

REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

Revista Ciencias del Mar, UAS

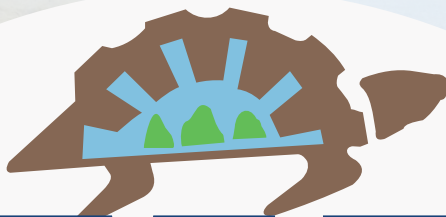
Octubre -Diciembre 2023 Núm. 1 Vol.1



U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



ISSN (En Trámite)



CIMMAR

Revista

DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

Número 1, Volumen 1, ISSN (en trámite)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA



DIRECTORIO INSTITUCIONAL

- Dr. Robespierre Lizárraga Otero
Encargado del Despacho de la Rectoría
- Dr. Jorge Milán Carrillo
Secretario Académico Universitario
- Dr. Manuel Iván Tostado Ramírez
Vicerrector de la Unidad Regional Sur
- Dr. Mario Nieves Soto
Director General de Investigación y Posgrado
- Dr. Joel Cuadras Urias
Director General del Sistema Bibliotecario
- Dr. José Adán Félix Ortiz
Director Facultad de Ciencias del Mar
- LIC. Nidia Odette Santana Rodelo
Editora Asociada Revista SIBIUAS

Comité Editorial

Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez
Editor en jefe

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega
Editor asociado

L.I. Nerika Azucena Benitez Pardo
Gestora de la Revista

Dr. David Arturo Delgado Esquivel
Corrector de Estilo

Ernesto Alfonso Chávez Aranguré
Diseño gráfico y maquetación

Editores por línea de investigación

Dr. Wenceslao Valenzuela Quiñones, Instituto Politécnico Nacional, México.
Desarrollo de sistemas para la producción sustentable de organismos acuáticos

Dr. Enrique Morales Bojórquez, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. México.
Aprovechamiento sustentable de recursos pesqueros

Dr. Martín Gabriel Frías Espericueta, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
Manejo sustentable de ambientes costeros

Comité Científico

Dr. Just Tomas Bayle Sempere
Universidad de Alicante, España

Dr. Diego Lercari Bernier
Universidad de la República, Uruguay

Dr. Álvaro Javier Burgos Arcos
Universidad de Nariño, Colombia

Dr. Rodolfo Vögler
Universidad de la República, Uruguay

Dr. Hugo Arancibia Farías
Universidad de Concepción, Chile

Dr. Andrés Cisneros Montemayor
Simon Fraser University, EUA

Dr. Francisco Arreguín Sánchez
Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR), México

El Consejo Editorial de CIMAR Revista Científica agradece las generosas colaboraciones realizadas por investigadores nacionales e internacionales pertenecientes a reconocidas universidades y centros de investigación que participaron como pares evaluadores.

ISSN (en trámite)

CINTILLO LEGAL

Revista Ciencias del Mar, UAS, es una publicación trimestral editada por la universidad Autónoma de Sinaloa, a través de la Facultad de Ciencias del Mar, con el domicilio en Paseo Claussen S/N, Centro, 82000, Mazatlán, Sinaloa, México. Teléfono (669) 9828656. Editor responsable, Guillermo Rodríguez Domínguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo Núm. (en trámite), ISSN: (en trámite).

Cada artículo es obra original del autor, donde son reflejadas sus ideas y apreciaciones; el Comité Editorial y la Revista "Ciencias del Mar, UAS" no se hacen participantes de dicha postura, por lo consiguiente el autor de cada artículo/texto será considerado legalmente responsable. La revista Ciencias del Mar, UAS rechaza cualquier reclamación legal proveniente por la reproducción parcial o total de la información, y de plagio en los trabajos publicados.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional del Derecho de Autor.



Cada manuscrito está bajo la licencia Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.



CONTENIDO

EDITORIAL

- Mensaje del Director de la Facultad de Ciencias del Mar
👤 *Dr. José Adán Félix Ortiz* 7
- Carta del Editor
👤 *Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez* 8
- ARTÍCULO CIENTÍFICO**
- Alometría del cangrejo de Montaña, *Hypolobocera Aequatorialis* (Pseudothelphidae), nativo de Ecuador
Allometry of freshwater crab, *Hypolobocera Aequatorialis* (Pseudothelphidae), native to Ecuador. 9-26
- ARTÍCULO CIENTÍFICO**
- Crecimiento y sobrevivencia de la langosta Australiana *Cherax quadricarinatus* en condiciones de laboratorio.
Growth and survival of the Australian redclaw lobster *Cherax quadricarinatus* under laboratory conditions. 27-35
- ARTÍCULO CIENTÍFICO**
- Análisis espacio temporal de la madurez sexual del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el océano Pacífico oriental tropical.
Spatiotemporal analysis of sexual maturity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the tropical eastern Pacific ocean 36-47
- ARTÍCULO CIENTÍFICO**
- Concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc en langostinos *Macrobrachium americanum* del río Baluarte, Rosario, Sinaloa, México.
Concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in shrimps *Macrobrachium americanum* from Baluarte River, Rosario, Sinaloa, Mexico. 48-58
- REVISIÓN CIENTÍFICA**
- Patrones de diversidad de la fauna de metazoarios parásitos de peces marinos en la bahía de Mazatlan, Sinaloa.
Patterns of diversity of the metazoan parasite fauna of marine fishes from Mazatlan bay, Sinaloa. 59-85
- REVISIÓN CIENTÍFICA**
- Sinergia interinstitucional para estudiar la antracnosis de los manglares en México
Interinstitutional synergy to study the anthracnosis of mangroves in Mexico 86-93



Mensaje del Director de la Facultad de Ciencias del Mar

La Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR) se pone una vez más a la vanguardia en nuestra Universidad Autónoma de Sinaloa con la publicación en línea de la revista Ciencias del Mar UAS que forma parte de los productos impulsados desde el Plan de Desarrollo Institucional promovido por el Dr. Jesús Madueña Molina, Rector legítimo de nuestra Universidad.

A 53 años de su fundación, la FACIMAR ha liderado acciones académicas como el desarrollo de la investigación científica, la creación del posgrado, una planta académica con el más alto nivel de habilitación académica, reconocimientos del SNI, PRODEP, programas académicos de licenciatura acreditados y los de posgrado clasificados como programas en categoría 1 orientados a la investigación en el Sistema Nacional de Posgrados. Un momento clave en este desarrollo fue el surgimiento del primer Cuerpo Académico Consolidado liderado por el Dr. Mario Nieves Soto, actual director general de Investigación y Posgrado de nuestra Universidad, en donde participó también como investigador el Dr. Pablo Piña Valdés. Otro participante de este Cuerpo Académico fue el Dr. Domenico Voltolina Lobina, adscrito al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, pero un gran colaborador de nuestra institución a quien queremos en este espacio honrar con un reconocimiento institucional por su gran labor académica que generó muchos recursos humanos de calidad y publicaciones científicas en nuestra facultad. Seguro estoy que el Dr. Voltolina, como le solíamos llamar los que lo conocimos, estaría complacido con el lanzamiento de este medio de difusión científica, actividad que fue una parte importante de su fructífera vida.

Hay muchos otros investigadores y profesores que desde su trinchera aportaron sus habilidades y esfuerzo para llegar al nivel que hoy se encuentra nuestra Facultad, mi agradecimiento a todos ellos y una felicitación al todo el equipo editorial de la revista CIMAR UAS por hacer esto posible y la hago extensiva también a todo el personal académico, administrativo y de confianza que colaboran para impulsar siempre a nuestra facultad hacia la excelencia.

Dr. José Adán Félix Ortiz



EDITORIAL

Carta del Editor

 *Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez*

La revista Ciencias del Mar UAS; CIMAR UAS, surge hoy como una opción en línea de acceso abierto y gratuito, tanto para los autores como para los lectores, con el fin de impulsar la divulgación científica en el campo de la investigación pesquera, acuicultura y de gestión de la zona costera. CIMAR UAS es la continuación de la Revista Ciencias del Mar, en formato impreso, que inició su publicación en 1981, con 17 números, entre 1981 y 2004.

El avance tecnológico y la disponibilidad de plataformas como *Open Journal Systems* nos permiten hoy retomar la iniciativa de fomentar la divulgación científica de calidad en forma accesible y gratuita, tanto en inglés como en español, con el fin de hacer más accesible a los investigadores, docentes y estudiantes en centros de investigación y universidades de habla hispana, los avances en investigación científica, contribuyendo así, al desarrollo de los sectores de la pesca, acuicultura y administración de los recursos en las zonas costeras.

Nuestra visión de futuro es llevar a CIMAR UAS a ser una revista indexada con los mejores estándares de calidad científica y hacemos un llamado a los investigadores a enviar sus contribuciones.



 Artículo Científico

Alometría del cangrejo de Montaña, *Hypolobocera* *Aequatorialis* (Pseudothelphidae), nativo de Ecuador.

Allometry of freshwater crab, *Hypolobocera Aequatorialis* (Pseudothelphidae), native to Ecuador.



CREATIVE COMMONS




OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina

 1. Marcela Yáñez

 0000-0002-8776-3718

Departamento de Ciencias del Mar, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Guayaquil C.P. 090601, Ecuador.

 2. René Zambrano

 0000-0002-0603-7475

Carrera de Tecnología Superior en Acuicultura, Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez – Extensión Jaramijó, frente a playa Balsamaragua, Jaramijó C.P. 132150, Ecuador.

Manejo y Conservación de Recursos Naturales S.A.S., Alborada etapa XIII, Guayaquil C.P. 090509, Ecuador

Autor de correspondencia: eddie_zam89@hotmail.com



**Alometría del cangrejo de Montaña,
Hypolobocera Aequatorialis (Pseudothelphidae),
nativo de Ecuador**

**Allometry of freshwater crab,
Hypolobocera Aequatorialis (Pseudothelphidae),
nativo Ecuador**

► RESUMEN

El cangrejo de montaña *Hypolobocera aequatorialis* es una especie nativa de Ecuador, el objetivo de este trabajo fue determinar su alometría. Las muestras fueron recolectadas entre mayo y junio de 2022 en el sitio de Pintohuayco, provincia de Chimborazo, Ecuador. Las variables morfométricas registradas fueron: ancho, largo y alto del carapacho (AnC, LC, AIC, respectivamente) y quelas (AnQ, LQ, AIQ, respectivamente), así como el peso individual. El ancho de abdomen (AW) fue registrado únicamente en hembras. Los modelos: lineal, umbrales y dos segmentos se ajustaron a datos transformados en logaritmo natural. El mejor modelo fue seleccionado utilizando los pesos del Criterio de Información de Akaike en su versión corregida ($W_i AIC_c$). La relación talla-peso se estimó mediante el modelo potencial. Un total de 201 individuos fueron recolectados. Las hembras presentaron las mayores tallas. Los mejores modelos fueron dos segmentos y umbrales. El nivel de alometría fue principalmente isométrico ($b = 1$) y alométrico negativo ($b < 1$) para el primer y segundo segmento, respectivamente. La relación talla-peso mostró una alometría negativa ($b < 3$). Suponemos que los puntos inflexión de los mejores modelos muestran cambios morfométricos relacionados con el uso del hábitat como alimentación, protección contra depredadores y comportamiento de apareamiento.

Palabras Clave: Akaike, isometría, punto de inflexión, quelas, relación morfométrica.



► ABSTRACT

Freshwater crab *Hypolobocera aequatorialis* is native to Ecuador, the objective of this work was determining its allometry. Field samplings were done between May and June 2022, in the Pintohuayco site, Province of Chimborazo, Ecuador. The recorded morphometric variables were width, length, and height of the carapace (CW, CL, CH, respectively), and chelae (ChW, ChL, ChH, respectively), as well as the individual weight. Abdomen width (AW) was registered only in females. The models: linear, thresholds and two segments were fitted to natural logarithm-transformed data. The best model was selected using the bias corrected weights of the Akaike Information Criterion ($W_i AIC_c$). Size-weight relationship was estimating by a power model. A total of 201 individuals were collected. Females presented larger sizes than males. The best-fit models were two-segment and threshold. The allometry was principally isometric ($b = 1$) and negative allometric ($b < 1$) for the first and second segments, respectively. The size-weight relationship showed a negative allometry ($b < 3$). We assume the inflection points of the best models show morphometric changes related to use of habit as feeding, protection against predators, and mating behavior.

Keywords: Akaike, isometric, inflection point, chelae, morphometric relationship.

► INTRODUCTION

Freshwater crabs comprise 1,400 species included in five families: Potamidae (551 spp.), Gecarcinucidae (372 spp.), Pseudothelphusidae (271 spp.), Potamonautidae (152 spp.), Trichodactylidae (48 spp.). Pseudothelphusidae and Trichodactylidae inhabit Neotropical regions (Wehrtmann et al., 2019). Pseudothelphusidae species are distributed from Mexico to tributaries of the Amazon River (Peru), including a large part of the Antilles (Poettinger et al., 2016).

The genus *Hypolobocera* is included in Pseudothelphusidae and presents 39 species with omnivorous habits (especially detritus), used as bioindicators (Campos & Rodríguez, 1995; Mamian & Zamora, 2016; Ramos-Tafur & Ríos, 2007). *Hypolobocera aequatorialis* is a freshwater crab species native to Ecuador, and its distribution includes the western Andes Mountain range, on the eastern and western slopes (Rodríguez & von Sternberg, 1998; Takeda et al., 2014).



Studies on freshwater crabs are limited, being mainly taxonomic and systematic reviews, as well as the record of new congener species (Acevedo & Campos, 2015; Arias et al., 2015; Campos, 1989; Campos & Rodríguez, 1995; Ramos-Tafur, 2006; Rivera-Pérez et al., 2021, 2022; Takeda et al., 2014). In general, crab species show different allometry patterns related to key stages of ontogenetic development such as sexual dimorphism and sexual maturity (Fadlaoui et al., 2019; Hartnoll, 1974, 1978).

Allometry represents variations in the proportion of body structures (i.e., organs or tissues), and their possible changes compared to the body dimensions (Hartnoll, 2012; Zambrano, 2021). The objective of this work is to determine the allometry of *H. aequatorialis* collected in Ecuador, which could be used for further understanding biology aspects such as reproductive traits.

► MATERIALS AND METHODS

Field sampling was realized in the Pintohuayco site, located in the Canton of Alausi, Province of Chimborazo, during May and June 2022 (Fig. 1). Individuals were captured manually and their morphometric variables were recorded using a plastic caliper (accuracy = 0.05 mm). The width, length, and height of the carapace (CW, CL, CH, respectively) and chelae (ChW, ChL, ChH, respectively) were measured. The abdomen width (AW) was recorded only in females because this morphometric variable could show evident changes associated with the sexual maturity. Total weight was recorded using a digital scale (0.1 g. accuracy)(Zambrano & Olivares, 2020). The data base was uploaded to Mendeley Data (Yáñez & Zambrano, 2022).

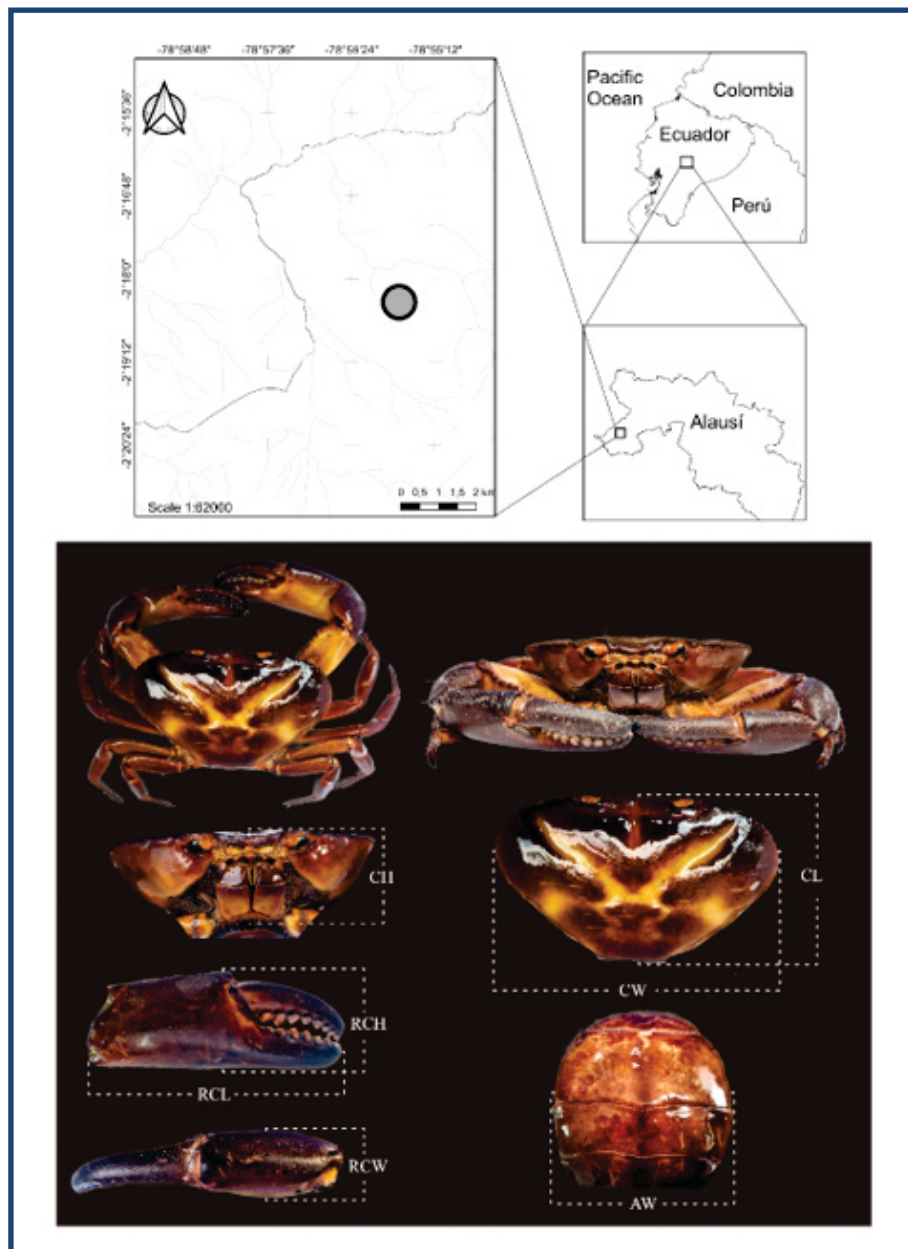


Figure 1. Sampling site and specimen of *Hypolobocera aequatorialis*, collected in the Pintohuayco site, Canton of Alausí, Province of Chimborazo, Ecuador. Morphometric variables recorded: carapace height, length and width (CH, CL, CW, respectively). Right chela length, height, and width (RCL, RCH, RCW, respectively). Abdomen width (AW) in females.



Two random decimals were created from a uniform distribution and added to raw data (Sanvicente-Añorve et al., 2003; Zambrano & Ramos, 2020). That procedure was developed to improve data presentation and the model fit. Mean sizes and the standard deviation were reported by sex. Data were transformed using natural logarithm (\ln) for reducing their variability, improve the visualization of possible subsets, and increase the fit of the models. Linear model ($\ln y = \ln a + b * \ln x$), thresholds ($\ln y = \ln a_1 + b * \ln(x)$ if $(x) < B$; $\ln y = \ln a_2 + b * \ln(x)$ if $(x) > B$) and two segments ($\ln y = \ln a_1 + b_1 * \ln(x)$ if $(x) < B$; $\ln y = \ln a_2 + b_2 * \ln(x)$ if $(x) > B$) were fitted assuming additive error. (Arvizu-Merín et al., 2021; Leyva-Vázquez et al., 2022).

