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8.33
Diodontidae	<i>Diodon holocanthus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8.33

De igual forma las especies fueron clasificadas según el atributo de la composición trófica, donde el origen para cada especie se estableció de acuerdo con la literatura sobre su distribución (Castro-Aguirre et al., 1999; Robertson y Allen, 1998; Miller et al., 2005). N = Nativa, E = Exótica.

En el caso de las especies tolerantes, se categorizaron como sensitivas (S), medianamente sensitivas (MS) y tolerantes (T) esto de acuerdo con lo observado en el campo y literatura existente; siguiendo los criterios de

Deegan et al. (1997). Para la descripción de los hábitos alimenticios, las especies fueron clasificadas de acuerdo con Elliott et al. (2007). ZP = Zooplantívoras, especies que se alimentan del zooplancton; DV = detritívoras; HV = herbívoras; OV = Omnívoras, PV = Piscívoras, ZB= Zoobentívoras, especies que se alimentan de invertebrados asociados al bentos. Con respecto al comportamiento reproductivo, las especies fueron agrupadas como ovíparos (O) o vivíparos (V) de acuerdo con la información establecida por Fricke et al. (2019) (Tabla 4).

**Table 4**

Clasificación de la ictiofauna de la laguna Mar Muerto según el indicador biológico. / **Table 4.** Classification of the ichthyofauna of the Mar Muerto lagoon according to the biological indicator.

Familia	Especie	Grupo Trófico	Origen	Tolerancia	Reproducción
Gymnuridae	<i>Gymnura marmorata</i>	ZB	N	M	V
Elopidae	<i>Elops affinis</i>	PV	N	S	O
Albulidae	<i>Albula esuncula</i>	ZB	N	M	V
Pristigasteridae	<i>Opisthopterus dovii</i>	PV	N	T	V
Engraulidae	<i>Anchovia macrolepidota</i>	ZP	N	T	O
	<i>Anchoa mundeala</i>	ZP	N	T	O
	<i>Anchoa ischana</i>	ZP	N	S	O
	<i>Anchoa curta</i>	ZP	N	T	O
Clupeidae	<i>Lile gracilis</i>	ZP	N	T	O
	<i>Lile stolifera</i>	ZP	N	T	O
	<i>Opisthonema bulleri</i>	ZP	N	T	O
Ariidae	<i>Cathorops fuerthii</i>	ZB	N	T	O
	<i>Cathorops steindachneri</i>	ZB	N	T	O
Batrachoididae	<i>Batrachoides waltersi</i>	PV	N	T	O
Eleotridae	<i>Gobiomorus maculatus</i>	PV	N	T	O
	<i>Gobionellus microdon</i>	DV	N	T	O
Mugilidae	<i>Mugil curema</i>	OV	N	T	O
	<i>Mugil cephalus</i>	OV	N	T	O
Cichlidae	<i>Amphilophus macracanthus</i>	OV	N	T	O
Atherinopsidae	<i>Leuresthes sardina</i>	ZP	N	T	O
	<i>Atherinella guatemalensis</i>	ZP	N	T	O
Hemiramphidae	<i>Hyporhamphus rosae</i>	HV	N	T	O
Belonide	<i>Tylosurus pacificus</i>	PV	N	T	O
Anablepidae	<i>Anableps dowei</i>	OV	N	T	V
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis turrubarensis</i>	OV	N	M	V
	<i>Poeciliopsis gracilis</i>	DV	N	T	V
	<i>Poeciliopsis fasciata</i>	DV	N	T	V
	<i>Poecilia sphenops</i>	ZB	N	T	V
Nematistiidae	<i>Nematistius pectoralis</i>	PV	N	M	V
Carangidae	<i>Oligoplites altus</i>	PV	N	T	O
	<i>Oligoplites saurus</i>	PV	N	T	O