Linear and threshold models were fitted in Stata version 17. Two segments model was fitted in Excel using the algorithm from Neter et al. (1996) and the breakpoint (B) used was estimated by the threshold model. Parameters of the models were “ a ” and “ b ” intercept, and slope, respectively. Allometry level corresponded to slope values: when $b > 1$ allometry is positive; if $b < 1$ allometry is negative; and if $b = 1$ means isometry (Hartnoll, 1978, 2012; Mayrat, 2012).

Bias-corrected Akaike Information Criterion (AIC_c) was applied because $n/k < 40$, where n is the data number and k is the number of model parameters (Sugiura, 1978). The best model was selected considering the highest Akaike weight value ($W_i AIC_c$). Equations and procedure were described in Burnham and Anderson (2002), among other works.

Size-weight relationship was estimating by the power model ($Y = a x^b$) fitted to raw data, assuming additive error. The analysis was run in Stata version 17 using the command `nl pfun2: y x` (Salgado-Ugarte et al., 2000; Salgado-Ugarte & Saito-Quezada, 2020). The slope value (b) indicated the allometry level: positive $b > 3$, negative $b < 3$, and isometry $b = 3$ (Froese, 2006; Froese et al., 2011).



▶ RESULTS

A total of 201 individuals of *H. aequatorialis* were collected of which 50.1% were females. Mean sizes were 23.63 mm CW (S.D. \pm 14.36 mm), 17.08 mm CL (SD \pm 9.70), 9.82 mm CH (SD \pm 5.88) in females and 21.22 mm CW (SD \pm 9.61), 15.51 mm CL (SD \pm 6.49), 8.93 mm CH (SD \pm 3.90) in males. The best model was two-segments ($WiAICc > 70\%$).

In males, the relationships CW vs. RCL and CW vs. LCW indicated that the best model is thresholds ($WiAICc = 60$ to 70%). For CW vs. LCL the $WiAICc$ values were similar between threshold and linear models; in this case, the former was selected as the best due to congruency with the other relationships (Table I).

In females, the threshold was the second-best model ($WiAICc = 60$ to 70%). For CL vs. RCL the $WiAICc$ values were similar between threshold model and two-segments; in this case, the former was selected considering model parsimony. Linear model presented a $WiAICc$ value of 99% only in CH vs RCW (Table I).

Table I. Akaike weights values ($WiAICc$) estimated for models fitted to morphometric variables of *Hypolobocera aequatorialis* collected in Pintohuayco site, Province of Chimborazo, Ecuador. Carapace width, length, and height (CW, CL, and CH, respectively). Right chela length, height, and width (RCL, RCH, RCW, respectively) and left (LCL, LCH, LCW, respectively).

	Models		$WiAICc$		Models	$WiAICc$		
			females	males		females	males	
CW vs	RCL	Linear	0.07	18.39	LCL	Linear	0	40.33
		Threshold	64.45	65.72		Threshold	0.01	38.54
		Two segments	35.48	15.9		Two segments	99.99	21.13
	RCH	Linear	0	0	LCH	Linear	0	0
		Threshold	1.02	0		Threshold	12.07	8.92
		Two segments	98.98	100		Two segments	87.93	91.08
	RCW	Linear	0.04	0	LCW	Linear	0	0
		Threshold	64.48	6.43		Threshold	0	64.59
		Two segments	35.49	93.37		Two segments	100	35.41
CL vs	RCL	Linear	13.68	7.35	LCL	Linear	0.07	10.43
		Threshold	43.34	17.23		Threshold	0.7	19.9
		Two segments	42.98	75.42		Two segments	99.24	69.67
	RCH	Linear	0	0	LCH	Linear	0	0
		Threshold	2.78	0.98		Threshold	11.46	0.31
		Two segments	97.22	99.02		Two segments	88.54	99.69
	RCW	Linear	0.46	0	LCW	Linear	0	0
		Threshold	33.24	11.87		Threshold	0.67	12.59
		Two segments	66.3	88.13		Two segments	99.34	87.41
CH vs	RCL	Linear	0.03	0	LCL	Linear	1.39	1.7
		Threshold	97.28	32.76		Threshold	11.01	36.85
		Two segments	2.69	67.24		Two segments	88.83	61.45
	RCH	Linear	0	0	LCH	Linear	0.14	0
		Threshold	84.93	0.1		Threshold	0.96	0.71
		Two segments	15.07	99.9		Two segments	98.91	99.29
	RCW	Linear	99.97	0	LCW	Linear	0.83	0
		Threshold	0.03	4.45		Threshold	3.7	44.25
		Two segments	0	95.55		Two segments	95.63	55.75
CW vs	AW	Linear	0.19					
		Threshold	58.97					
		Two segments	40.83					
CH vs	AW	Linear	2.6					
		Threshold	68					
		Two segments	29.4					
CL vs	AW	Linear	1.01					
		Threshold	53.59					
		Two segments	45.39					



The relationships of carapace vs. chelae size isometric in the first segment ($b = 1$) and negative allometry in the second ($b < 1$). Negative allometry was observed in the first segment for the relationships CW, CL, CH vs. RCW. In females, the allometry of the carapace vs. left chelae was mainly negative while considering the abdomen it was positive (Table II).

Table II. Regression parameters in morphometric relationships of *Hypolobocera aequatorialis* collected in the Pintohuayco site, Province of Chimborazo, Ecuador. Carapace width, length, and height (CW, CL and CH, respectively). Right chela length, height, and width (RCL, RCH RCW, respectively) and left (LCL, LCH, LCW, respectively). Abdomen width (AW)

Models			Regression parameters						
			a_i	b_i	a_i	b_i	B		
CW vs.	RCL	F	Threshold	-0.66	1.13	-0.80		2.4	
		M	Threshold	-0.69	1.13	-0.75		2.27	
	RCH	F	Two segments	-1.49	1.05	1.38	-0.08	2.36	
		M	Two segments	-1.99	1.2	0.74	0.20	2.57	
	RCW	F	Threshold	0.16	0.53	0.03		2.36	
		F	Two segments	1.11	0.57	-0.20	0.90	3.32	
	LCH	F	Two segments	-1.03	0.93	1.13	0.11	2.4	
		M	Two segments	-1.44	0.96	0.13	0.45	2.5	
	LCW	F	Two segments	-0.95	0.84	1.39	-0.01	2.51	
		M	Two segments	-0.06	0.49	0.42	0.35	2.3	
	CL vs.	RCL	F	Threshold	-0.35	1.09	-2.29		2.67
			M	Two segments	-0.71	1.24	0.93	0.44	2.04
RCH		F	Two segments	-1.18	1.06	1.25	-0.03	2.11	
		M	Two segments	-1.29	1.1	1.54	-0.18	2.08	
RCW		F	Two segments	0.13	0.56	0.90	0.23	2.15	
		M	Two segments	-0.16	0.6	0.54	0.32	2.89	
LCL		F	Two segments	0.92	0.69	-0.2	1.01	2.99	
		M	Threshold	-0.48	1.15	-0.56		2.04	
LCH		F	Two segments	-0.39	0.81	0.98	0.2	2.07	
		M	Two segments	-1.45	1.06	0.45	0.35	2.25	
LCW		F	Two segments	-0.53	0.79	1.32	0.02	2.17	
		M	Two segments	-0.09	0.55	1.35	-0.08	2.08	
CH vs.	RCL	F	Threshold	0.32	1.14	0.14		1.7	
		M	Two segments	0.05	1.2	0.69	0.85	1.49	
	RCH	F	Threshold	-0.04	0.92	-0.26		1.39	
		M	Two segments	-0.59	1.06	1.15	0.05	1.5	
	RCW	F	Linear	0.69	0.45				
		M	Two segments	0.14	0.61	0.8	0.28	2.38	
	LCL	F	Two segments	0.27	1.07	0.74	0.82	2.14	
		M	Two segments	0.22	1.08	1.16	0.45	1.35	
	LCH	F	Two segments	0.15	0.77	0.39	0.71	1.63	
		M	Two segments	-0.28	0.82	0.76	0.32	1.53	
	LCW	F	Two segments	0.04	0.97	0.22	0.77	2.06	
		M	Two segments	0.29	0.52	0.92	0.22	2.06	
CW vs.	AW	F	Threshold	-1.24	1.15	-1.45		2.3	
CL vs.	AW	F	Threshold	-0.81	1.02	-0.64		2.67	
CH vs.	AW	F	Threshold	-0.18	1.11	-0.34		1.39	

In males, two different data subsets were observed in most relationships. The breakpoint (B) corresponded to 11.22 mm CW (9.68-13.07 mm CW), 9.30 mm CL (7.69-17.99 mm CL), 5.58 mm CH (3.86-10.80 mm CH). The subsets are hardly noticeable in the length relationships of carapace to chelae (Fig. 1S).

In females, data subsets were scarcely different, and the most notorious was in the relationships RCW vs. CW and RCW vs. CL (Fig. 3). The breakpoints were 12.94 mm CW (10.59-27.66 mm CW), 10.59 mm CL (7.92-19.89 mm CL), and 5.95 mm CH (4.01-8.50 mm CH) for chelae (Fig. 2S); 9.97 mm CW, 14.44 mm CL, 4.01 mm CH for abdomen (Fig. 2S).

The size-weight relationships showed a negative allometry ($b < 3$) and a coefficient of determination close to unity (Table III). The power model presented a good fit although female individuals with medium sizes were not recorded in samples (Fig. 2).

Table III. Size-weight relationship of *Hypolobocera aequatorialis* collected in the Pintohuayco site, Province of Chimborazo, Ecuador. Carapace width, length, and height (CW, CH, and CL, respectively). Abdomen width (AW).

Sex	Relationship	Regression parameters			95% Confidence Intervals			
		a	b	r^2	a (mb)	a (mtz)	b (mb)	b (mtz)
Females	CW vs. Weight	0.0013	2.59	0.99	0.0012	0.0015	2.56	2.62
	CL vs. Weight	0.0016	2.80	0.99	0.0012	0.0019	2.75	2.85
	CH vs. Weight	0.013	2.64	0.99	0.01	0.0160	2.38	2.70
Males	CW vs. Weight	0.0008	2.71	0.98	0.0004	0.0012	2.58	2.85
	CL vs. Weight	0.013	2.16	0.97	0.0078	0.019	2.03	2.29
	CH vs. Weight	0.0067	2.83	0.97	0.0031	0.01	2.62	3.03

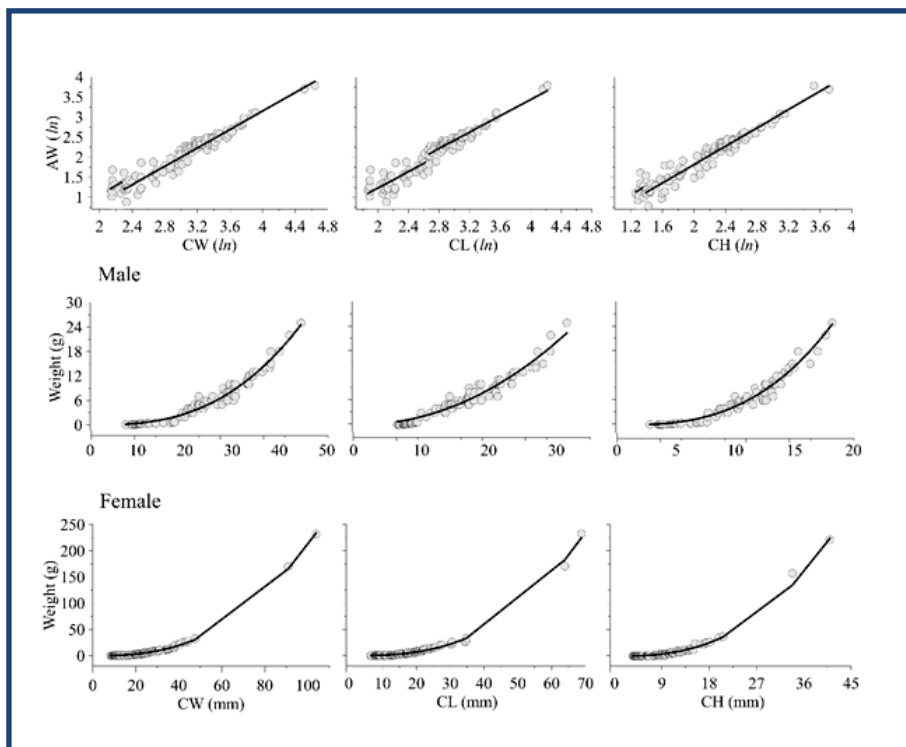


Figure 2. Relationships between abdomen width, weight and carapace size of *Hypolobocera aequatorialis* collected in the Pintohuayco site, Canton of Alausí, Province of Chimborazo, Ecuador. Carapace width, length, and height (CW, CL and CH, respectively). Abdomen width (AW) in females.



► DISCUSSION

Mean sizes were similar between sexes, but females presented the highest values. Similar sizes are common between sexes for *Hypolobocera* e.g., *H. alata*: males = 20.4 mm CW, females = 21 mm CW; *H. buenaventurensis*: males = 32.6 mm CW and females 39.42 mm CW (Acevedo & Campos, 2015; Ramos-Tafur, 2006).

Other crab species show similar mean sizes between sexes. *Neostrengeria charalensis*: males = 43.5 mm CW, females = 48 mm CW (Campos et al., 2018); *Ucides occidentalis*: males = 68.83 mm CW, females = 77.83 mm CW; *Calappa convexa*: males = 72.8 mm CW, females = 75.7 mm CW; *Menippe frontalis*: males = 92.84 mm CW, females = 93.41 mm CW; *Cardisoma guanhumi*: males = 57 mm CW, females = 5.6 mm CW (Ayón-Parente & Hendrickx, 2001; Campos et al., 2018; Lima et al., 2021; Zambrano & Meiners, 2018; Zambrano & Ramos, 2020). That could indicated that there is not a sexual dimorphism related to the mean size of *H. aequatorialis*, but females would be larger in size.

Morphometric relationships showed two data subsets which were represented principally by the two-segment model. That indicates a morphological change in the body proportions of *H. aequatorialis* during the development, which is more evident in males. In other crab species, the breakpoint is used as indicator of the size at sexual morphometric maturity, for example: *Cardisoma crassum*, *Callinectes arcuatus*, *M. frontalis*, *M. mercenaria*, female of *Pinnaxodes gigas* (Aragón-Noriega et al., 2019; Crowley et al., 2018; Ortega-Lizárraga et al., 2016; Zambrano & Olivares, 2020; Zambrano & Ramos, 2020).

We pose that morphometric changes represented by the breakpoint are related to: feeding, protecting against predators, and mating behaviour. Nevertheless, the breakpoint could be associated to sexual maturity; assesment of reproductive studies are needed to suport such assertions.

Allometric growth of *H. aequatorialis* was mainly isometric in the first data subset and negative in the second one. That has been observed in other crab species such as *M. frontalis*, *Mecataleptodius parvulus* and juveniles of *Potamon algeriense* (Chellegatti et al., 2021; Fadlaoui et al., 2019; Zambrano & Ramos, 2020). Mariappan et al. (2000) emphasize that heterochelia could be associated with distinct functions; larger



chelae could be associated with courtship and smaller with feeding. On the other hand, Hartnoll (2012) mentions that a higher growth rate in chelae is associated with male crabs for a higher probability of breeding. In females of *H. aequatorialis*, the allometry level could be related to feeding habits. That is, they develop chelae only to be able to grab and break the organic matter of its environment. In *Hypolobocera* species, no reports were found about the reproductive behavior (e.g., courtship, fights), which requires further development of the chelae in relation to the body, and it is principally associated to males. The males sampled were relatively young therefore we could not observe a positive allometry level as expected.

The positive allometry in females, considering the abdomen width, is related to increasing their capacity to carry the ovigerous mass. Hartnoll (2012) mentions that the positive allometry is produced by the morphometric sexual maturity of females, where priority is given to abdominal growth because it is the structure that carry the eggs after the fertilization.

Size-weight relationship showed a negative allometry in *H. aequatorialis*. This coincides with the reports in females of *Menippe frontalis*, *C. crassum*, *U. occidentalis*, *C. danae*, *C. ornatus* and *Achelous gibbesii* (Ariza et al., 2018; Vega et al., 2018; Zambrano & Ramos, 2020). We pose that negative allometry is related to reproductive aspects. In this sense, a large female may have a greater carrying capacity of the ovigerous mass, and having a low individual weight could consume less energy for movement. On the other hand, the additional burden of carrying offspring is offset by negative allometry. In the case of males, the individuals were small, and they allocate energy to grow, rather than to gain weight.

Hypolobocera aequatorialis presents mean sizes similar between sexes, but the females showed the major maximum size. There are changes in the level of allometry in accordance with the size of the individuals, which are more noticeable in males. Those changes are represented with two-segment models. The size-weight relationship shows a negative slope, related to the size of the male individuals and to reproduction in the females.



▶ ACKNOWLEDGMENTS

The paper derives of the bachelor thesis from Marcela Yánez. The authors thank to John Ramos-Veliz for the taxonomic identification of the species. The authors are grateful with José Yánez and Silvia Andrade for field sampling support.

▶ LITERATURE CITED

Acevedo, A., & Campos, M. R. (2015). A proposal to synonymize the freshwater crab *Hypolobocera olgaluciae* Ramos-Tafur and Ríos, 2007 with *Hypolobocera buenaventurensis* (Rathbun, 1905) from Colombia (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae). *Nauplius*, 23(2), 107–111. <https://doi.org/10.1590/s0104-64972015002322>

Akaike, H. (1973). Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In A. Kiyádó (Ed.), *Second International Symposium on Information Theory*. (pp. 267–281).

Aragón-Noriega, E. A., Alcántara-Razo, E., Padilla-Serrato, J. G., Rodríguez-Domínguez, G., & Castillo-Vargasmachuca, S. G. (2019). Morphological notes on *Pinnaxodes gigas* Green, 1992 (Brachyura, Pinnotheridae) emphasizing on length-weight relationship under multi-model approach. *Crustaceana*, 92(9), 1081–1097. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003932>

Arias, J., Gracia, A., & Campos, M. (2015). Ensamblaje de los cangrejos montanos (Decapoda: Pseudothelphusidae) en un bosque nublado en Tolima, Colombia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 57, 293–303.

Ariza, L., Núñez, J., Ruíz, L., & Méndez, E. (2018). Estructura y parámetros poblacionales de tres especies de jaibas de la familia Portunidae (Decapoda-Brachyura) de fondos blandos de la zona costera de Cumaná, Sucre-Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 56(2), 31–41.

Arvizu-Merín, C. A., Arzola González, J. F., Félix Ortiz, J. A., Rodríguez Domínguez, G., Marín Enríquez, E., & Aragón Noriega, E. A. (2021). Allometry of the box crab *Calappa convexa* De Saussure, 1853 (Brachyura, Calappidae) in the southeastern Gulf of California. *Crustaceana*, 94(11–12), 1407–1427. <https://doi.org/10.1163/15685403-bja10165>

Ayón-Parente, M., & Hendrickx, M. E. (2001). Biología y pesquería del cangrejo cajeta bola *Calappa convexa* De Saussure (Crustacea, Brachyura, Calappidae) en el Sureste del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 27(4), 521–541. <https://doi.org/10.7773/cm.v27i4.502>

Burnham, K., & Anderson, D. (2002). *Model selection and multimodel inference*. New York: Springer.

Campos, M. R. (1989). Análisis de características morfométricas en cangrejos (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae) usando métodos multivariados. *Caldasia*, 87–92.



- Campos, M. R., Acevedo, A., Lasso, C. A., & Fernández-Auderset, J. (2018).** Variaciones morfológicas y algunas notas bioecológicas del cangrejo de agua dulce *Neostrengeria charalensis* Campos y Rodríguez, 1985 (Decapoda: Pseudothelphusidae), en ambientes exo y endocársticos de los Andes colombianos. *Biota Colombiana*, 19(1), 63–81. <https://doi.org/10.21068/c2018.v19s1a07>
- Campos, M. R., & Rodríguez, G. (1995).** Two new species of freshwater crabs of the genus *Hypolobocera* from Colombia (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 108(4), 649–655.
- Chellegatti, I., da Costa, R. C., Castilho, A. L., Moraes, I. R. R., Herrera, D. R., & Davanso, T. M. (2021).** Morphological sexual maturity of the marine crab *Xanthodius parvulus* at the State Marine Park Laje de Santos, São Paulo, Brazil. *Iheringia - Serie Zoologia*, 111, 1–9. <https://doi.org/10.1590/1678-4766E2021028>
- Crowley, C. E., Gandy, R. L., Daly, K. L., & Leone, E. H. (2018).** Assessment of maturity in the eastern Gulf of Mexico Florida stone crab *Menippe mercenaria* fishery. *Transactions of the American Fisheries Society*, 147(6), 1124–1145. <https://doi.org/10.1002/tafs.10109>
- Fadlaoui, S., Mahjoub, M., El Asri, O., & Melhaoui, M. (2019).** Allometric growth of the freshwater Crab *Potamon algeriense* (Bott, 1967) (Decapoda, Brachyura, Potamidae) in Oued Zegzel, a mountain stream, in the northeast of Morocco. *International Journal of Zoology*, 5168639. <https://doi.org/10.1155/2019/5168639>
- Froese, R. (2006).** Cube law, condition factor and weight–length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Froese, R., Tsikliras, A. C., & Stergiou, K. I. (2011).** Editorial note on weight-length relations of fishes. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 41(4), 261–263. <https://doi.org/10.3750/AIP2011.41.4.01>
- Hartnoll, R. G. (1974).** Variation in growth pattern between some secondary sexual characters in crabs (Decapoda Brachyura). *Crustaceana*, 27(2), 130–136.
- Hartnoll, R. G. (1978).** The determination of relative growth in Crustacea. *Crustaceana*, 34(3), 281–293.
- Hartnoll, R. G. (2012).** Relative growth: description and analysis. *The Crustacea*, 3, 365–401. https://doi.org/https://doi.org/10.1163/9789004188259_008
- Hurvich, C. M., & Tsai, C. L. (1989). Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika*, 76(2), 297–307. <https://doi.org/10.1093/biomet/76.2.297>



- Leyva-Vázquez, Y., Arzola-González, J. F., Rodríguez-Domínguez, G., Ramirez-Perez, J. S., Ortega-Lizárraga, G. G., Félix-Ortiz, J. A., & Aragón-Noriega, E. A. (2022). Two new equations to evaluate allometry in the blue shrimp *Penaeus stylirostris* Stimpson, 1871 (Decapoda, Penaeidae) in a Coastal Lagoon from the Gulf of California. *Crustaceana*, 95(4), 421–438. <https://doi.org/10.1163/15685403-bja10200>
- Lima, M. C., Pereira, C. A. M., Araújo, M. S. L. C., Rodrigues, G. G., & Nicacio, G. (2021). Seasonal variation in biometric parameters in a population of the endangered blue land crab *Cardisoma guanhumi*: Indicators for assessment and management. *Regional Studies in Marine Science*, 45, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101804>
- Mamian, L., & Zamora, H. (2016). Ecological study of the river crab, *Hypolobocera* sp. (Crustacea, Decapoda) in the Mano de Oso Stream, Popayán botanical garden, municipality of Timbío, Cauca - Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(2), 142–150.
- Mariappan, P., Balasundaram, C., & Schmitz, B. (2000). Decapod crustacean chelipeds: an overview. *Journal of Biosciences*, 25(3), 301–313. <https://doi.org/10.1007/BF02703939>
- Mayrat, A. (2012). Relative growth and allometry. *The Crustacea*, 3, 319–364. https://doi.org/https://doi.org/10.1163/9789004188259_007
- Neter, J., Kutner, M., Nachtsheim, C., & Wasserman, W. (1996). *Applied linear statistical models*. Michigan: McGraw-Hill.
- Ortega-Lizárraga, G. G., Rodríguez-Domínguez, G., Pérez-González, R., & Aragón-Noriega, E. A. (2016). Crecimiento individual y longitud de primera madurez de *Callinectes arcuatus* en marismas nacionales, Nayarit, México. *Ciencia Pesquera*, 24(2), 3–11.
- Poettinger, T., Schubart, C., & Hlaus, S. (2016). Phylogenetic relationship among neotropical freshwater crabs of the Pseudothelphusidae (Decapoda, Brachyura) and the taxonomic position of *Ptychophallus* and related genera. *Crustaceana*, 89(14), 1717–1728.
- Ramos-Tafur, G. E. (2006). Dos nuevas especies de cangrejos de agua dulce (Brachyura: Pseudothelphusidae) de la serranía de Los Paraguas, cordillera occidental de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 54(3), 1047–1056.
- Ramos-Tafur, G. E., & Ríos, R. (2007). Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este 2007 *Hypolobocera olgalucia*, una nueva especie de cangrejo de agua dulce (Brachyura, Pseudothelphusidae) del río Chancos, departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 4(2), 39–45.
- Rivera-Pérez, J. M., Llano-Arias, C. A., & Gomes-Días, L. (2021). Contribución al conocimiento de los cangrejos (Meiura: Decapoda) de la Colección CEBUC, con registros adicionales en Colombia. *Actualidades Biológicas*, 43(115), 1–15. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v43n115a02>



Rivera-Pérez, J. M., Llano-Arias, C. A., & Guevara, G. (2022). Distribución espacial y conservación de cangrejos de agua dulce (Decapoda: Pseudothelphusidae) en Caldas, Colombia. *Biota Colombiana*, 23(2), 1–13.

Rodríguez, G., & Von Sternberg, R. (1998). A revision of the freshwater crabs of the family Pseudothelphusidae (Decapoda: Brachyura) from Peru with notes on the southern limits of the family. *Amazoniana*, 18(1–2), 11–28.

Salgado-Ugarte, I. H., & Saito-Quezada, V. M. (2020). Métodos Cuantitativos computarizados para biología pesquera. UNAM, FES Zaragoza.

Salgado-Ugarte, I. H., Martínez-Ramírez, J., Gómez-Marquez, J. L., & B. Peña-Mendoza. (2000). Some programs for fisheries biology. *Stata Technical Bulletin*, 35–47.

Sanvicente-Añorve, L., Salgado-Ugarte, I. H., & Castillo-Rivera, M. (2003). The use of kernel density estimators to analyze length-frequency distributions of fish larvae. *The Big Fish Bang*, 419–430.

Sugiura, N. (1978). Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics, Theory and Methods*, A7, 13–26.

Takeda, M., Sugiyama, H., Calvopiña, M., & Romero, D. (2014). Some freshwater crabs from South America-Ecuador. *Journal of Teikyo Heisei*, 25, 1-13.

Vega, A., Mena, C., & Robles, Y. (2018). Pesca artesanal de *Cardisoma crassum* (cangrejo) y *Ucides occidentalis* (mangote) en el sector Nororiental del Golfo de Montijo, Pacífico de Panamá. *Tecnociencia*, 20(2), 5–22.

Wehrtmann, I., Hernandez, D., & Cumberlandidge, N. (2019). Freshwater crabs as predators and prey: the case of *Ptychophallus uncinatus* Campos & Lemaitre, 1999 (Brachyura, Pseudothelphusidae) from Costa Rica, Central America. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(1), 18–26.

Yáñez, M., & Zambrano, R. (2022). “Morphometric variables of *Hypolobocera aequatorialis* collected in Ecuador”, Mendeley Data, V1. <https://doi.org/10.17632/79db82nms9.1>

Zambrano, R. (2021). Métodos para el análisis del crecimiento relativo y madurez sexual morfométrica en crustáceos: Una guía práctica. *Geomare, A.C.*

Zambrano, R., & Meiners, C. (2018). Notas sobre taxonomía, biología y pesquería de *Ucides occidentalis* (Brachyura: Ocypodidae) con énfasis en el Golfo de Guayaquil, Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 25(1), 55–66.

Zambrano, R., & Olivares, S. (2020). Alometría y madurez sexual morfométrica de *Cardisoma crassum* (Decapoda: Gecarcinidae) en la costa continental norte de Ecuador. *Geomare Zoologica*, 25–33.

Zambrano, R., & Ramos, J. (2020). Relative growth of *Menippe frontalis* (Crustacea: Brachyura) in the Gulf of Guayaquil, Ecuador, by multi-model approach. *Nauplius*, 28.

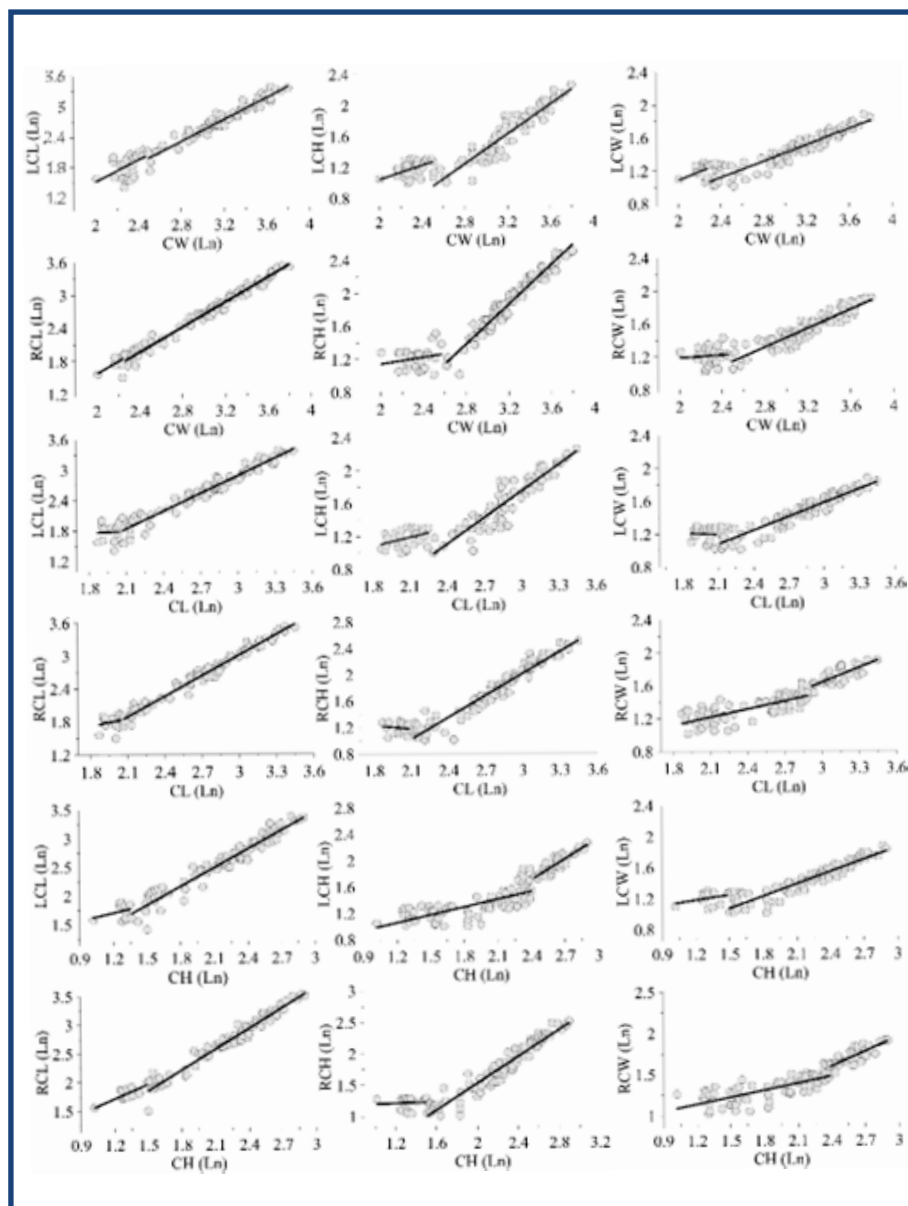
► SUPPLEMENTARY MATERIAL

Figure 1S. Morphometric relationships in males of *Hypolobocera aequatorialis* collected in the Pintohuayco site, Canton of Alausí, Province of Chimborazo, Ecuador. Carapace width, length, and height (CW, CL, and CH, respectively). Right chela length, height, and width (RCL, RCH, RCW, respectively) and left (LCL, LCH, LCW, respectively).

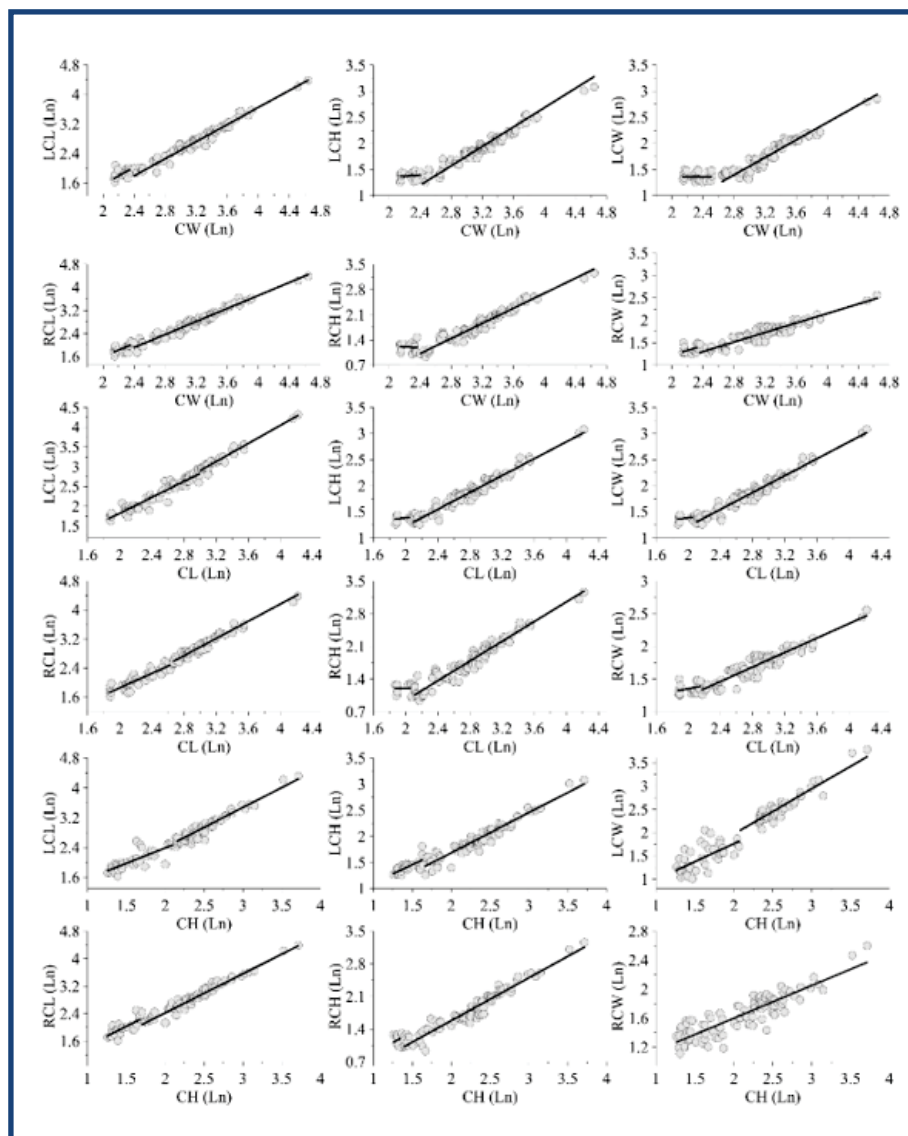


Figure 2S. Morphometric relationships in females *Hypolobocera aequatorialis* collected in the Pintohuayco site, Canton of Alausí, Province of Chimborazo, Ecuador. Carapace width, length, and height (CW, CL, and CH, respectively). Right chela length, height, and width (RCL, RCH, RCW, respectively) and left (LCL, LCH, LCW, respectively).



 Artículo Científico

Crecimiento y sobrevivencia de la langosta Australiana *Cherax quadricarinatus* en condiciones de laboratorio.

Growth and survival of the Australian redclaw lobster *Cherax quadricarinatus* under laboratory conditions.



CREATIVE COMMONS



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina

 1. Armando A. Ortega Salas

 0000-0002-5217-5932

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Calzada Joel Montes Camarena s/n Mazatlán 82040, Sinaloa, México.

Autor de correspondencia: ortsal@ola.icmyl.unam.mx

 2. Hugo Reyes Bustamente

Facultad de Ciencias del Mar, UAS Paseo Claussen s/n Mazatlán 82040, Sinaloa, México.



Crecimiento y sobrevivencia de la langosta Australiana *Cherax quadricarinatus* en condiciones de laboratorio.

Growth and survival of the Australian redclaw lobster *Cherax quadricarinatus* under laboratory conditions

► RESUMEN

Se realizaron estudios de laboratorio sobre la langosta australiana de agua dulce *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) durante 120 días para analizar los efectos de la dieta sobre el crecimiento y sobrevivencia. Se utilizaron tres acuarios de 90-L para cada una de las dietas: 1) alimento comercial con 30% proteína cruda (PC), 2), con 35% PC y 3) con 40% PC. La densidad juvenil inicial fue de 10 organismos por acuario. Fueron alimentados dos veces al día 10% de su biomasa. Con 40% PC los juveniles alcanzaron un peso máximo de 10.43 g y una longitud total de 8,64 cm; con 35% PC: llegaron a 6.77 g y 7.10 cm y con 30% PC: 5,97 g y 6,74 cm. Diferencias estadísticas no fueron observadas en langostas australianas cuando se alimentaron con las tres dietas. La langosta fue mantenida a una temperatura entre 27.0 y 33.4° C y el pH entre 7.7 y 8.2. La sobrevivencia fue como sigue: 47% con una dieta de 30% PC, 60% con 40% PC y de 53% con 35% PC. El factor de conversión de alimentos promedio para las diferentes dietas comerciales fue: 3.22:1 con 30% PC, de 2.9 con 35% PC, y 3.47:1 con 40 PC. El crecimiento de la langosta alimentada con 40% PC fue mayor, pero con 30% y 35% PC no mostraron diferencias significativas.

Palabras clave: *Cherax quadricarinatus*, crecimiento, sobrevivencia, factor de conversión, densidad, dieta.



► ABSTRACT

Laboratory studies on the Australian redclaw lobster *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) were performed during 120 days to analyze dietary effects on growth, and survival. Three different diets were used: 1) commercial feed with 30% crude protein (CP), 2) with 35% CP, and 3) with 40% CP. Three 90-L aquaria were used for each of the diets; the initial juvenile density was 10 organisms per aquarium. They were fed twice daily 10% of their biomass. Using 40% CP, juveniles reached a maximum average weight of 10.43 g, a total length of 8.64 cm; with 35% CP: they reached 6.77 g and 7.10 cm, and with 30% CP: 5.97 g, and 6.74 cm. Statistical differences were not observed when they were fed three diets. The red claw was maintained at a temperature between 27.0 and 33.4° C and a pH between 7.7 and 8.2. Surviving was as follows: 47% with 30% CP diet, 60% with 40% CP, and 53% with 35% CP. The mean food conversion rate for the different commercial feeds was: 3.22:1 with 30% CP, 2.9:1 with 35% CP, and 3.47:1 with 40% CP. Growth of the red claw fed with 40% CP grows more, but with 30 and 35% CP do not show grows differences.