Familia	Especie	Grupo Trófico	Origen	Tolerancia	Reproducción
	<i>Oligoplites refulgens</i>	PV	N	T	O
	<i>Caranx caninus</i>	PV	N	M	O
	<i>Caranx vinctus</i>	PV	N	M	O
	<i>Selene brevoorti</i>	PV	N	M	O
Sphyraenidae	<i>Sphyraena ensis</i>	PV	N	T	O
Achiridae	<i>Achirus mazatlanus</i>	PV	N	T	O
	<i>Achirus scutum</i>	ZB	N	T	O
Paralichthyidae	<i>Cyclosetta querna</i>	PV	N	T	O
	<i>Cyclosetta panamensis</i>	PV	N	M	O
	<i>Etropus crossotus</i>	ZB	N	T	O
Syngnathidae	<i>Pseudophallus starksii</i>	ZB	N	M	V
Centropomidae	<i>Centropomus robalito</i>	PV	N	T	O
	<i>Centropomus armatus</i>	PV	N	M	O
	<i>Centropomus viridis</i>	PV	N	M	O
	<i>Centropomus nigrensis</i>	PV	N	M	O
Gerreidae	<i>Diapterus peruvianus</i>	OV	N	T	O
	<i>Eucinostomus argenteus</i>	OV	N	T	O
	<i>Eucinostomus currani</i>	OV	N	T	O
	<i>Eucinostomus gracilis</i>	OV	N	S	O
	<i>Eugerres lineatus</i>	OV	N	M	O
	<i>Gerres simillimus</i>	OV	N	T	O
Haemulidae	<i>Genyatremus pacifici</i>	PV	N	T	O
	<i>Pomadasys macracanthus</i>	ZB	N	M	O
	<i>Pomadasys branickii</i>	ZB	N	T	O
	<i>Pomadasys bayanus</i>	PV	N	M	O
	<i>Pomadasys panamensis</i>	PV	N	M	O
	<i>Orthopristis chalceus</i>	PV	N	M	O
Lutjanidae	<i>Lutjanus argentiventris</i>	PV	N	M	O
	<i>Lutjanus colorado</i>	PV	N	M	O
Polynemidae	<i>Polydactylus approximans</i>	OV	N	M	O
Ephippidae	<i>Chaetodipterus zonatus</i>	OV	N	T	O
Sciaenidae	<i>Micropogonias altipinnis</i>	OV	N	T	O
Tetraodontidae	<i>Spherooides annulatus</i>	ZB	N	M	O
Diodontidae	<i>Diodon holocanthus</i>	ZB	N	T	O

Donde: ZP = Zooplantívoras; DV = detritívoras; HV = herbívoras; OV = Omnívoras; PV = Piscívoras; ZB = Zoobentívoras; N = Nativa; E = Exótica; S = sensitivas; MT = medianamente tolerante T = tolerantes; O = ovíparos; V = vivíparos.

Por último, se contabilizó la proporción de los individuos con anomalías según Álvarez et al. (2019), que hace referencia a las lesiones o posibles deformidades morfológicas presentes en los organismos: por ejemplo, una alteración en el número normal o forma de aletas u ojos, protuberancias presentes en el cuerpo o aletas del pez.

**Análisis de matrices:** De todos los atributos establecidos se seleccionaron doce atributos para la evaluación del IBI de la laguna de acuerdo con lo establecido por Karr (1981), posteriormente la asignación de los valores de cada atributo se basó en la propuesta de Schlegler (2000) utilizada por Ferreira y Cassati (2006) y por Fisch et al. (2016), que consiste en catalogar



como “bueno” al atributo que posea una puntuación superior al 75 % o malo si esta es inferior al 25 %, siendo esto con respecto al valor total del atributo en cuestión. Para este trabajo, se modificó y asignó un valor a los siguientes porcentajes establecidos: de cinco puntos si la puntuación del atributo era > 75 %, de tres puntos si la puntuación del atributo era > 25 pero < 75 % y de uno punto si esta era < 25 %, con respecto al total del muestreo cuyo orden dependió del atributo evaluado. De forma que, si las condiciones del atributo fueron comparables a un ambiente conservado se le dio valor de

cinco, si sus condiciones fueron medias se le dio valor de tres y si presentó una condición pobre se le valoró con un punto (Tabla 5).

Posteriormente el valor total del IBI fue obtenido a partir del promedio de los valores de los doce atributos Karr (1981), con lo cual se pudo clasificar al sistema lagunar dentro de una categoría, las cuales son establecidas en la Tabla 6. Para evaluar la efectividad de los IBI como indicadores de la calidad ambiental, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson entre los valores del ICAH y la calificación del IBI para cada estación.

**Tabla 5**

Valoración de los atributos para la evaluación del IBI modificado de la laguna Mar Muerto, México. / **Table 5.** Assessment of attributes for the evaluation of the modified IBI of the Mar Muerto lagoon, Mexico.