Keywords: *Cherax quadricarinatus*, growth, survival, conversion factor, density, diet.

► INTRODUCTION

The Australian redclaw lobster *Cherax quadricarinatus* is native to the rivers of Queensland, Australia, and the South of Papua, New Guinea. Morales (1998) mentioned that this species has a high growth rate, reaching 400 g in 6 months, as well as a high fecundity, and spawns 3 to 5 times per year, producing between 300 and 800 eggs each time. In Australia from 1985 to 1990 the production of this lobster reached 500 mt with a value of 10 million Australian dollars, and for 1994 to 1995 the production reached to 4000 mt valued in \$80 million (Villarreal-Colmenares 2000).

For commercial production, Hutchings & Villarreal-Colmenares (1996) showed that an adequate protein level in the diet and adequate amount of food are necessary for the organism to reach a good size. Nutritional requirements, gonad development, growth and survival in the redclaw lobster were studied by Villarreal-Colmenares (2002) in Mexico, using different crude protein percentages in food. When dietary protein was



elevated from 13% to 18%, 25% or 32% crude protein (CP) Pavasovic, Anderson, Mather & Richardson (2007) found a general increase in the specific growth rate and the low-protein diet (13% CP) showed a high feed conversion factor.

The corresponding authority of Mexico (SEMARNAT) registered in its annual report a production of 3,000 kg/ha per cycle, obtained in 12 farms occupying 47.5 ha (Diario Oficial de la Federación, 2004). Villarreal-Colmenares & Naranjo (2006) mentioned a yield of 3500 kg/ha/cycle, in 2.5-3 cycles per year, and a final weight between 40 and 60 g and 60 and 90 g. The objective of this study was to examine dietary effects on growth and survival of the Australian redclaw lobster using three different protein concentrations of a commercial balanced food under laboratory conditions.

► MATERIALS AND METHODS

The temperature, was recorded with a thermometer of the Mercury brand Broken scale -20 to 110° C with an accuracy of ± 1 digit. PH-was determined with a potentiometer Corning brand with accuracy of ± 1 .

Three aquaria were set up per diet; the initial juvenile density was of 10 organisms per each 90-L aquarium in a recirculation system during 120 days. They were fed twice daily 10% of their biomass. Three different diets were used: 1) commercial feed Tilapia chow of Purina with 30% crude protein (CP), 2) Piasa's camaronina with 35% CP, and 3) Purina's Camaronina with 40% CP. Their ingredients are: fish meal, wheat meal, soya and wheat paste, fish oil, lecithin, vitamin A, B2, C, Ek3, thiamin (B1), riboflavin (B2), pyridoxine (B8), cyanocobalamine (B12), niacin, folic acid, inositol, iron, copper, zinc, manganese, selenium, iodine, antioxidant, calcium, phosphorous, cobalt, agglutinant (Table I).

Table I . Bromatologic analysis of the commercial food

Content	Purina's tilapia chow	Piasa's camaronina	Purina's camaronina
Moisture (max)	12.0	12.0	12.0
Protein (min)	30.0	35.0	40.0
Fat	5.0	7.0	7.0
Crude fiber	5.5	3.0	3.0
Ashes	11.0	11.0	11.0
Phosphorus		1.0	
Calcium		1.5	
F.E.N.	36.5	32.0	27.0

Free extract of nitrogen (FEN) (100-content)

A least squares linear regression was applied to the length growth data for each treatment and then a coincident curves test was applied to assess statistical differences in growth (Haddon 2001). The redclaw lobster was maintained at a temperature between 27.0 and 33.4° C and a pH between 7.7 and 8.2. The initial weight ranged between 0.27 and 3.00 g and length between 3.08 and 3.13 cm. The rate of growth, based on total length (TL cm) (tip of the rostrum to distal end of the telson). The weight was recorded with a balance granataria GT 480 Ohaus (0.000 g) and measured in a Petri dish using millimetre paper, every 15 days (Figure 1). Survival was calculated as the number of organisms decreased for a given period using three different diets (Figure 1).

The feed conversion factor was estimated from three aquaria of each diet used according to Parker (1987), as $FCA = Ac/Ib$; where FCR= feed conversion rate, Ac= food provided, Ib= increase in biomass (Table II).

The average water temperature was 30.28°C (27.0-33.4°C) and the average pH was 8.09 (7.7-8.4).

The average weight and length growth rates were higher with the higher protein diets (Figure 1). Juveniles reached a maximum average weight of 10.43 g and a total length of 8.64 cm with the 40% CP diet; with the 35% CP diet, these values were 6.77g and 7.10 cm, and with the 30% CP diet, they were 5.97g and 6.74 cm. The test of coincident curves revealed significant differences in length growth between 30% CP and 40% CP diets with $P=0.0227$ and $F=6.9225$, as well as between 35% CP and 40% CP diets with a $P=3.76E-5$ and $F=32.7464$. There were no significant differences between 30% CP and 35% CP diets with $P=0.9999$ and $F=0.0045$.

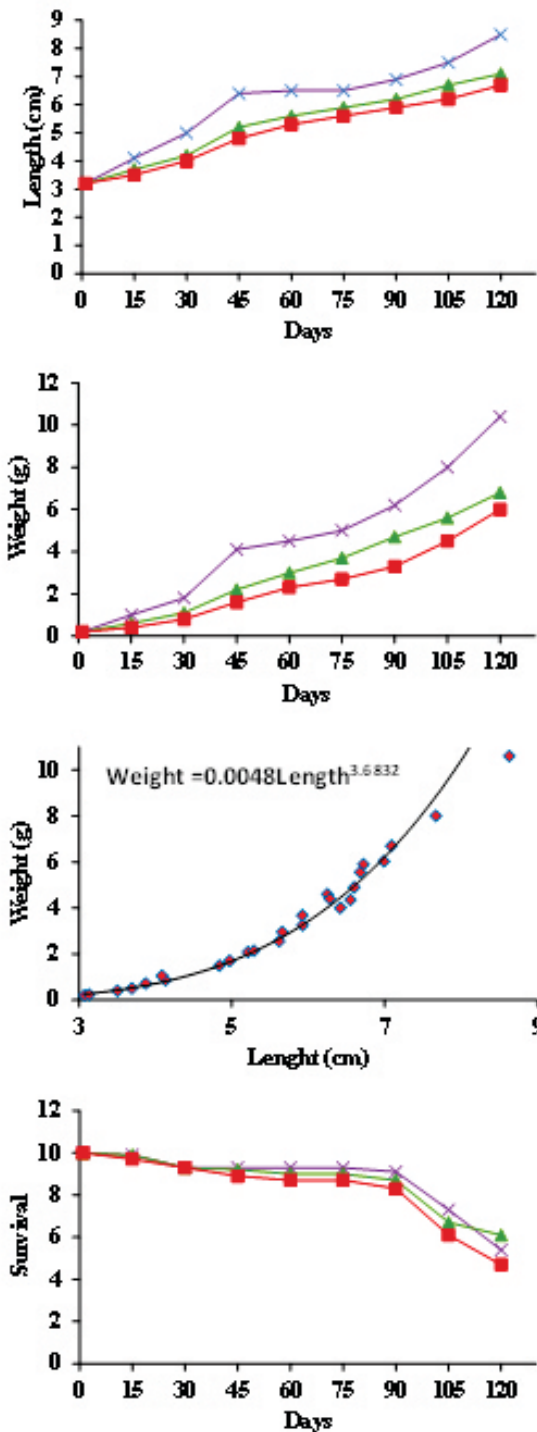


Figure 1.- The average weight, length in days, weight-length relationship and survival. With 30% CP is represented by ■, with 35% CP is represented by ▲, and with 40% is represented by X.



Table II. - Food Conversion rate (FCR) using three different aquaria of each diet used.

Aquarium number	Provided food			Gain weight		
	30%	35%	40%	30%	35%	40%
1	7.11	8.1	10.55	2.24	2.2	3.12
2	5.21	5.7	10.16	1.53	2.1	3.07
3	4	5.3	9.83	1.53	2.1	2.6
Total	17.09	19.1	30.54	5.3	6.4	8.79
FCR	3.22	2.9	3.47	1	1	1

The three treatments gave the following weight-length relationship $Weight=0.0048Length^{3.68}$ and $R^2=0.98$ (Figure 1).

During molting many redclaw lobsters were attacked by their partners. Survival did not show significant differences among the commercial feeds (Figure 1) with 30% CP diet, mean survival was 53%; with 35% CP diet, 40%; and with 40% CP diet, 47%; after 90 days mortality increased. The mean food conversion rate (FCR) for the different commercial feeds was: with 30% CP, 3.22:1; with 35% CP, 2.9:1; and with 40% CP, 3.47:1 (Table II).

► DISCUSSION

Meade & Watts (1997) and Jones (1995) stated that grow in *C. quadricarinatus* is influenced by temperature, oxygen, availability of food, competition for food, and space. The pH values used in this study coincide with the optimal range found by Swingle (1961). FAO (2013) mentioned that preferred temperature range is 23 °C to 31 °C and it will perish at <10 °C and >36 °C.

Cortés-Jacinto, Villarreal-Colmenares, Civera-Cerecedo & Martínez-Córdova (2003) reported that juveniles grew and survived fine with a diet of 31% CP; however Campaña-Torres, Martínez-Córdova, Villarreal-Colmenares, & Civera (2005) found that during the first 47 days survival and mean weight were higher using diets of 37% and 45% CP with 84.00 to 86.67% survival and 1.52 ± 0.11 to 1.60 ± 0.130 g. Also they found that there were statistical differences between 20.45 and 28.50% C.P. with 37.33 and 45.44% C.P., the level of protein in the diets have an effect in the productive response of the juveniles. In our study of 120 days using 40% CP survival was of 60% with a mean weight of 10.43 g, and a total length of 8.64 cm. The conclusion is that the growth and survival of redclaw lobster under culture conditions is better using diets with a protein content greater than 35%.



FAO (2013) mentioned that it is most effective to have a protein content of 25% and a lipid content of 8%; grow-out periods may vary between 6 months and 15 months depending on the redclaw market, redclaw are commonly marketed in 20 g size grades ranging from 30-50 g (FAO 2013).

▶ ACKNOWLEDGMENTS

We appreciate the technical support of P. Zuñiga K., A. Nuñez P. and S. Rendón R.

▶ LITERATURE CITED

Campaña-Torres, A., Martínez Cordova L. R., Villarreal-Colmenares H., & Civera, C. R. (2005). Estudio de los parámetros de producción del acocil australiano *Cherax quadricarinatus* (Martens, 1858), variando el nivel de proteína en su dieta. *Hidrobiológica* 15(3), 255-260.

Diario Oficial de la Federación, (2004). *Carta Nacional Pesquera* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.dof.gob.mx/>

Cortés-Jacinto, E., Villarreal-Colmenares, H., Civera-Cerecedo R. & Martínez-Córdova, R. (2003). Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture Nutrition* 9 (4), 207 – 213.

FAO (2013). *Cultured Aquatic Species Information Programme. Cherax quadricarinatus.* Cultured Aquatic Species Information Programme. Text by Jones, C. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 13 January 2011. [Cited 5 February 2013].

Haddon, M. (2001). *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*, Boca Raton, Chapman and Hall/CRC.

Hutchings R. W. & Villarreal-Colmenares, H. (1996). *Biología y Cultivo de la langosta de agua dulce Cherax quadricarinatus.* Manual de producción. Navimar, S. A. Guayaquil, Ecuador.

Jones, C. M. (1995). Effect of temperature on growth and survival of the tropical freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda, Parastacidae). *Freshwater Crayfish* 8, 391-398.

Meade, M., & Watts, S. (1995). Weight gain and survival of juvenile Australian crayfish *Cherax quadricarinatus* fed formulated feeds. *Journal World Aquaculture Society.* 26 (4), 469-474.

Morales, D. (1998). *La langosta de agua dulce: biología y cultivo.* México, AGT Editor S. A.

Parker, N. (1987). Feed conversion index; controversy or conversion program. *The Progressive Fish-Culturist* 49 (3), 161-166.



Pavasovic, A., Anderson, A. J., Mather, P. B., & Richardson, V. (2007). Influence of dietary protein on digestive enzyme activity, growth and tail muscle composition in red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Research*, 38(6), 644-652.

Swingle, H. S. (1961). Relationships of pH of pond waters to their suitability for fish culture. *Proceeding Pacific Science Congress*, 9, 72-75.

Villarreal-Colmenares, H. (2000). El cultivo de la langosta de agua dulce. Una oportunidad para la diversificación acuícola. En Z. Bonilla & I. Burciaga (eds), *Memorias III Simp. Inter. de Acuac.*, (110-135). Culiacán, Sinaloa, México. Once Ríos Editores.

Villarreal-Colmenares, H. (2002). Avances en la nutrición de *Cherax quadricarinatus*. En: L. E. Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, V. Tapia-Salazar, M. G. Gaxiola-Cortés, & N. Simoes, (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola* (114-142) Cancún, Quintana Roo, México Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola.

Villarreal-Colmenares, H. & Naranjo, P. J. (2006). Cultivo de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* "Red claw" Una oportunidad para la diversificación de la industria acuícola. *Industria Acuicola*, 2(4), 28-33.



Artículo Científico

Análisis espacio temporal de la madurez sexual del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico oriental tropical.

Spatiotemporal analysis of sexual maturity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the tropical eastern Pacific Ocean



CREATIVE COMMONS



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina



1. José Cristóbal Román Reyes



0000-0002-2367-7183

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n
C.P. 82040, Mazatlán, Sinaloa.

Autor de correspondencia: jocrore@uas.edu.mx



2. Ramón Enrique Morán Angulo

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n
C.P. 82040, Mazatlán, Sinaloa.



3. Sofía Santos Guzmán

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n
C.P. 82040, Mazatlán, Sinaloa.



4. José Roberto Román Pérez

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n
C.P. 82040, Mazatlán, Sinaloa.



Análisis espacio temporal de la madurez sexual del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico oriental tropical.

Spatiotemporal analysis of sexual maturity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the tropical eastern Pacific Ocean

► RESUMEN

Se presenta el análisis descriptivo de la variación espacio-temporal del índice de madurez (IG) de *Thunnus albacares* capturado por la flota atunera mexicana de cerco, durante 1988-1989. Se determinan las zonas y épocas reproductivas de la especie dentro de la zona económica exclusiva de México (ZEEM) y fuera de ella (FZEE). En el área de estudio el atún aleta amarilla parece iniciar la madurez a los 65 cm de longitud furcal. Se detectaron los valores de máxima madurez en un período que va de febrero hasta noviembre, dentro de este lapso, la mayor actividad reproductiva se registró en febrero, mayo, agosto y octubre, siendo más intensa durante agosto y octubre, probablemente porque en estos meses se encontró a la mayoría de los especímenes de tallas mayores de los 100 cm. Las áreas de reproducción más importantes dentro de la ZEEM se localizaron en las zonas 1 (25°- 30°N y 115°- 120°W), 4 (20°- 25°N y 105°- 110°W), 8 (10°- 15°N y 95°- 100°W) y FZEEM (03°- 06°N y 115°- 125°W).

Palabras claves: Índice de madurez, reproducción, atún, *Thunnus albacares*.



► ABSTRACT

A descriptive analysis of the time-space variation of the maturity index (IG) for *Thunnus albacares* caught by the Mexican purse seine fleet, inside and out of the Mexican economic exclusive zone (ZEEM), during 1988-1989, shows that yellowfin tuna begins maturation as it reaches 65 cm of fork length. The values of maximum maturity were detected from February to November, with greater reproductive activity in February, May, August and October, being much more intense during August and October, probably because in these months the majority of specimens larger than the 100 cm fork length. The most important reproductive zones inside the ZEEM were located at 1 (25°- 30°N y 115°- 120°W), 4 (20°- 25°N y 105°-110°W), 8 (10°- 15°N y 95°- 100°W) and outside ZEEM in 03°- 06°N y 115°- 125°W.

Keywords: Maturity index, reproduction, tuna, *Thunnus albacares*.

► INTRODUCCIÓN

La especie *Thunnus albacares*, comúnmente llamada atún aleta amarilla, es el pilar de la pesquería de túnidos en nuestro país, como lo evidencian las capturas mayores a 100,000 toneladas obtenidas en los últimos años (Anónimo, 1986, 1987, 1988, 1989).

Las capturas reportadas y la capacidad de acarreo de la flota atunera mexicana, desde 1975 a 1988, han aumentado considerablemente. De 1976 a 1984 la flota atunera ocupó el segundo lugar en capacidad de acarreo en el Pacífico oriental, el cual aumentó de un 10% a un 35% del total de la flota atunera internacional. A partir de 1985, México ocupa el primer lugar en capacidad de acarreo. En 1984-1985 ocupó el segundo lugar como productor de atún aleta amarilla en América (Anónimo, 1985).

El conocimiento de la estructura de la población es de importancia fundamental para la administración adecuada de la pesquería; la evaluación cuantitativa de la intensidad pesquera y las pautas de variabilidad geográfica de las capturas, así como las características biológicas de la especie, permiten una mayor comprensión de la estructura y dinámica de la población.



Cole (1980) reporta que el atún aleta amarilla puede reproducirse durante todo el año en el océano Pacífico. Joseph (1963) considera que es una especie que presenta desoves sucesivos dentro del mismo período de reproducción y la fecundidad puede disminuir conforme se presentan los desoves parciales. Estos pueden suceder a diario, con una periodicidad de 1.27 días y entre las 20:00 y 24:00 horas (Anónimo, 1987).

González-Ramírez (1988), con base en los estudios de madurez y el uso del índice de madurez gonadal, determinó que, dentro de la zona económica exclusiva de México, el atún aleta amarilla puede reproducirse durante los meses de marzo a noviembre, presentando en abril, mayo, octubre y noviembre la mayor actividad reproductiva, que se asocia con temperaturas superficiales del mar de 24°C. Dicho autor detectó al sur de México, las Islas Revillagigedo y la boca del golfo de California como zonas de reproducción de esta especie, siendo el sur de México la más importante durante octubre y noviembre, por grandes concentraciones de atún aleta amarilla mayores de 100 cm de longitud furcal. La estructura por talla varía según el área de pesca en el Pacífico oriental mexicano. Las capturas en las costas de Baja California y en el interior de la boca del golfo de California muestran un amplio intervalo de tallas, que van de los 45 a 135 cm. En las Islas Revillagigedo se encuentran tallas medianas de 55 a 100 cm y en el sur de México predominan las tallas mayores a 90 cm (González-Ramírez & Quiñones-Velázquez, 1986).

El presente estudio aporta información biológica del atún aleta amarilla que se localiza y se captura en aguas mexicanas, utilizando como arte de pesca la red de cerco, con el fin de definir zonas, épocas y talla de primera madurez gonadal.

► MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras obtenidas para el presente trabajo provienen de ejemplares capturados por la flota atunera mexicana de cerco durante 1988-1989, en el área comprendida entre los 3° y 28° de latitud Norte y entre los 97° y 125° longitud Oeste, dentro de la cual se ubica la zona económica exclusiva de México (ZEEM) (Figura 1).

Para facilitar el análisis y la ubicación geográfica de los muestreos, la ZEEM fue dividida en estratos geográficos, definidos por el proyecto atún del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas de la Paz, Baja California. Este sistema divide la ZEEM en 8 áreas geográficas, con base en su fisiografía (area cuadriculada en figura 1). Se utilizan áreas de 5x5 grados de latitud y longitud en los cuales se ubican los muestreos biológicos en espacio y tiempo, mediante la ayuda de bitácoras elaboradas a bordo de las embarcaciones cerqueras al momento de las capturas.

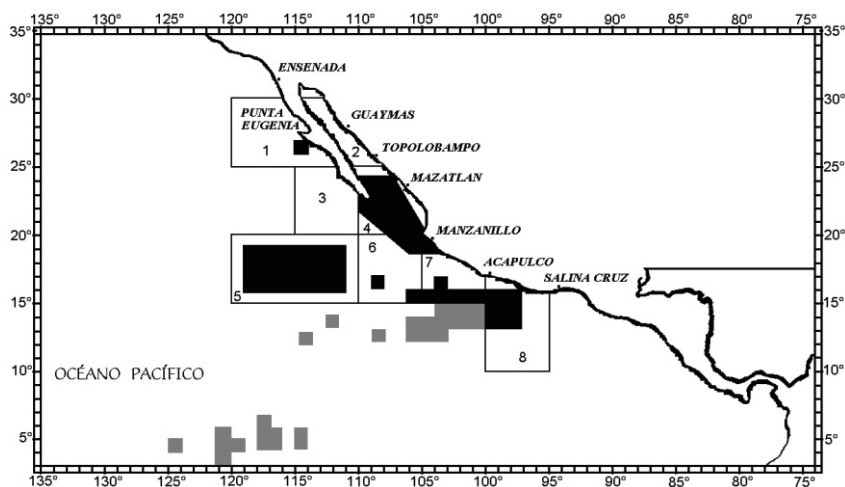


Figura 1.- Origen de las muestras y estratos geográficos definidos para la zona económica exclusiva de México. Areas sombreadas de color oscuro indican muestras de la ZEEM y de color gris las que tuvieron origen FZEEM.



Se determinó arbitrariamente un tamaño de muestra de 10 a 25 organismos, por bodega, para el muestreo biológico aleatorio. De acuerdo con Helfman *et al.* (1997), enfocamos especial atención a las hembras debido su importancia maternal en la producción de descendencia. Se tomó la longitud furcal de cada ejemplar con un ictiómetro tipo Vernier de 200 cm de longitud, con precisión de 0.5 cm y posteriormente se procedió al eviscerado, para la extracción de gónadas, sexado y determinación de los estadios de madurez macroscópica de Orange (1961), así como el índice gonádico utilizado por Orange (1961) para el atún aleta amarilla y propuesto por Schaefer & Orange (1956):

$$IG = \frac{W \cdot 10^8}{Lf^3}$$

Donde: IG = Índice de madurez; W = peso de las dos gónadas en g; Lf^3 = longitud furcal al cubo (mm) y 10^8 = ajuste matemático.

▶ RESULTADOS

Tomando en cuenta la relación que se establece entre los estadios de madurez macroscópica observada, la longitud furcal media de los individuos por cada estadio y el promedio de los índices gonádicos obtenidos (Figura 2), se determinó el valor de 25.4 del índice, para garantizar que una hembra se encuentra sexualmente madura y próxima a desovar.

Es importante señalar que el estadio de madurez III (próximo a madurar) registra un valor del índice más elevado (27.5) que el estadio IV (25.4), que corresponde a maduros. Lo anterior es debido quizá a los errores de apreciación, al asignar los estadios de madurez macroscópica propuesta por Orange (1961).

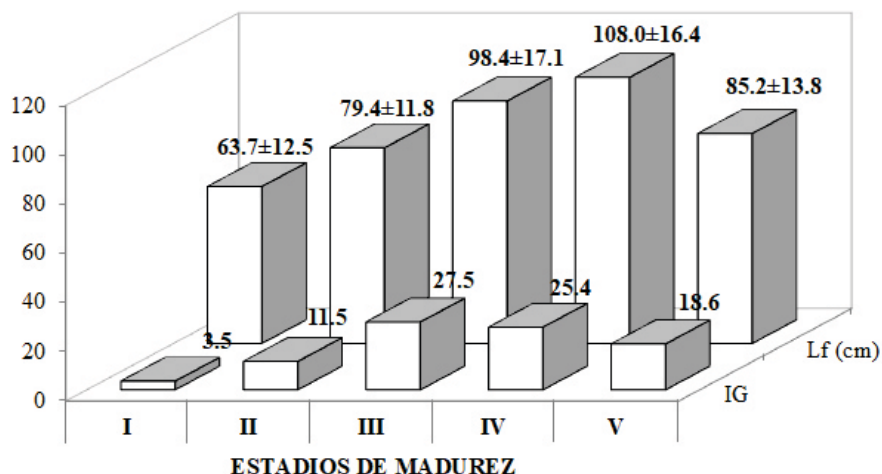


Figura 2.- Relación de los estadios de madurez macroscópica con el índice de gónadas promedio y la longitud furcal (promedio ± desviación estándar) del atún aleta amarilla, obtenidos en el período de estudio.

Para relacionar la longitud furcal con el índice de madurez, se elaboró un diagrama de dispersión con las 214 hembras muestreadas en el período de estudio; solo las longitudes mayores a 65 cm presentan un índice de gonadas igual o mayor al valor de 25.4 (máximo = 86.1), por lo que se considera como la talla mínima para iniciar la madurez (Figura 3).

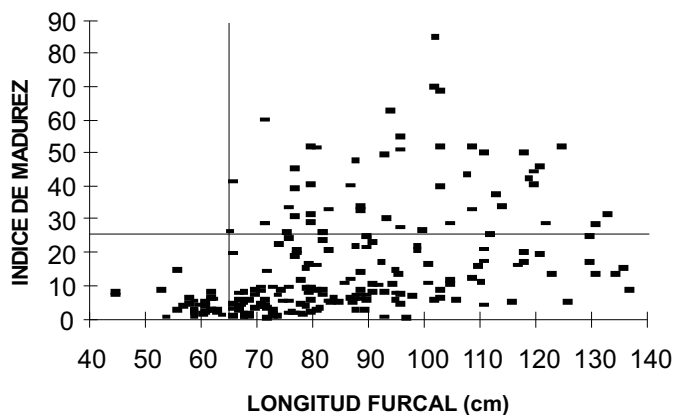


Figura 3.- Diagrama de dispersión de tallas en relación al índice de madurez de hembras.

El promedio mensual del índice de madurez de hembras mayores a 65 cm (Figura 4), muestra que durante febrero, marzo y abril, el índice se encuentra por debajo del valor de 25.4, observando la posibilidad de maduración o proximidad a la madurez en febrero, con un índice gonádico de 20.1. Posteriormente, el índice se incrementa en mayo hasta un valor de 31.7 e inicia el descenso en junio hasta un mínimo en julio, registrando también valores por debajo de 25.4. Posteriormente, el índice gonádico se incrementa al segundo máximo en agosto (54.3) y octubre (56.5), para de nuevo tomar valores mínimos durante noviembre (17.1) y diciembre (8.1).

Esta variación anual del índice de madurez indica claramente que durante el año se detectan dos temporadas con valores altos: una posiblemente en febrero y mayo y otra durante agosto y octubre, lo que permite suponer que durante estos períodos se alcanza la máxima madurez para el desove. Apparently durante febrero y mayo la intensidad del proceso reproductivo es menor que en el segundo período.

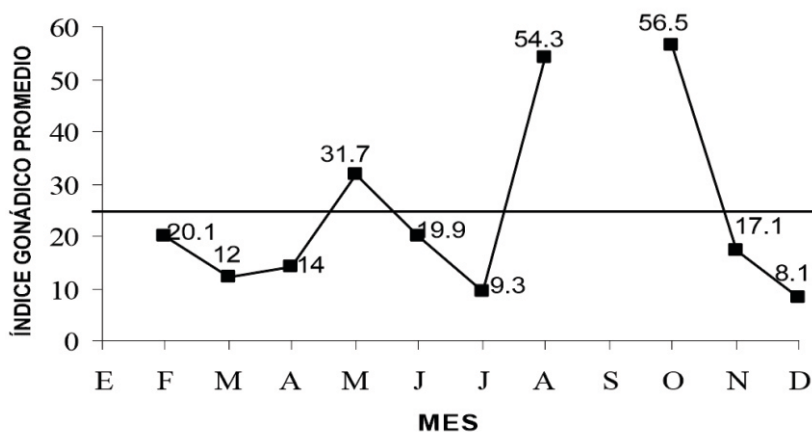


Figura 4.- Promedio mensual del índice de madurez para hembras mayores a 65 cm de longitud furcal.

El comportamiento de los valores del índice de madurez en cada área describen diferencias para cada zona o estrato en la que se dividió la ZEEM, incluyendo muestras de fuera de ella (FZEEM) (Tabla I). Se tomaron los datos correspondientes a organismos con tallas mayores a 65 cm (inicio de madurez sexual), que provienen de las zonas 1, 4, 5, 6, 7, 8 y FZEEM. De la zona 1 sólo se logró la aportación de información de agosto, con un índice de madurez de 54.3. En la zona 4 se obtuvieron datos de febrero a mayo y de noviembre a diciembre, en los cuales se observa que el valor más alto se presenta en mayo (37.3), bajando de intensidad en noviembre (19.5) y diciembre (8.1). En la zona 5 la información proviene de junio y julio, con valores de índice de 21.6 y 9.5, respectivamente.

Tabla I.- Índice de madurez promedio mensual por zonas, para hembras mayores a 65 cm de longitud furcal.

Mes	Z O N A S						
	1	4	5	6	7	8	FZEE
Enero							
Febrero		4.7				44	31.7
Marzo		7.2		4.2	15.3	11.6	12.9
Abril		2.6				10.9	17.5
Mayo		37.3		23.2			
Junio			22	16.2			22.1
Julio			9.5	8.5			
Agosto	54.3						
Septiembre							
Octubre							56.5
Noviembre		19.5		13.7			19.8
Diciembre		8.1					

En la zona 6 se presenta un valor máximo en mayo (23.2), disminuyendo al mínimo en julio (8.5); aumentando moderadamente en noviembre (13.7). De la zona 7 sólo se tiene información de marzo, con un índice de 15.3. La información recabada para la zona 8 corresponde de febrero a abril, con un índice de 44.0 para febrero, disminuyendo en marzo (11.6) y abril (10.9).



El análisis de los individuos que provienen de FZEEM, muestra un índice gonádico superior en febrero de 31.7, disminuye en marzo (12.9) y se incrementa en abril (17.5) y junio (22.1). En octubre se registra un índice con valor de 56.5. En noviembre se detectó un índice de madurez con valor de 19.8.

Los datos de madurez por zona indican que en febrero se registra madurez FZEEM y en la zona 8, en mayo hay maduración en el estrato 4 y probablemente en la zona 6, ya que durante este mes se encuentran organismos próximos a madurar con un índice de 23.2. Se observa también que en junio se presentan individuos próximos a madurar o probablemente en proceso de maduración en el estrato 5, ya que se obtuvo un índice de 21.6. Lo anterior muestra áreas y tiempos de reproducción y el primer período de desove que parecen suceder de febrero a mayo.

El segundo período de reproducción o desove que ocurre durante el año, se registra en la zona 1 durante agosto con un índice gonádico de 54.3 y FZEEM en octubre, con un índice gonádico de 56.5 y 19.8 en noviembre. La zona 4 registra un índice gonádico de 19.5, en noviembre, y la zona 6 no muestra valores importantes.

► DISCUSIÓN

Los resultados parecen coincidir con los reportes de Orange (1961), Joseph (1963), Cole (1980) y González-Ramírez (1988), con respecto a la posible presencia de reproducción durante todo el año en el Océano Pacífico oriental tropical, con desoves sucesivos dentro de los mismos períodos de reproducción y las áreas más importantes, con organismos maduros dentro de la zona económica exclusiva de México, principalmente en aguas con temperaturas entre 26 °C y 30 °C (Schaefer, 1998).



Todos los organismos menores de 65 cm presentaron índices gonádicos inferiores a 15, menor al valor de 20 utilizado por Knudsen (1977), para indicar proximidad a la madurez sexual o un estado maduro (un valor de 30 indicaría desove inminente); mientras que, según Joseph (1963) y Schaefer & Orange (1956), el valor que indica madurez segura es un índice de 40. En este estudio, el intervalo del IG reportado fue muy amplio (0.9-86.1), próxima al reportado por Orange (1961) (1.0-67.2). Se determinó un índice gonádico mínimo de 25.4 para un organismo sexualmente maduro, próximo a desovar, y la talla de 65 cm como la mínima longitud furcal para iniciar la madurez sexual, una talla muy similar a las reportadas por Yuen y June (1957) (70 cm), Hennemuth (1961) (60 cm) y de entre 70 y 80 cm reportada por Orange (1961). De acuerdo con los resultados de este estudio y los reportes en la literatura, el atún aleta amarilla con longitud furcal de entre 65 y 132 cm estaría desovando en un amplia extensión del Océano Pacífico oriental tropical, incluyendo la ZEEM, con desoves más intensos alrededor de los 100 cm de longitud furcal.

▶ AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo de la Secretaría de Educación Pública (DGICSA) y la Universidad Autónoma de Sinaloa, a través de la Coordinación General de Investigación y Posgrado. Los responsables de la planta procesadora de atún Pescados Industrializados, S. A., colaboraron en todo momento durante el desarrollo de la investigación. Nuestro agradecimiento a todos aquellos que revisaron el manuscrito por sus atinadas sugerencias.

▶ LITERATURA CITADA

Anónimo, 1985. Comisión Interamericana de Atún Tropical. Reporte anual para 1984.

Anónimo, 1986. Comisión Interamericana de Atún Tropical. Reporte anual para 1985.

Anónimo, 1987. Comisión Interamericana de Atún Tropical. Reporte anual para 1986.

Anónimo, 1988. Comisión Interamericana de Atún Tropical. Reporte anual para 1987.

Anónimo, 1989. Comisión Interamericana de Atún Tropical. Reporte anual para 1988.



Cole, J. S. (1980). Synopsis of biological data on the yellowfin tuna *Thunnus albacares*, from the Pacific ocean. En: W. H. Bayliff (ed). *Synopsis of biological data on eight species of scombrids. Inter-American Tropical Tuna Commission; Special report*, 2: 71-150.

González-Ramírez, P. G., & Quiñonez-Velázquez, C. (1986). Composición por tallas de la captura del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares* en el Pacífico oriental mexicano. En: Memoria del primer taller del comité técnico consultivo del atún y picudos del Pacífico. Ensenada, B. C., *CRIP*, 2: 25-35.

González-Ramírez, P. G. (1988). Zonas de reproducción del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría. CICIMAR.

Helfman, G. S., Collette B. B. & Facey D. E. 1997. The diversity of fishes. Massachusetts, USA: Blackwell Science, 529 p.

Hennemuth, R. C. (1961). Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, for the years 1954-1958. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission* 5(1): 1-112.

Joseph, J. (1963). Fecundidad del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* y del barrilete *Katsuwonus pelamis* en el océano Pacífico oriental. *CIAT. La Jolla, California, EEUU*, 7(4): 247-292.

Knudsen, P. F. (1977). Desove del atún aleta amarilla y discriminación de las subpoblaciones. *CIAT. La Jolla, California, EEUU*, 17(2): 117-119.

Orange, C. J. (1961). Desoves del atún aleta amarilla y barrilete en el océano Pacífico oriental, según el estudio del desarrollo de la gónada. *CIAT. La Jolla, California, EEUU*, 5(6): 459-526.

Schaefer, M. & Orange, C. G. (1956). Estudio mediante el examen de gónadas, del desarrollo sexual y desove del atún aleta amarilla y barrilete en tres regiones del Pacífico oriental. *CIAT. La Jolla, California, EEUU*, 1(6): 281-349.

Schaefer, K. M. (1998). Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the

eastern Pacific Ocean. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* 21: 205-272.

Yuen, H. S. H. & June F. C. (1957). Yellowfin tuna spawning in the Central Equatorial Pacific. *U. S. Fish and Wildlife Service. Fishery Bulletin* 112(57): 251-264.



Concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc en langostinos *Macrobrachium americanum* del río Baluarte, Rosario, Sinaloa, México.

Concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in shrimps *Macrobrachium americanum* from Baluarte River, Rosario, Sinaloa, Mexico.



CREATIVE COMMONS



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina



1. Carmen Cristina Osuna Martínez



0000-0003-4934-5790

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa.



2. Rubén Benítez Lizárraga

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa.



3. Dulce Castañeda Rodríguez

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa.



4. María del Carmen Núñez-Díaz

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa.



5. María Dolores Muy Rangel



0000-0002-6971-535X

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México.



6. Werner Rubio Carrasco



0000-0002-5511-0608

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México.



7. Iliana Hetzabeth Zazueta Ojeda



0009-0008-3224-7004

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa.



8. Mónica Anabel Ortíz Arellano



0000-0002-7870-3852

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa.



9. Marisela Aguilar Juárez



0000-0003-0862-5542

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa. Autor de correspondencia: maguilar@uas.edu.mx



Concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc en langostinos *Macrobrachium americanum* del río Baluarte, Rosario, Sinaloa, México.

Concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in shrimps *Macrobrachium americanum* from Baluarte River, Rosario, Sinaloa, Mexico.

► RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el contenido de Cd, Cu, Pb y Zn en el abdomen (tejido comestible) y en hepatopáncreas de especímenes del langostino *Macrobrachium americanum* (Bate, 1868) procedentes del río Baluarte, Rosario, Sinaloa, México. Durante mayo de 2010 se recolectaron de 15 a 20 organismos adultos (> 15 cm de longitud total). Los tejidos se secaron y la concentración de metales se determinó por espectrofotometría de absorción atómica. En el músculo, el orden de concentración de los metales fue Zn > Cu > Pb > Cd, con intervalos de 45.5-58.9, 24.7-27.3, 3.8-4.3 y 0.6-0.7 µg/g (peso seco), respectivamente; mientras que en el hepatopáncreas fue Cu > Zn > Cd > Pb, cuyos intervalos fueron 153.4-387.9, 51.1-147.9, 50.1-130.1 y 4.5-6.5, respectivamente. En todos los casos las concentraciones resultaron significativamente mayores en los organismos recolectados en la parte alta del río. De acuerdo con los niveles determinados y con base en los límites máximos permisibles propuestos por las normas internacionales, en este trabajo el Pb fue el que limitó el consumo del músculo de esta especie, puesto que con un consumo de 68.9-78.5 g (peso fresco) se alcanza el límite permisible.

Palabras clave: Metales, músculo comestible, hepatopáncreas, sureste golfo de California.



▶ ABSTRACT

The present study was carried out with the objective of assess the content of Cd, Cu Pb and Zn in the abdomen (edible tissue) and hepatopancreas of the crayfish *Macrobrachium americanun* (Bate, 1868) from the Baluarte River, Rosario, Sinaloa, Mexico. During May 2010, a total of 15-20 adult organisms (> 15 cm total length) were collected. Tissues were dried and the metal content was determined by atomic absorption spectrophotometry. In the muscle, the decreasing order was Zn> Cu> Pb> Cd with ranges of 45.5-58.9, 24.7-27.3, 3.8-4.3 y 0.6-0.7 µg/g (dry weight), respectively; while in the hepatopancreas the decreasing order was Cu> Zn> Cd> Pb with ranges of 153.4-387.9, 51.1-147.9, 50.1-130.1y 4.5-6.5, respectively. In all cases the concentrations were significantly higher in the organisms collected in the upper part of the river. According to metal content and international maximum permissible limits, proposed by international standards, in this work Pb was the element that limited the consumption of muscle of this species, since a consumption of 68.9-78.5 g (fresh weight) reaches the permissible limit.

Keywords: Metals, edible muscle, hepatopancreas, Southeast Gulf of California.