Atributo	Total	Puntuación		
		1	3	5
Número de especies	65	0-16	17-49	50-65
Número de especies tolerantes	42	0-10	11-31	32-42
Número de especies sensitivas	3	3	1-2	0
Número de especies nativas	65	0-16	17-49	50-65
Número de especies exóticas	0	3	1-2	0
Número de especies detritívoras	3	0-1	2-3	3
Número de especies herbívoras	1	0	-	1
Número de especies omnívoras	14	0-3	4-10	11-14
Número de especies piscívoras	26	0-6	7-19	20-26
Número de especies zoobentívoras	12	0-3	4-9	10-12
Número de especies zooplantívoras	9	0-2	3-6	7-9
Proporción de individuos con anomalías	160	160-120	119-41	40-0

**Tabla 6**

Interpretación de las categorías del IBI promedio Karr (1981) para la laguna Mar Muerto, México. / **Table 6.** Interpretation of the Karr (1981) average IBI categories for the Mar Muerto lagoon, Mexico.

Rango	Categoría	Descripción
55-60	Excelente	Comparable a las mejores condiciones naturales sin presencia de factores antropogénicos; están presentes todas las especies nativas esperadas para el hábitat; estructura trófica balanceada.
45-54	Bueno	Riqueza de especies por encima de la media esperada; notoria disminución en la frecuencia de especies sensitivas; notorio desbalance en la estructura trófica.
30-44	Regular	La cantidad especies es igual o cercana a la media esperada; se han perdido las sensitivas; escasa presencia de las especies depredadoras adultas; mayor presencia de organismos omnívoros.
20-29	Pobre	Menos de la mitad de las especies esperadas; muy poca o nula presencia de especies sensitivas, aumento en la frecuencia de especies con anomalías.
1-19	Muy pobre	Pocas especies; mayor presencia de especies exóticas y tolerantes; presencia de parásitos y enfermedades; daños en las aletas entre otras anomalías.
0	Sin peces	No se colectaron ejemplares tras un muestreo con repeticiones.



## RESULTADOS

Se recolectaron un total de 7 917 ejemplares que fueron clasificados en 31 familias, 46 géneros y 65 especies. De las cuales, cuatro especies fueron reportadas en los 12 puntos de muestreo siendo estas *Lile gracilis* (Castro-Aguirre & Vivero, 1990), *Oligoplites altus* (Günther, 1868), *Eucinostomus currani* (Zahuranec, 1980) y *Gerres simillimus* (Regan, 1907). De las 31 familias registradas, la familia Gerreidae presentó el mayor número de ejemplares recolectados equivalente a un total de 4 817 individuos de las seis especies registradas. No se registró presencia alguna de especies exóticas tras el muestreo. De las 65 especies registradas, 39 fueron reportadas como tolerantes, 19 como medianamente tolerantes y sólo tres especies fueron reportadas como sensitivas. Con respecto a la clasificación ecótica, la mayoría de las especies fueron registradas como marinas eurihalinas, mientras que, en el caso de las especies dulceacuícolas secundarias, sólo se registraron seis especies siendo mayormente representadas por la familia Poeciliidae con cuatro especies (Tabla 4). De las 12 estaciones evaluadas la que presentó menor riqueza de especies fue la estación diez, con solo 14 especies registradas mientras que la estación 11 fue la que presentó una mayor riqueza con 35 especies registradas.

**Caracterización de los atributos abióticos:** El promedio mínimo de la salinidad se registró en la estación tres (27.1) mientras que el promedio máximo fue registrado en la estación diez (32). En el caso del pH ésta no presentó variación entre las 12 estaciones, se mantuvo dentro de un intervalo de 8.0 como mínimo y de 8.4 como máximo siendo las estaciones ubicadas en la parte más interna de la laguna (E.1–E.4) las que presentaron el pH más alto. De igual forma no se registró mucha variación en el intervalo de la temperatura, el valor máximo registrado fue en la estación cinco (31.3 °C), mientras que la menor temperatura fue registrada en la estación nueve (26.19 °C). Con respecto al porcentaje de concentración de oxígeno, se presentó un intervalo entre 85.4

OD % (estación 1) como mínimo y de 242.7 OD % (estación 11) como máximo registrado. Para los nitratos, el máximo se registró en la estación seis (1 ppm) mientras que la estación cuatro presentó la menor concentración (0 ppm). Por su parte los nitritos se registraron con mayor concentración siendo la estación ocho (4.0 ppm) en la que se registró el máximo valor mientras que las estaciones seis y tres presentaron la menor concentración (0 ppm). En el caso de la concentración de fosfatos, el valor máximo registrado se presentó en la estación nueve (7.7 mg/L) mientras que el valor mínimo se presentó en la estación seis (0.6 mg/L). La conductividad se mantuvo dentro de un intervalo de 41.4  $\mu\text{mho/cm}$  como mínimo (E. 4) y de 48.28  $\mu\text{mho/cm}$  como máximo (E. 11). En el caso de los SDT el menor valor registrado se presentó en las estaciones dos y cuatro (28.1 mg/L) correspondientes a la parte interna de la laguna mientras que el mayor valor registrado se presentó en la estación siete (33.6 mg/L) correspondiente a la parte media de la laguna.