▶ INTRODUCCIÓN

En diversos estudios se ha concluido que, a escala global, los niveles de concentración ambiental de metales están aumentando y que esto se debe, en gran parte, a los desechos urbanos y de varias actividades industriales, entre ellas la minería, la agricultura, las industrias de transformación de sus productos y la generación de energía entre otras (Frías-Espéricueta, Osuna-López, Izaguirre-Fierro, Aguilar-Juárez, Voltolina, 2010).

En particular, varios tipos de desechos de la minería tienen un gran potencial de contaminar los suelos y cuerpos de agua aledaños a los sitios de extracción (Ruelas-Inzunza *et al.*, 2011), por lo cual, es necesario verificar si estas actividades representan un riesgo para los humanos y la biota o si generan problemas para otros usos del suelo y del agua como las actividades agrícolas, el turismo y la acuicultura, entre otros (Faria, Huertas, Soto, Grimalt, Catan, Riva, Barata, 2010).

Los langostinos que pertenecen a la familia *Palaemonidae* y al género *Macrobrachium*, son organismos epibentónicos y generalmente abundantes en los cuerpos de agua que habitan; los cuales acumulan rápidamente metales en sus tejidos, razón por la cual son considerados como ideales en los programas de monitoreo ambiental (Camacho-Sánchez, 2007; Kuoba, Buřič, Kozák, 2010). Por ello, el presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de evaluar los contenidos de cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) en muestras de abdomen (tejido comestible) y hepatopáncreas del langostino *Macrobrachium americanum* (Bate, 1868), recolectados en el río Baluarte, el cual pertenece al distrito minero Plomosas-Rosario (sur de Sinaloa, México).

► MATERIALES Y MÉTODOS

Durante mayo de 2010 se recolectaron de 15 a 20 especímenes adultos (15 cm de longitud total) del langostino *M. americanum* en las partes alta y baja del río Baluarte en Sinaloa (Fig.1). Los organismos recolectados se colocaron en bolsas de plástico y se transportaron en hieleras (4 °C) al laboratorio, donde se separó el hepatopáncreas y el abdomen (músculo comestible) de cada organismo y estos se combinaron para obtener una muestra compuesta de cada tejido para cada parte del río.



Figura 1. Localización de los sitios de muestreo 1) en la parte alta y 2) en la parte baja del río Baluarte (23°00'11.08" N y 105°57'55.64" O).



Las muestras obtenidas de esta manera se colocaron en vasos de precipitado (600 ml), se secaron (70-80 °C) durante 72 h y se pulverizaron en un mortero de teflón hasta su completa homogenización. Posteriormente, se procedió a la digestión ácida de los tejidos, por triplicado para cada muestra, adicionando 25 ml de ácido nítrico (HNO₃) concentrado (grado metal traza) y calentando en una plancha a 100 °C, hasta sequedad. El residuo sólido se disolvió nuevamente en 20 ml de HNO₃ 2M, las muestras se centrifugaron a 3500 rpm para separar la fase sólida de la líquida, y el sobrenadante se guardó en viales de plástico hasta la cuantificación de los metales, la cual se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando la lámpara de cátodo hueco apropiado para cada metal. Todos los materiales usados en el muestreo y en el análisis de las muestras fueron previamente lavados en ácidos (HCl 2M y HNO₃ 2M), de acuerdo con Moody y Lindstrom (1977). Para asegurar la calidad y confiabilidad de los datos, se analizaron blancos y el material de referencia TORT 3 (hepatopáncreas de langosta; NRC, 2023) con porcentajes de recuperación entre 87.5 y 102.3%; también se utilizó agua Milli-Q para evitar contaminación de las muestras.

Después de obtener los valores promedio de los metales analizados, se calculó el límite máximo de consumo de músculo de langostino que se puede ingerir por día, para los cuatro metales analizados (Cd, Cu, Pb, Zn). Para ello, se utilizó la fórmula (EPA, 2000): $CR_{lim} = (RfD * BW) / CM$, donde CR_{lim} = Tasa máxima de consumo diario (kg/d); RfD = Dosis de referencia (mg/kg/d), BW = Peso corporal del consumidor (kg), Cm = Concentración del contaminante en el langostino (µg/g).

Una vez verificadas la normalidad y homocedasticidad, las concentraciones promedio de los tejidos de cada sitio del río se compararon mediante la prueba t-Student, con un nivel de confianza del 95 % (P<0.05) (Zar, 2010).

▶ RESULTADOS

En el músculo, el orden de concentración de los cuatro metales fue $Zn > Cu > Pb > Cd$ con intervalos de 45.5-58.9, 24.7-27.3, 3.8-4.3 y 0.6-0.7 $\mu\text{g/g}$ (peso seco), respectivamente y no se encontraron diferencias significativas entre las muestras de la parte alta y baja del río Baluarte (Fig. 2A). En el hepatopáncreas, el orden de concentración de los metales fue $Cu > Zn > Cd > Pb$ con intervalos de 153.4-387.9, 51.1-147.9, 50.1-130.1 y 4.5-6.5, respectivamente. Para este órgano, también el Cu y el Zn mantuvieron concentraciones altas, con respecto a las registradas para los metales no esenciales (Pb y Cd). Además, cabe destacar que, para este órgano, todas las concentraciones resultaron significativamente mayores en los organismos recolectados en la parte alta del Río Baluarte (Figura 2B).

Cabe destacar que, en el caso del Cd, su concentración registrada en el músculo resultó más de una orden de magnitud inferior a los niveles registrados por los metales esenciales, y en el caso del hepatopáncreas la concentración de este metal fue similar a la registrada para el Zn y muy cercana a la de Cu, esto en las muestras colectadas en ambas secciones del río.

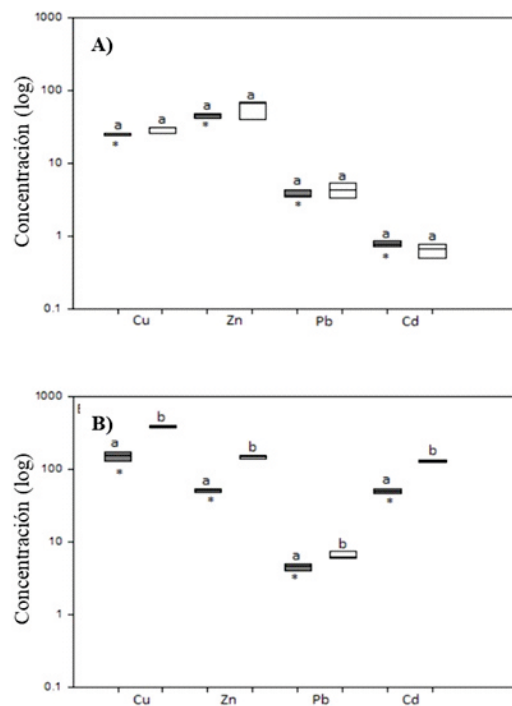


Figura 2. Concentraciones ($\mu\text{g/g}$, peso seco) de Cu, Zn, Pb y Cd en el músculo (A) y hepatopáncreas (B) de *Macrobrachium americanum* de la parte alta y la parte baja (*) del río Baluarte, Sinaloa, México.



► DISCUSIÓN

Normalmente, el contenido de metales esenciales como Cu y Zn es mayor que el de los no esenciales (en este caso Cd y Pb), ya que forman parte de varias proteínas y enzimas y, en particular, en el caso de Cu, su función más conocida en camarones, langostas y langostinos es que forma parte del grupo prostético de su pigmento respiratorio, la hemocianina (Hagner-Holler, Kusche, Hembach, Burmester, 2005).

Los niveles de concentración de Cd, Cu, Pb, y Zn fueron mayores en el hepatopáncreas que en el músculo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en diversos estudios realizados en crustáceos marinos los cuales sugieren que esto podría deberse a las funciones del hepatopáncreas, donde tienen lugar las actividades de síntesis de proteínas y de enzimas, la digestión y asimilación de los alimentos, así como el metabolismo de los xenobióticos (Manisseri y Menon, 1995), lo cual podría facilitar la bioacumulación de estos metales en este órgano.

Por otro lado, el contenido de los cuatro elementos incluidos en el presente estudio fue mayor en aquellos organismos que habitan la parte alta del río Baluarte (con excepción del Cd en el músculo), caracterizada por las actividades de minería. Por tanto, los organismos que habitan estas zonas se encuentran en contacto directo con los residuos/efluentes (que contienen metales) de dicha actividad, lo que sugiere que la bioacumulación de estos metales es mayor.

Con respecto a los especímenes de *M. americanum* recolectados en la parte baja del río Baluarte, estos se dejan arrastrar por la corriente una vez que alcanzan su edad reproductiva, ya que las larvas de estas especies requieren de condiciones salobres para su desarrollo (Abele y Blum, 1977). En estos organismos, esta conducta resulta relevante ya que al retirarse de la zona de influencia de la minería y/u otras fuentes de metales, la tasa de eliminación de metales es mayor que la de su captura, lo que les permite reducir el contenido de Cd y Pb de su organismo. Por tanto, el procedimiento natural que *M. americanum* realiza durante el proceso de reproducción, podría contribuir a disminuir la absorción de metales. Cabe destacar que la disminución de metales registrada en estos langostinos puede estar ligada al bioma que presenta la parte baja

del río, ya que existe una autodepuración de este sistema acuático, es decir, los metales que llegan al cauce del río en las zonas más altas van siendo retenidos por los sedimentos y/o la vegetación en su camino hacia las zonas bajas.

En la tabla I, se presenta una comparación del contenido de metales entre langostinos de diferentes partes del mundo. El contenido de Cd en el hepatopáncreas de los langostinos analizados en el presente estudio es mayor que el de los especímenes analizados en los otros estudios; mientras que los valores de Pb y Cu de este estudio solo son menores que los reportados en *Cherax destructor* (Italia) y *Macrobrachium rosenbergii* (Australia) por Bruno, Volpe, De-Luise, Paolucci (2006) y Peerzada, Nojok, Lee (1992), respectivamente. Con respecto al Zn, los valores encontrados en el presente artículo son mayores a los que reportó Mackevičienė (2002) en especímenes de *Astacus astacus* recolectados en Lituania.

Tabla I. Concentraciones de Cd, Pb, Zn, Cu ($\mu\text{g/g}$, peso seco) de músculo y hepatopáncreas de langostinos / langostas de agua dulce de diferentes especies y países.

Especie	Zona	Tejido	Cd	Pb	Zn	Cu
<i>Macrobrachium rosenbergii</i> ¹	Australia	M	ND	ND3	60	332
		H	0.8	ND	148	1140
<i>Pacifastacus leniusculus</i> ²	Suecia	M	<0.02	0.1	75	25.5
		H	2.5	0.1	178.6	157.1
<i>Astacus astacus</i> ³	Lituania	M	0.05	0.3	23.3	6.1
		H	0.01	0.3	35.3	4.9
<i>Cherax destructor</i> ⁴	Italia	M	2.3	1.9	18	39.1
		H	35	7.5	179.3	64.1
<i>Procambarus clarkii</i> ⁵	E.E.U.U.	M	0.03	<0.19	76.9	44.6
		H	ND	ND	ND	ND
<i>M. americanum</i> ⁶	México	M	0.01	1.1	ND	ND
		H	ND	ND	ND	ND
<i>M. americanum</i> ⁷	México	M	0.6-0.7	3.8-4.3	45.5-58.9	24.7-27.3
		H	50.1-130.1	4.5-6.5	51.1-147.9	153.4-387.9

¹Peerzada *et al.* (1992), ²Jorhem, Engman, Sundström, Thim (1994), ³Mackevičienė (2002), ⁴Bruno *et al.* (2006), ⁵Hothem, Bergen, Bauer, Crayon, Meckstroth (2007), ⁶Ruelas-Inzunza, Green-Ruiz, Zavala-Nevárez, Soto-Jiménez (2011), ⁷Este estudio; M, músculo; H, hepatopáncreas; ND, no detectado/no determinado; E.E.U.U., Estados Unidos de América.



En la tabla II, se presenta el consumo máximo de langostinos *M. americanum* procedentes del río Baluarte, Sinaloa, México. Dadas las concentraciones encontradas de los elementos de interés y con base en los niveles permisibles propuestos por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos de América (USFDA, por sus siglas en inglés) (USFDA, 1993) y por la organización mundial de salud (WHO, 1998), el Pb resultó ser el metal que limita el consumo del músculo de esta especie, puesto que con una ingesta de 68.9-78.5 g (peso fresco) por día, se alcanza su límite máximo de consumo.

Tabla II. Límites máximos (g/día) de consumo de músculo y hepatopáncreas de especímenes de *Macrobrachium americanum* provenientes del río Baluarte, Sinaloa, México.

Metal	Músculo B/A	Hep atopáncreas B/A	Nivel permisible (µg/persona/día)
Cu	485.63/438.27	30.94/78.21	3000
Zn	3961.7/3055.5/	1216.9/5782.2	45000
Pb	78.53/68.96	46.01/65.78	750
Cd	278.48/343.48	1.68/4.38	55

A, parte alta del río; B, parte baja del río.

Sin embargo, no solo el músculo es consumido por los pobladores de esta zona, ya que en numerosas ocasiones también se consume el hepatopáncreas, el cual concentra significativas cantidades de Cd, lo que debería limitar significativamente el consumo de estos organismos. Por lo anterior, se recomienda cuantificar el contenido de Cd en la sangre de las personas que consumen este langostino, ya que está bien documentado el efecto tóxico del Cd en humanos.

Después de analizar esta información, se puede concluir que, en ambos tejidos las concentraciones de los metales esenciales fueron mayores a las de los no esenciales; se encontraron diferencias significativamente mayores de los cuatro metales en las muestras de hepatopáncreas recolectadas en la parte alta del río; y, de acuerdo con los niveles determinados y con base en los límites máximos permisibles, en este trabajo el Pb fue el metal que limitó el consumo del músculo de esta especie, puesto que con una ingesta de 68.9-78.5 g/día (peso fresco) se alcanza el límite permisible.



► AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por los proyectos PROFAPI-UAS 2010/049, PROFAPI-UAS 2011/060, con apoyo parcial de los proyectos PROFAPI-UAS PRO A7_056, PROFAPI-UAS 2015/202 y PROMEP 103.5/12.

► LITERATURA CITADA

Abele, L.G. & Blum, N. (1977). Ecological aspects of the freshwater crustaceans of the Perlas Archipiélago, Panamá. *Biotropica*, 9(4), 239–252. doi: <https://doi.org/10.2307/2388141>

Bruno, G., Volpe, M.G., De-Luise, G. & Paolucci, M. (2006). Detection of heavy metals in farmed *Cherax destructor*. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (380-381), 1341–1349. doi: <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:2006039>

Camacho-Sánchez, M.I. (2007). Bioconcentración y toxicidad de metales en el langostino *Macrobrachium rosebergii* (de Man). *Revista de Toxicología* 24(1), 14–17. doi: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91924103>

Faria, M., Huertas, D., Soto, D.X., Grimalt, J.O., Catan, J., Riva, M.C. & Barata, C. (2010). Contaminant accumulation and multi-biomarker responses in field collected zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and crayfish (*Procambarus clarkii*), to evaluate toxicological effect of industrial hazardous dumps in the Ebro river (NE Spain). *Chemosphere*, 78(3), 232–240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.11.003>

Frías-Espéricueta, M.G., Osuna-López, J.I., Izaguirre-Fierro, G., Aguilar-Juárez, M. & Voltolina, D. (2010). Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *Océánides*, 25(2), 27–39. doi: <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/795/1/Frias-M.pdf>

Hagner-Holler, S., Kusche, K., Hembach, A. & Burmester, T. (2005). Biochemical and molecular characterization of hemocyanin from the amphipod *Gammarus roeseli*: complex pattern of hemocyanin subunit evolution in Crustacea. *Journal of Comparative Physiology*, 175(6), 445–452. doi: <https://doi.org/10.1007/s00360-005-0012-4>

Hothem, R., Bergen, D.R., Bauer, M.L., Crayon, J.J. & Meckstroth, A.M. (2007). Mercury and trace elements in crayfish from Northern California. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79, 628–632. doi: <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9304-6>



- Jorhem, L., Engman, J., Sundström, B. & Thim, A.M. (1994).** Trace elements in crayfish: regional differences and changes induced by cooking. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 26(2), 137–142. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00224796>
- Kuoba, A., Buřič, M., & Kozák, P. (2010).** Bioaccumulation and effect of heavy metals in crayfish: a review. *Water Air Soil Pollution*, 211, 5–16. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0273-8>
- Mackevičienė, G. (2002).** Bioaccumulation of heavy metals in noble crayfish (*Astacus astacus* L.) tissues under aquaculture conditions. *Ekologija (Vilnius)*, 22(2), 79–82. doi: <http://mokslozurnalai.lmaleidykla.lt/publ/0235-7224/2002/2/E-79.pdf>
- Manisseri, M.K. & Menon, R.N. (1995).** Copper-induced damage in the hepatopancreas of the panaeid shrimp *Metapenaeus dobsoni* – an structural study. *Disease of Aquatic Organisms*, 22(1), 51–57. <https://doi.10.3354/dao022051>
- Moody, J. R. & Lindstrom, R.M. (1977).** Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. *Analytical Chemistry*, 49(14), 2264–2267. <https://doi.10.1021/AC50022A039>
- NRC, National Research Council of Canada.** TORT-3: Lobster hepatopancreas reference material for trace metals. <https://nrc-digital-repository.canada.ca/eng/view/object/?id=ce56680f-1a1d-4a82-b1cb-74f4e9cbb22e>
- Peerzada, N., Nojok, M. & Lee, C. (1992).** Distribution of heavy metals in prawns from Northern Territory, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 24(8), 416–418. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(92\)90504-Y](https://doi.org/10.1016/0025-326X(92)90504-Y)
- Ruelas-Inzunza, J., Green-Ruiz, C., Zavala-Nevárez, M. & Soto-Jiménez, M. (2011).** Biomonitoring of Cd, Cr, Hg, and Pb in the Baluarte River basin associated to a mining area (NW Mexico). *Science of the Total Environment*, 409(18), 3527–3536. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.035>
- USFDA (1993).** Guidance Documents for Trace Elements in Seafood. Food and Drug Agency, Washington, DC. <https://www.fda.gov/food/guidance-documents-regulatory-information-topic-food-and-dietary-supplements/seafood-guidance-documents-regulatory-information>
- WHO, (1998).** International Programme on Chemical Safety (IPCS) Environmental Health Criteria 200: copper. World Health Organization, Geneva. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/29476>
- Zar, J.H. 2010.** Biostatistical Analysis. 5th edition, New Jersey, Pearson. Prentice Hall, Pearson, Upper Saddle River.



 Revisión Científica

Patrones de diversidad de la fauna de metazoarios parásitos de peces marinos en la bahía de Mazatlan, Sinaloa.

Patterns of diversity of the metazoan parasite fauna of marine fishes from Mazatlan bay, Sinaloa.



CREATIVE COMMONS



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina

 1. Mayra I. Grano Maldonado

 0000-0001-7519-379X

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, 82000 Mazatlán, Sinaloa, México.

Autor de correspondencia: granomayra@uas.edu.mx

 2. Gerardo Pérez Ponce de León

 0000-0001-6472-5113

Escuela Nacional de Estudios Superiores unidad Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, KM. 4.5 Carretera Mérida-Tetíz. Municipio de Ucu, C.P. 97357, Yucatán, México.



Patrones de diversidad de la fauna de metazoarios parásitos de peces marinos en la bahía de Mazatlan, Sinaloa.

Patterns of diversity of the metazoan parasite fauna of marine fishes from Mazatlan bay, Sinaloa.

▶ RESUMEN

La bahía de Mazatlán es un área que ha atraído la atención de parasitólogos en el pasado para estudiar la fauna de metazoarios parásitos de peces marinos; se han registrado helmintos desde la década de los años cincuenta y copépodos desde los sesenta. En los últimos años se ha renovado el interés por el estudio de estos organismos parásitos. En este trabajo de revisión se presenta la información sobre los metazoarios que viven como ecto o endoparásitos de peces marinos de la bahía de Mazatlán. La recopilación de datos se realizó utilizando bases de datos y búsquedas bibliográficas a través del ISI Web of Science. Todos los artículos fueron recuperados, revisados y la información relativa a cada taxón de parásito se actualizó de acuerdo con los tratamientos taxonómicos de cada grupo. Sólo se utilizan los nombres científicos válidos independientemente del nombre utilizado en el registro original. Se presentan tres listas, incluyendo dos listas parásito-hospedero conteniendo todos los registros de especies/taxones de metazoarios parásitos de helmintos o de crustáceos, con el nombre de su autoridad respectiva y el año de publicación y están organizadas alfabéticamente por grupo de parásitos, incluyendo el hábitat, hospedero y la referencia bibliográfica. La tercera es una lista hospedero-parásito donde se presentan todos los parásitos que infectan a cada especie hospedero (en orden alfabético por familia y luego por especie). En total se han



documentado 115 taxones de metazoarios, incluidos en 92 géneros y 51 familias, representando 91 helmintos, 23 copépodos y un isópodo; 95 de éstos se identificaron a nivel de especie. Los trematodos y monogeneos son los grupos mejor representados, con 39 y 34 taxones. Se han descrito 19 nuevas especies, 15 helmintos y cuatro copépodos. Sólo se han estudiado 47 especies de peces, incluidos peces óseos y elasmobranquios, en 43 géneros y 24 familias. El pargo rosado *Lutjanus guttatus*, la sierra del Pacífico, *Scomberomorus sierra*, el cochito naranja *Sufflamen verres* junto con el pajarito, *Hyporhamphus naos*, son los hospederos con la mayor diversidad de especies de helmintos en el área, con 25, 11, 9 y 9 taxones/especies, respectivamente. Se discute que el inventario está lejos de estar completo y, basándonos en el hecho bien conocido de que los parásitos son componentes importantes de los ecosistemas marinos, presentamos algunas ideas generales sobre cómo activar el trabajo de inventario en el futuro, mediante la realización de muestreos específicos de especies de peces y utilizando métodos modernos de sistemática molecular.

Palabras clave: Parásitos, Peces, Biodiversidad, Océano Pacífico, Taxonomía

► ABSTRACT

Mazatlan Bay is an area that attracted the interest parasitologists in the past to study the metazoan parasite fauna of marine fishes. Helminths started to be reported since the 1950s, and copepods since the 1960s. In the last years there has been a renewed interest in studying these organisms. In this review, the information about the metazoan ecto and endoparasites of marine fishes of Mazatlan Bay is presented. The compilation of data was accomplished using databases and conducting literature searches through the ISI Web of Science. All reports were retrieved, carefully revised and the information regarding each parasite taxon was updated according to the current taxonomic treatments. Only the valid scientific names were used irrespective of the name used in the original record. Three lists are presented. Two parasite-host lists containing all the records of species/taxa of either helminths or crustaceans are presented; lists are organized alphabetically by parasite group, and authority's name and publication year, site in the host, host



species, and bibliographical reference for each record. The second is a host-parasite list where all the metazoan parasites parasitizing each host species (in alphabetical order by family and then species) is shown, indicating the taxonomic group and developmental stage of parasites. In total, 115 taxa of metazoan parasites have been reported, allocated in 92 genera and 51 families, including 91 helminths, 23 copepods and 1 malacostracan isopod. Of the 115 taxa, 95 were identified to species level. Trematodes and monogeneans are the most-well represented groups, with 39 and 34 taxa, respectively. Nineteen new species of parasites have been described, 15 helminths and four copepods. Only 47 fish species, including osteichthyes and chondrichthes have been studied for helminth parasites, allocated in 43 genera and 24 families. The Spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus*, the Pacific sierra, *Scomberomorus sierra*, and the Orange-side triggerfish, *Sufflamen verres* as well as the Pacific silverstripe halfbeak, *Hyporhamphus naos* are the host species with the largest parasite species diversity in the area, with 25, 11, nine and nine taxa/species, respectively. We discuss that the inventory is far from complete and based on the well-known fact that parasites are important components of marine ecosystems, we put forward some general ideas on how to speed up the inventory work in the future, by conducting targeted sampling of fish species and using modern methods of molecular systematics.

Key words: Parasites, Fish, Biodiversity, Pacific Ocean, Taxonomy

► INTRODUCTION

Parasites are probably the most diverse and abundant metazoans on Earth (Dobson, Lafferty, Kuris, Hechinger, Jetz, 2008; Poulin, Morand, 2005), and more importantly, they play a fundamental role in all ecosystems (see Rubio-Godoy, Pérez-Ponce de León, 2023 and references therein). Parasitism appeared several times during the evolutionary history of the earth. Most eukaryotic metazoans are comprised in the groups of crustaceans and the so-called 'helminths'. Crustacean comprise major groups such as copepods and malacostracan isopods parasitizing marine and freshwater fish, marine mammals and



some invertebrates. Helminths are metazoan parasites with a vermiform aspect which are found, as adults, in all vertebrate classes. The number of species is yet uncertain; it has been estimated that there are around 2244 siphonostomatid copepods and 1259 isopods including gnathids, bopyrids and cymothoids (Costello, 2016). Helminths do not constitute a monophyletic group and is composed by four phyla of organisms, platyhelminths, acanthocephalans, nematodes and Annelida (García-Prieto, Mendoza-Garfias, Pérez-Ponce de León, 2014a; García-Prieto, García-Varela, Mendoza-Garfias, 2014b; García-Prieto, Osorio-Sarabia, Lamothe-Argumedo, 2014c). The number of described species is also not known, but it has been proposed that there are between 23670 y 52000 named species (Hugot, Baujard, Morand, 2001; Poulin, Morand, 2000). Dobson et al. (2008) estimated between 100000 and 350000 species, and more recently Carlson, Dallas, Alexander, Phelan, Phillips (2020) re-estimated the number to 103078 species, of which 85% have not been described yet.

On the other hand, Mexico is considered as a megadiverse country due to the occurrence of species resulting from its geographical position between the Nearctic and Neotropical biogeographical regions. Among vertebrates, fishes, particularly those living in marine environments, are the more diverse. Even though parasitic organisms are usually neglected in studies aimed at describing and understanding biodiversity (Rubio-Godoy & Pérez-Ponce de León, 2023), Mexico has a long tradition in the study of helminths parasitizing vertebrates, and particularly fish. Marine fish are the most species-rich vertebrate group and are commonly parasitized by a wide array of metazoan parasites. The study of the helminth fauna of vertebrates in Mexico has been asymmetrical in terms of both, host, and geographical representation (Pérez-Ponce de León, García-Prieto, Mendoza-Garfias, 2011); the same pattern holds true for parasitic copepods (Causey, 1960). Sinaloa, on the Pacific slope of Mexico, is one of the states with the shortest number of surveys focused on the vertebrate parasitic fauna. Thus far, only 78 vertebrate species have been studied (including fish, amphibians, reptiles, birds and mammals) however, most studies have been conducted in marine fish; trematodes are the most species-rich, with 50 described species (Grano-Maldonado, Pérez-Ponce de León, 2023). Interestingly, 18 new species



were described as parasites of fishes from Mazatlan Bay, which makes the area an important site for the study of parasite biodiversity of marine fishes in Mexico; in particular, two host species, the “pargo lunarejo” (*Lutjanus guttatus*) and the “cochito naranja” (*Sufflamen verres*), are notable because from them three new species of monogeneans, and three new species of trematodes have been described, respectively (Grano-Maldonado and Pérez-Ponce de León, 2023). Mazatlan Bay, on the Pacific coast, is an area that has attracted the attention of fish parasitologists in the past and continues to do so in the present, since several research groups conduct research documenting the diversity of metazoan parasites of marine fauna.

With an area of 35 sq km and a coastline of 13.5 km, Mazatlan Bay is in the southeastern coast of Sinaloa, in the entrance of the Gulf of California. Three main currents influence the area seasonally, the California current (with cold water coming from the north), the North-Equatorial Counter current (with warm tropical waters from the eastern Pacific), and the warm-temperate waters (from the Gulf of California) (see Esqueda-González, Rios-Jara, Galván-Villa, Rodríguez-Zaragoza, 2022 and references therein). Even though there is not documented evidence in the form of a published checklist about the diversity of marine fishes and elasmobranchs in the area, fisherman in Mazatlan Bay hold an important commercial fishery on the coastline, as well as off-shore fishing for species as sardines and tuna, and other pelagic species such as marlin and dolphin-fish.

In Mexico, research projects devoted to describing an inventory of the helminth parasites infecting marine and estuarine fishes started in the decade of 1940's through the studies conducted by Eduardo Caballero and Harold Winter, followed by those of Margarita Bravo and Rafael Lamothe (Pérez-Ponce de León, Mendoza-Garfias, García-Prieto, 2012); for studies in Mazatlan Bay, the first report of helminths dates back to 1953 (van Cleave, 1953); instead, the description of the copepod parasite fauna of marine fishes started with Causey (1960). Still, up to now, the inventory of the diversity of metazoans parasitizing marine fishes in coastal areas of Mexico, including the Pacific, Gulf of Mexico and Caribbean Sea is far from complete; most studies represent isolated reports (taxonomic descriptions) recording the presence of certain



certain parasite species, or describing a new species, from a fish species from a particular locality, contrasting with very few studies devoted to establish a complete inventory of the parasite fauna of an area, like that conducted by Pérez-Ponce de León, García-Prieto, Mendoza-Garfias, León-Régagnon, Pulido-Flores, Aranda-Cruz, García-Vargas (1999) for the helminths of marine fish of Chamela Bay, Jalisco state, complemented by the study of Morales-Serna, Pinacho-Pinacho, Gómez, Pérez-Ponce de León (2014) on caligid copepods from the same locality.

The main objective of this review was to compile all the published data about the metazoan parasite diversity of marine fishes of Mazatlan Bay, and to analyze the patterns of diversity to point out areas of opportunity for future work in the area.

► MATERIALS AND METHODS

Bibliographical search

The information used for the present study was updated to September 2023. Two main sources of information were used. First, the database of the helminth parasites of wildlife vertebrates of Mexico maintained at the Colección Nacional de Helmintos, Instituto de Biología, UNAM. For parasitic copepods, we followed the compilation by Morales-Serna, Gómez, Pérez-Ponce de León (2012). Second, we conducted a bibliographical search through the ISI Web of Science using the search terms (topic) in English and Spanish: 1) Mazatlan AND fish AND parasite*, 2) Mazatlan AND fish AND helminth, 3) Mazatlan AND fish AND copepod*, 4) Mazatlan AND fish AND isopod*, for the period between 2010 and 2023. All the papers retrieved in the search were analyzed to include only those reporting the presence of a parasite species in fishes of Mazatlan Bay. From each reference the name of the parasite, authority and publication year, site in the host, developmental stage, host species (and family), and bibliographical reference were obtained, and a database was built on Excel. With the information, two Parasite-Host lists were built, one reporting all the data on parasitic helminths, and one reporting parasitic crustaceans. A Host-Parasite list was also built, with all metazoan parasite species for each fish species



studied for parasites indicating the parasite group and developmental stage. This study considers all the published reports where authors obtained fish from fishermen who sell their products in Mazatlan, and our records only include formal bibliographical sources or specimens deposited in biological collections without being published, and we excluded grey literature.

▶ RESULTS

The complete database consisted of 131 records of metazoan parasites of marine fishes of Mazatlan. These records were reported in 41 papers published by foreign and national researchers between 1953 and 2023. The metazoan parasite fauna consists of helminths and crustaceans. Helminths include taxa representing the Phylum Platyhelminthes (Trematoda, Cestoda and Monogenea), Acanthocephala, and Nematoda, whereas crustaceans include taxa belonging to Copepoda and Malacostraca. The database is presented in three tables. Tables I and II are parasite-host lists, showing the taxa of helminths and crustaceans parasitizing marine fishes of Mazatlan, respectively, whereas Table III presents the host-parasite list.

Regarding the number of metazoan parasites, in total, 115 taxa have been reported, allocated in 92 genera and 51 families. Ninety-five of them (82%) were identified to species level. Parasites were found in different habitats of their hosts, as the gastro-intestinal tract, kidneys, brain, mesentery, urinary bladder, gonads, spiral valve, swim bladder, underneath scales, skin, and gills (Tables I and II). Trematodes are the more diverse, with 39 taxa, followed by Monogenea, Copepoda and Nematoda with 34, 23 and 11, respectively (Fig. 1). Nineteen were described as new species, including seven monogeneans, six trematodes, two nematodes and four copepods. One of the new species was described from the eggs of the nematode, as *Huffmanella mexicana* (see Table I). Four species were named after Sinaloa or Mazatlan, i.e., the trematodes *Lecithochirium sinaloense* as a parasite of *Muraenesox coniceps* and *Pseudolepidapedon sinaloense*, the monogenean *Macrovalvitrema sinaloense*, and the ergasilid copepod *Acusicola mazatlanensis* (Tables I and II).

Fig 1. Number of parasite taxa in each parasite group expressed in percentage of the total number of species reported from Mazatlán marine fishes

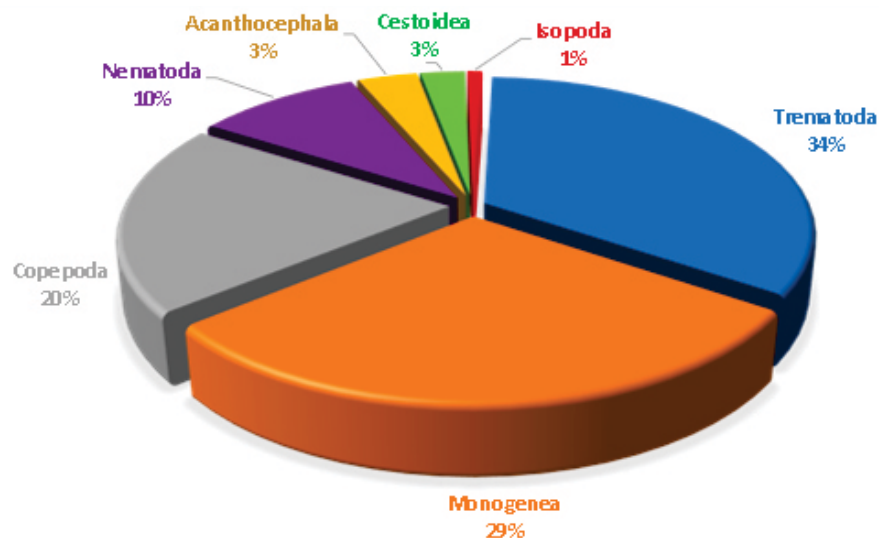


Table. I Parasite-Host list of published records of marine fish helminth parasites from Mazatlán Bay, Sinaloa, Mexico. New species are marked in bold with an asterisk.

Parasite Family	Parasite species	Author and publication year	Habitat	Host	Reference
Trematoda					
Rudolphi, 1808					
Acanthocolpidae Lühe, 1906	<i>Stephanostomum casum</i>	(Linton, 1910) McFarlane, 1936	Intestine	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Bucephalidae Poche, 1907	<i>Bucephalus gorgon</i>	(Linton, 1905) Eckmann, 1932	Intestine	<i>Citula dorsalis</i>	Bravo-Hollis & Sogandares-Bernal (1956) Winter (1959)
	<i>Prosorhynchus pacificus</i>	Manter, 1940	Intestinal caeca	<i>Epinephelus analogus</i>	
	<i>Prosorhynchoides cf. cybii</i>	(Park, 1939)	Intestine	<i>Scomberomorus sirerra</i>	Bárceñas de los Santos et al. (2021)
Cryptogonimidae Ward, 1917	<i>Sphodera vinaleadvardii</i>	(Linton, 1901) Linton, 1910	Intestine	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Cyathocotylidae Sudarikov, 1959	<i>Mesostephanus microbursa</i>	Caballero, Grocott & Zerecero, 1953	Muscle	<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)
Didymozoidae Monticelli, 1888	<i>Lepidodidymocystis irwini</i>*	Yamaguti & Kamegai, 1969	Underneath scales lateral line	<i>Menticirrhus nasus</i>	Yamaguti & Kamegai (1969)
	<i>Anacetabulum</i> sp.		Gills	<i>Scomberomorus sirerra</i>	Bárceñas de los Santos et al. (2021)
	<i>Didimozoon</i> sp.		Gills	<i>Scomberomorus sirerra</i>	Bárceñas de los Santos et al. (2021)
	<i>Didimocylindrus</i> sp.		Gills	<i>Scomberomorus sirerra</i>	Bárceñas de los Santos et al. (2021)
	<i>Didimocystis scomberomori</i>	(MacCallum & MacCallum, 1916) Pozdnyakov, 1990	Mesentery	<i>Scomberomorus sirerra</i>	Bárceñas de los Santos et al. (2021)
	<i>Didimocystis</i> sp.		Kidney	<i>Scomberomorus sirerra</i>	Bárceñas de los Santos et al. (2021)
---	---	---	---	---	---