*Índice de Calidad del agua y hábitat (ICAH):* Los valores del ICAH calculados de las 12 estaciones presentes a lo largo de la laguna variaron de 54 como valor mínimo a 76 como valor máximo. No se reportaron estaciones con ICAH “pobre” (20–35), por lo contrario, se estimaron que ocho de las 12 estaciones presentaron una calidad “regular” entre valores de 36–63, siendo éstas la estación uno a tres, cinco, siete, ocho, diez y 11 con (ICAH = 59; ICAH = 63; ICAH = 54; ICAH = 61; ICAH = 59; ICAH = 63; ICAH = 54 y ICAH = 55 respectivamente). Mientras que las cuatro estaciones restantes, presentaron un ICAH “buena” (ICAH = 64–79) siendo estas las estaciones cuatro, seis, nueve y 12 con (ICAH = 73; ICAH = 76; ICAH = 72 y ICAH = 68 respectivamente). Posteriormente se obtuvo como valor promedio de la calidad del agua y el ambiente un ICAH de 63 con el cual se determinó que la laguna presentó una calidad considerada “regular”.

*Índice de Integridad Biótica:* Con respecto a los valores obtenidos tras la elaboración del IBI,

se registró como valor máximo calculado un IBI de 42 en la estación nueve, mientras que el valor mínimo calculado fue de un IBI de 26 de la estación diez, siendo así que de las 12 estaciones estudiadas solamente esta estación presentó una integridad biótica “pobre” (IBI = 20–29), mientras que las estaciones restantes presentaron una integridad “regular” (IBI = 30–44), posteriormente se registró, a partir de los datos obtenidos de las 12 estaciones estudiadas, un IBI promedio de 34.8 con el cual se determinó que la laguna presentó una integridad considerada como “regular”. Tras las evaluaciones realizadas, el resultado obtenido de la correlación entre los valores del ICAH e IBI calculados fue alta y significativa ( $P < 0.05$ ,  $R = 0.96$ ), lo que nos indica que este IBI funciona, ya que refleja el grado de perturbación ambiental tomando en cuenta la relación entre los factores bióticos y abióticos en la laguna.

## DISCUSIÓN

Con respecto a la riqueza íctica de la laguna, se registraron un total de 65 especies, lo que es inferior a lo registrado por Romero-Berny et al. (2018), quienes reportaron un total de 89 especies en la misma localidad, siendo esto debido principalmente a que en dicho trabajo se empleó un mayor número de artes de pesca y más meses de muestreo. Del total de especies registradas, la mayoría fueron reportadas como marinas eurihalinas, por lo que se demostró que la laguna Mar Muerto presentó una mayor influencia marina durante la elaboración del estudio, por su parte, Romero-Berny et al. (2018) y Romero-Melchor (2018) reportaron una mayor diversidad de componentes marinos eurihalinos y estenohalinos reflejando igualmente una mayor influencia marina en el periodo de estudio de dichos trabajos.

En el caso del ICAH, este se evaluó a partir de la modificación de los criterios de Borrero-García (2018); Torres (2002) y Schmitter-Soto (2014), a partir de los cuales se obtuvo un ICAH promedio de (ICAH = 63), con el que se pudo clasificar al sistema lagunar con respecto a la valoración de los factores abióticos dentro de la

categoría “regular”, de la que es posible observar una vegetación riparia presente con notable fragmentación originaria tanto por procesos naturales como por asentamientos humanos a la periferia de las estaciones muestreadas, un tipo de suelo predominantemente fangoso/arenoso, con áreas destinadas a la pesca de bajo impacto y una considerable presencia de basura principalmente presente en las cercanías de las zonas más urbanizadas.

En cuanto al estado de conservación de la laguna, en el presente estudio se adecuó un IBI a partir de la metodología de Karr (1981) y Schmitter-Soto (2014) con los cuales se obtuvo que la estación diez es la única que se clasificó dentro de la categoría “pobre” mientras que el resto de las estaciones se clasificaron bajo la categoría “regular”, en el caso de esta estación, esto fue debido principalmente a la poca cantidad de especies colectadas. Posteriormente, a partir de las 12 estaciones evaluadas, se obtuvo un IBI promedio de (IBI = 34.8), con el que se pudo clasificar al sistema lagunar dentro de la categoría “regular”, lo que quiere decir que, de acuerdo a Karr (1981), la cantidad de especies es cercana a la media esperada; se han perdido las especies sensitivas; escasea la presencia de las especies depredadoras adultas y existe una mayor presencia de organismos omnívoros, siendo esto último reflejado principalmente por la mayor frecuencia y cantidad de ejemplares de las seis especies de gérridos registrados en la laguna. Esto en comparación con el trabajo realizado por Romero-Melchor (2018), representa un menor grado de preservación para el ecosistema ya que dichos autores lo clasificaron dentro de la categoría “buena”. Entre los factores que pueden estar asociados a esta degradación de la categoría de integridad biótica de la laguna son, según lo establecido por Fisch et al. (2016) para las clases de IBI (pobre y regular), la ocupación desordenada del entorno, la descarga de afluentes o el dragado repetido. La hipótesis planteada se pudo comprobar, ya que la correlación realizada a partir de los valores obtenidos entre ICAH e IBI, indicó que existe una alta y significativa relación entre los factores biótico y abióticos en la laguna, por lo



que ha mayor sea la degradación del ambiente en el área en cuestión, menor será la capacidad que tendrá éste de mantener y sostener a una comunidad íctica.

Con lo anterior, queda claro que estas metodologías y las modificaciones de estas, son indispensables para el monitoreo de la salud de los ecosistemas acuáticos, con los cuales es posible evaluar e identificar el grado de deterioro del sistema, cuya salud está asociada con las poblaciones de las especies nativas. Corroborando así con lo establecido por Pérez-Munguía et al. (2007) quienes establecen que los valores obtenidos del IBI pueden aportar una fuerte base para identificar ecosistemas que requieren de protección, restauración o, en su caso, rehabilitación, permitiendo establecer criterios y valores más objetivos en la toma de decisiones sobre la conservación y manejo de recursos acuáticos.

A través de este trabajo, se comprobó la funcionalidad del IBI modificado para la laguna Mar Muerto, permitiendo evaluar el grado de conservación presente en la laguna, la cual presentó una integridad biótica promedio considerada como “regular”. Se demostró de igual forma que en comparación con trabajos previos, la integridad del sistema había sido anteriormente valorada como “buena”, por lo que es de suma importancia mantener un monitoreo más constante de su integridad ambiental, tomando en cuenta tanto a los factores bióticos como abióticos y dándole mayor importancia a todas las herramientas metodológicas disponibles para asegurar la conservación e incluso el uso sustentable de estos ambientes acuáticos.

**Declaración de ética:** los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el financiamiento del proyecto con número 511-6/2019.-8008. A las autoridades de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas por su apoyo para la realización de las salidas de campo a la laguna Mar Muerto durante el periodo de cuarentena causada por el virus SARS COV2. Al biólogo Alejandro Hernández Estrada por su ayuda en la identificación de los peces.

## REFERENCIAS

- Álvarez, F., Armendáriz, G., Jiménez, B., Millán, L., Ojeda, J. C., & Villalobos, J. L. (2019). Conservación de dos ríos en Los Tuxtlas, Veracruz: la aplicación de índices de integridad biótica. En C. P. Ornelas-García, F. Álvarez, & A. Wegier (Eds.), *Antropización: primer análisis integral, IBUNAM-CONACYT* (pp. 221–242). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Anzures, D. A., Meneses C. I., Villatoro V. R. A., & Luna, C. L. (1995). *Enterobacterias en agua, sedimento y camarón blanco (Penaeus vannamei) del Mar Muerto, Chiapas*. Gaceta Médica de México.
- Barrera, H. R. R. (1976). *Algunos aspectos a considerar para la determinación de vedas, apertura y cierre de tapos y reglamentación de la luz de la malla de las atarrayas de pesca de camarón en las lagunas y marismas del estado de Oaxaca* [Conferencia]. Conferencia en biología y dinámica poblacional de camarones, Guayanas, Sonora, México, 1, 124–130.
- Bartram, J. & Ballance, R. (1996). *Water quality monitoring: A practical guide to the design of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Chapman Hill.
- Borrero-García, C. B. (2018). *Metodología para determinación del índice de calidad del agua a partir de parámetros fáciles de medir en campo*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/34065/u821524.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, S., Ulloa, R., & Alvarado, D. (2009). *Regionalización en base a indicadores ambientales en cuatro áreas marinas de México. Informe Final a la Red Iberoamericana de Ecosistemas*. Universidad Autónoma de Nayarit. <http://www.oas.org/dsd/iabin/component2/mexico/etnu.nayarit/informe%20final%20iabin%20mexico.pdf>
- Castro-Aguirre, J. L., Espinosa, H. S., & Schmitter-Soto, J. J. (1999). *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Serie Biotechnologías.

- Contreras, F. (1988). *Las lagunas costeras mexicanas*. Universidad de Texas.
- Deegan, L., Finn, J., Ayzajian, S., Ryder-Kieffer, C., & Buonaccorsi, J. (1997). Development and validation of an estuarine biotic integrity index. *Estuaries*, 20(3), 601–617.
- Elliott, M., Whitfield, A. K., Potter, I. C., Blaber, S. J. M., Cyrus, D. P., Nordlie, F. G., & Harrison, T. D. (2007). The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. *Fish and Fisheries*, 8(3), 241–268.
- Ferreira, C. P. & Cassati, L. (2006). Stream biotic integrity assessed by fish assemblages in the Upper Rio Paraná basin. *Biota Neotropical*, 6(3), 1–25.
- Fisch, F., Branco, J. O., & de Menezes, J. T. (2016). Ictiofauna como indicador da integridade biótica de um ambiente de estuário. *Acta Biológica Colombiana*, 21(1), 27–38.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., & Van der Laan, R. (Eds.). (2019). *Catálogo de peces de Eschmeyer: géneros, especies, referencias*. California Academy of Sciences.
- Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21–27.
- Karr, J. R. (2006). Seven foundations of biological monitoring and assessment. *Biología Ambiental*. 20(2), 7–18.
- Mera-Ortiz, G., Ruiz-Campos, G., Gómez-González, A. E., & Velázquez-Velázquez, E. (2016). Composición y abundancia estacional de aves acuáticas en tres paisajes de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas. *Huitzil*, 17(2), 251–261.
- Miller, R. R., Minckley, W. L., & Norris, S. M. (2005). *Freshwater fishes of Mexico*. University of Chicago Press.
- Pacheco-Díaz, R. I., Schmitter-Soto, J. J., Schmook, B., Islebe, G. A., & Weissenberger, H. (2017). Land use and biotic integrity in shallow streams of the Hondo River basin, Yucatán Peninsula, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 65(4), 1448–1458.
- Pérez-Munguía, R., Pineda-López, R., & Medina-Nava, M. (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. En Sánchez O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., & Zambrano, L. (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (pp. 71–103). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, United States Fish & Wildlife Service.
- Ramírez-Herrejón, J. P., Mercado-Silva, N., Medina-Nava, M., & Domínguez-Domínguez, O. (2012). Validación de dos índices biológicos de integridad (IBI) en la subcuenca del río Angulo en el centro de México. *Revista de Biología Tropical*, 60(4), 1669–1685.
- Robertson, D. R., & Allen, G. R. (1998). *Peces costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de información en línea*. Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- Romero-Berny, E. I., Velázquez-Velázquez, E., Anzueto-Calvo, M. D. J., Urbina-Trejo, E., & Schmitter-Soto, J. J. (2018). Peces de tres sistemas estuarino lagunares en el noreste del golfo de Tehuantepec, Pacífico sur mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(1), 87–100.
- Romero-Melchor, D. L. (2018). Índice biológico de integridad histórico (IBIh) basado en los peces en áreas selectas del estado de Chiapas, México (Doctoral dissertation). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/16689>
- Schleiger, S. L. (2000). Use of an index of biotic integrity to detect effects of land uses on stream fish communities in West-Central Georgia. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(5), 1118–1133.
- Schmitter-Soto, J. J. (2014). Los índices bióticos de integridad en el monitoreo ambiental. En C. A. González-Zuarth, A. Vallarino, J. C. Pérez-Jiménez, & A. M. Low-Pfeng (Eds.), *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 65–82). El Colegio de la Frontera Sur, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- Torres, J. P. (2002). Un índice para la evaluación del hábitat de *Agouti taczanowskii* (Rodentia: Agoutidae) en áreas de bosque andino nublado. *Universitas Scientiarum*, 7(1), 51–60.