	<i>Glomeritrema</i> sp.		Gills	<i>Scomberomorus</i> <i>serrera</i>	Bárcenas de los Santos et al. (2021)
	<i>Torticaecum</i> sp.		Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Diplangiidae Yamaguti, 1971	<i>Diplangus mexicanus</i>*	Bravo y Manter, 1957	Intestine	<i>Sufflamen verres</i>	Bravo-Hollis & Manter (1957)
			Intestine	<i>Gerres cinereus</i>	Estrada García (2015) In CNHE
Fellodistomidae Nicoll, 1909	<i>Lintonium vibex</i>	(Linton, 1900) Shunkard & Nigrelli, 1930	Intestine	<i>Spherooides annulatus</i>	Fájer-Avila et al. (2004)
Gorgoderidae Looss, 1899	<i>Phyllostomum mirandai carangis</i>	Lamothe, 1969	Urinary bladder	<i>Spherooides annulatus</i>	Fájer-Avila et al. (2004)
	<i>Staphylorhynchus pacifica</i>	(Caballero, 1945) Campbell, 2008	Body cavity	<i>Citula dorsalis</i>	Bravo-Hollis & Manter (1957)
	<i>Kystrum caballeroi</i>	Bravo, 1953	Urinary bladder	<i>Galeorhinus galeus</i>	Winter (1969)
Hemiuridae Looss, 1899	<i>Lecithochirium sinaloense</i>*	Bravo, 1956	Stomach	<i>Balistes polyplepis</i>	Winter (1959)
	<i>Parahemiurus merus</i>	(Linton, 1910) Manter, 1940	Intestine	<i>Muraenesox coniceps</i>	Bravo-Hollis (1956)
Heterophyidae Leiper, 1909	<i>Opisthometra planicollis</i>	(Rudolphi, 1819)	Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Lepocreadiidae Odhner, 1905	<i>Haroldmanteria pacifica</i>*	(Bravo & Manter, 1957) Bravo & Caballero, 1969	Intestine	<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)
				<i>Sufflamen verres</i>	Bravo-Hollis & Manter (1957)
	<i>Hypocreadium myohelicatum</i>	Bravo-Hollis & Manter, 1957	Intestine	<i>Balistes polyplepis</i>	Bravo-Hollis & Manter (1957)
	<i>Hypocreadium scaphosomum</i>	(Manter, 1940)	Intestine	<i>Sufflamen verres</i>	Maldonado-Tapia, 2009 In Lamothe-Argumedo et al. (1997)
	<i>Lepidapedoides nicolli</i>	(Manter, 1934)	Intestinal caeca	<i>Epinephelus analogus</i>	Winter (1959)
	<i>Pseudolepidapedon sinaloense</i>*	Bravo, 1956	Intestine	<i>Sufflamen verres</i>	Bravo-Hollis (1956)
	<i>Pseudolepidapedon balistics</i>	Manter, 1940	Intestine	<i>Sufflamen verres</i>	Maldonado-Tapia, 2009 In Lamothe-Argumedo et al. (1997)
	<i>Dermadena lactophrysi</i>	Manter, 1945	Stomach	<i>Sufflamen verres</i>	Maldonado-Tapia, 2009 In Lamothe-Argumedo et al. (1997)
	<i>Bianium plicatum</i>	(Linton, 1928) Shunkard, 1931	Intestine	<i>Spherooides annulatus</i>	Fájer-Avila et al. (2004)
Megaperidae Manter 1934	<i>Homalometron caballeroi</i>	(Bravo, 1953) Cribb & Bray, 1999	Intestine	<i>Sufflamen verres</i>	Maldonado-Tapia, 2009 In Lamothe-Argumedo et al. (1997)
Monorchidae Odhner, 1911	<i>Pseudohurleytrema longiestis</i>*	(Bravo, 1956) Yamaguti, 1971	Intestine	<i>Citula dorsalis</i>	Bravo-Hollis (1956)
	<i>Alloinfundiburictus longicaecum</i>	(Manter, 1940) Wee, Cutmore, Pérez-del-Olmo & Cribb, 2020	Intestine	<i>Argyrosus brevoorti</i>	Bravo-Hollis (1956)
	<i>Hamacreadium mutabile</i>	Linton, 1910	Intestine	<i>Sufflamen verres</i>	Bravo-Hollis (1956)
Opocoeleidae Ozaki, 1925	<i>Helicometrina nimia</i>	Linton, 1910	Intestine	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
	<i>Pachycreadium gastrocotylum</i>	(Manter, 1940) Manter, 1954	Intestine	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Pleorchidae Poche, 1926	<i>Pleorchis americanus</i>	Lühe, 1906	Intestine	<i>Calamus brachysomus</i>	Estrada García (2015) In CNHE
Strigeidae Railliet, 1919	<i>Cardiocephaloides medioconiger</i>	(Dubois & Pérez-Vigueras, 1949)	Brain	<i>Cynoscion reticulatus</i>	Bravo-Hollis (1956)
				<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)
Monogenea van Beneden, 1858					
Ancyrocephalidae Bychowsky, 1937	Ancyrocephalinae gen. sp.		Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Axynidae Monticelli, 1903	<i>Axynoides</i> sp.		Gills	<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)
Capsalidae Baird, 1853	<i>Capsala laevis</i>	(Verrill, 1875) Johnston, 1929	Gills	<i>Tetrapturus audax</i>	Lamothe & Pulido-Flores (1998)



Monocotylidae Taschenberg, 1879	<i>Spinuris mexicana</i>	Bravo-Hollis, 1969	Gills	<i>Rhinobatos glauco stigma</i>	Bravo-Hollis (1969a)
	<i>Anoplocotylodes papillatus</i>	(Doran, 1953) Young, 1967	Gills	<i>Rhinobatos glauco stigma</i>	Bravo-Hollis (1969a)
Protomicrocotylidae Johnston & Tiegs, 1922	<i>Protomicrocotyle manteri</i>	Bravo-Hollis, 1966	Gills	<i>Caranx hippos</i>	Lamothe-Argumedo et al. (1997)
Thoracocotylidae Price, 1936	<i>Mexicocotyle mexicana</i>	(Meserve, 1938)	Gills	<i>Scomberomorus sierra</i>	Bárcenas de los Santos et al. (2021)
	<i>Thoracocotyle crocea</i>	MacCallum, 1913	Gills	<i>Scomberomorus sierra</i>	Bárcenas de los Santos et al. (2021)
Cestoidea Rudolphi, 1808					
Order	Trypanorhyncha gen. sp.		Intestinal lumen	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Order	Tetraphyllidea gen. sp.		Intestinal wall	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Rhinebothriidea <i>incertae sedis</i>	<i>Serendip danbrooki</i>	Monks, Zaragoza-Tapia, Pulido-Flores & Violante- González, 2015	Spiral valve	<i>Rhinoptera steindachneri</i>	Monks et al. (2015)
Acanthocephala (Rudolphi, 1808)					
Cavisoimidae Meyer, 1932	<i>Filisoma bucerium</i>	van Cleave, 1940	Intestine	<i>Mugil cephalus</i>	García-Prieto et al. (2010)
Polymorphidae Meyer, 1931	<i>Corymosoma obtusens</i>	Lincicome, 1943	Mesentery	<i>Mycteroperca pardalis</i>	van Cleave (1953)
Neoechinorhynchida e Ward, 1917	<i>Floridosentis mugilis</i>	(Machado, 1951) Bullock, 1962	Intestine	<i>Mugil cephalus</i>	Bravo-Hollis (1969b)
	<i>Neoechinorhynchus brentnickoli</i>	Monks, Pulido & Violante, 2011	Intestine	<i>Dormitator latifrons</i>	Monks et al. (2011)
Nematoda Rudolphi, 1808					
Anisakidae Railliet & Henry, 1915	<i>Anisakis</i> sp.		Mesentery	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
	<i>Hysterothylacium</i> sp.		Mesentery and intestinal lumen	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
	<i>Pseudoterranova</i> sp.		Intestine	<i>Scomberomorus sierra</i>	Bárcenas de los Santos et al. (2021)
			Mesentery, liver	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Ascarididae Baird, 1853	<i>Porrocaecum caballeroi</i> *	Caballero- Deloya, 1973	Intestine	<i>Makaira mitsukurii</i>	Caballero-Deloya (1973)
Camallanidae Railliet & Henry, 1915	<i>Procamallanus (Spirocamallanus)</i> sp.		Intestine/stomach	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Capillariidae Railliet, 1915	<i>Capillaria</i> gen. sp.		Intestine/stomach	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Cystidicolidae Skrjabin, 1946	<i>Ascarophis</i> sp.		Stomach	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
	<i>Spintectus</i> sp.		Intestinal lumen	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Philometridae Baylis & Daubney, 1926	<i>Philometra</i> sp.		Gonads	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
	<i>Philometra</i> sp.		Gonads	<i>Scomberomorus sierra</i>	Bárcenas de los Santos et al. (2021)
	<i>Philometra</i> sp.		Gonads	<i>Hyperhamphus naos</i>	Rivera-Toscano et al. (2022); Grano- Maldonado et al. (2023)
Raphidascariidae Hartwich, 1954	<i>Goezia</i> sp.		Intestine	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)
Trichuridae	<i>Huffmanella mexicana</i> *	Moravec & Fájer-Ávila, 2000	Swimbladder	<i>Sphoeroides annulatus</i>	Moravec & Fájér- Ávila (2000)
	<i>Capsala pricei</i> *	Hidalgo, 1958	Skin	<i>Makaira mitsukurii</i>	Hidalgo-Escalante (1958)
	<i>Capsaloides hoffmannae</i> *	Lamothe- Argumedo, 1996	Gills	<i>Tetrapturus audax</i>	Lamothe-Argumedo (1996)
	<i>Capsaloides sinuatus</i>	(Goto, 1894) Price, 1938	Gills	<i>Tetrapturus audax</i>	Lamothe & Pulido- Flores (1998)
	<i>Encotyllabe pagrosomi</i>	MacCallum, 1917	Gills	<i>Pomadasy macracanthus</i>	Bravo-Hollis (1957)
	<i>Neobenedenia melleni</i>	(MacCallum, 1927) Yamaguti, 1963	Skin	<i>Sphoeroides annulatus</i>	Fájér-Ávila (2004)
Chauhanidae Euzet & Trilles, 1960	<i>Ahpua piscicola</i>	Caballero & Bravo-Hollis, 1973	Gills	<i>Vomer declivifrons</i>	Lamothe-Argumedo et al. (1997)



	<i>Pseudomazocraes monsvivisae</i>	Caballero & Bravo-Hollis, 1955	Gills	<i>Argyriosus brevoortii</i>	Caballero & Bravo-Hollis (1955)
		Caballero & Bravo-Hollis, 1955	Gills	<i>Carangioides otrymter</i>	Caballero & Bravo-Hollis (1955)
		Caballero & Bravo-Hollis, 1955	Gills	<i>Selar</i> sp.	Lamothe-Argumedo et al. (1997)
	<i>Salinacotyle mexicana</i>	(Caballero & Bravo-Hollis, 1963) Lebedev, 1984	Gills	<i>Hemicarax atrimanus</i>	Lamothe-Argumedo et al. (1997)
Dactylogyridae Bychowsky, 1933	<i>Euryhaliotrema pereponcei</i>*	García, Fajer & Lamothe-Argumedo, 2008	Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	García-Vargas et al. (2008)
	<i>Euryhaliotrematoides mehen</i>*	Soler-Jiménez, García-Gasca & Fajer-Ávila, 2012	Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	Soler-Jiménez et al. (2012)
	<i>Haliotrematoides guttati</i>*	(García, Fajer & Lamothe-Argumedo, 2008) Kritsky, Tingbao y Yuan, 2009	Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	García-Vargas et al. (2008)
	<i>Haliotrematoides spinatus</i>	(Zhukov, 1976) Kritsky, Tingbao & Yuan, 2009	Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	Del Río-Zaragoza et al. (2010)
	<i>Haliotrematoides plectridium</i>	Kritsky & Mendoza, 2009 in Kritsky, Tingbao & Yuan, 2009	Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	Soler-Jiménez & Fajer-Ávila 2012
Diclidophoridae Yamaguti, 1965	<i>Heterobothrium ecuadori</i>	Meserve, 1938	Gills	<i>Spherooides annulatus</i>	Fajer-Ávila et al. (2004); Grano-Maldonado et al. (2011)
	<i>Macrovabitrema sinoense</i>*	Caballero & Bravo-Hollis, 1955	Gills	<i>Micropogon ectenes</i>	Caballero & Bravo-Hollis (1955)
	<i>Pterinotrematoides mexicanum</i>*	Caballero & Bravo-Hollis, 1955	Gills	<i>Micropogon ectenes</i>	Caballero & Bravo-Hollis (1955)
Discocotylidae Price, 1936	<i>Pseudohicotylophora lopezochoterenai</i>	Lamothe-Argumedo & Pulido-Flores, 1997	Gills	<i>Trachinotus rhodopus</i>	Bravo-Hollis (1985)
Hexabothrididae Price, 1942	<i>Dasyonchocotyle dasyatis</i>	(Yamaguti, 1968) Boeger & Kritsky, 1989	Gills	<i>Hypanus longus</i>	Escorcía-Ignacio et al. (2015)
Loimoidae Price, 1936	<i>Loimosina parawilsoni</i>*	Bravo-Hollis, 1970	Gills	<i>Sphyrna lewini</i>	Bravo-Hollis (1970)
Mazocraeidae Price, 1936	<i>Kuhnia</i> sp.		Gills	<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)
Microcotylidae Taschenberg, 1879	<i>Cynoscionicola srivastavai</i>	Bravo-Hollis & Caballero, 1970	Gills	<i>Isopisthus alayinnis</i>	Bravo-Hollis (1985)
	<i>Jaliscia caballeroi</i>	(Bravo-Hollis, 1960) Mamaev y Egorova, 1977	Gills	<i>Caulolatilus affinis</i>	Lamothe-Argumedo et al. (1997)
	<i>Magniexcipula lamothei</i>	Bravo-Hollis, 1980	Gills	<i>Calamus brachysomus</i>	Bravo-Hollis (1985)
	<i>Microcotyloides impudicus</i>	Caballero, Bravo-Hollis & Grocott, 1955	Gills	<i>Chanos chanos</i>	Bravo-Hollis (1981)
	<i>Microcotyloides incisa</i>	(Linton, 1910) Fujii, 1944	Gills	<i>Lutjanus guttatus</i>	Morales-Serna et al. (2017a)

Table. II Parasite-Host list of published records of marine fish crustacean parasites in Mazatlán Bay, Sinaloa, Mexico.

Parasite Family	Parasite species	Author and publication year	Habitat	Host	Reference
Copepoda					
H. Milne-Edwards, 1840					
Bomolochidae Claus, 1875	<i>Bomolochus nitidus</i>	Wilson N/D		<i>Mugil cephalus</i>	Causay (1960)
Caligidae Burmeister, 1835	<i>Caligus bennetti</i>	Causey N/D		<i>Caranx hippos</i>	Causay (1960)
	<i>Caligus bonito</i>	Wilson	Mouth	<i>Lutjanus</i> sp.	Causay (1960)
	<i>Caligus constrictus</i>	Morales-Serna, Ocegüera-Figueroa & Tang, 2021	N/D	<i>Caranx hippos</i>	Causay (1960)
	<i>Caligus fujevae</i> *		Gills	<i>Scomberomorus sierra</i>	Morales-Serna et al. (2017b)
	<i>Caligus mutabihi</i>	Wilson	N/D	<i>Mugil cephalus</i>	Causay (1960)
			N/D	<i>Scomberomorus sierra</i>	Causay (1960)
			Skin	<i>Selene orstedii</i>	Causay (1960)
	<i>Caligus omisus</i>	Cressey & Cressey, 1980	Gills	<i>Scomberomorus sierra</i>	Morales-Serna et al. (2021)
	<i>Caligus productus</i>	Dana	N/D	<i>Calamus brachysomus</i>	Causay (1960)
	<i>Gloicopotes huttoni</i>	(Thomson)	N/D	<i>Istiophorus platypterus</i>	Causay (1960)
	<i>Lepeophtheirus</i> sp.		Skin	<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)
	<i>Lepeophtheirus dissimulatus</i>	Wilson	N/D	<i>Ariopsis guatemalensis</i>	Causay (1960)
	<i>Lepeophtheirus mondacola</i> *	Morales-Serna, Tang & Gómez, 2023		<i>Oligophites refugens</i>	Morales-Serna et al. (2023)
	<i>Lepeophtheirus simplex</i> *	Ho, Gómez & Fájera-Ávila, 2001	Body surface	<i>Spherooides annulatus</i>	Ho et al. (2001)
Ergasilidae Burmeister, 1835	<i>Acusicola mazatlanensis</i> *	El-Rashidy & Boxshall, 1999	Gills	<i>Agonostomus monticola</i>	El-Rashidy & Boxshall (1999)
	<i>Ergasilus</i> sp.		Skin	<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)
Lernaeopodidae Milne Edwards, 1840	<i>Naobranchia lizae</i>	(Krøyer)	N/D	<i>Mugil cephalus</i>	Causay (1960)
	<i>Parabrachiella gracilis</i>	(Wilson)	N/D	<i>Genyonemus lineatus</i>	Causay (1960)
	<i>Thysanote longimana</i>	Wilson	N/D	<i>Menticirrhus nasus</i>	Causay (1960)
Lernanthropidae Kabata, 1979	<i>Lernanthropus cornutus</i>	Kirtisinghe	N/D	<i>Lutjanus colorado</i>	Causay (1960)
	<i>Lernanthropus pomatomi</i>	Rathbun	N/D	<i>Tylosurus pacificus</i>	Cressey and Collette (1970)
Pennellidae Burmeister, 1835	<i>Lernaeenicus longiventris</i>	Wilson, 1917	N/D	<i>Lutjanus</i> sp.	Causay (1960)
	<i>Pennella filosa</i>	(Linnaeus)	N/D	<i>Seriola lalandi</i>	Causay (1960)
			Skin	<i>Caranx caninus</i>	Osuna-Cabanillas et al. (2023)
			Skin	<i>Istiophorus platypterus</i>	Causay (1960)
			Skin	<i>Tunmus albacares</i>	Román-Reyes et al. (2019)
Pseudocycnidae Wilson, 1922	<i>Cybicola buccatus</i>	(Wilson, 1922)	Gills	<i>Scomberomorus sierra</i>	Morales-Serna et al. (2021)
Malacostraca Latreille, 1802					
Cymothoidae Leach, 1814	<i>Mothocyca gilli</i>	Bruce, 1986	Gills	<i>Hyporhamphus naos</i>	Grano-Maldonado et al. (2023)

Table III shows the host-parasite list. Forty-seven fish species have been analyzed for metazoan parasites, and at least one species has been reported from them. Six species were reported from elasmobranchs whereas the remaining species/taxa were found in osteichthyes. These fish are allocated in 43 genera and 24 families. The number of metazoan parasite taxa infecting marine fishes is variable, ranging from 1 to 25. The species with the largest parasite species richness were the “pargo lunarejo” (*Lutjanus guttatus*) with 25 taxa, the “sierra” (*Scomberomorus sierra*) with 14, the “pajarito”, *Hyporhamphus naos* with 9, the “cochito naranja” (*Sufflamen verres*) with nine, and the “botete” with 7 (Fig. 2). All the other fish species only possess between one and five parasite



taxa; twenty-four fish species (57%) are infected by only one parasite taxa (Table III, Fig. 2). Excepting by six trematode species, five nematodes and one acanthocephalan sampled either as metacercariae, third stage larvae, or cysthacanth, all metazoan parasites infecting marine fishes in Mazatlan Bay were adult forms (Table III).

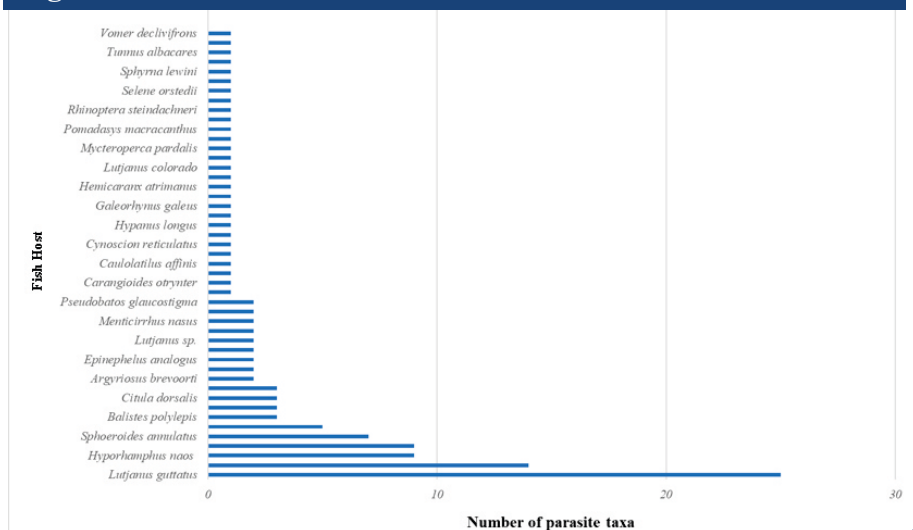
Table III. Host parasite list of the metazoan parasites of marine fishes from Mazatlan Bay, Sinaloa, Mexico.

Fish Family	Fish Species	Parasite species	Taxonomic group	Developmental Stage
CHONDRICHTHYES				
Dasyatidae	<i>Hypanus longus</i>	<i>Dasyonchocotyle dasyatis</i>	M	Adult
Myliobatidae	<i>Rhinoptera steindachneri</i>	<i>Serendip danbrooksi</i>	C	Adult
Rhinobatidae	<i>Pseudobatos glaucostigma</i>	<i>Spinuris mexicana</i> <i>Anoplocotylodes papillatus</i>	M	Adult
Triakidae	<i>Galeorhinus galeus</i>	<i>Staphylorchis pacifica</i>	T	Adult
Sphymidae	<i>Sphyrna lewini</i>	<i>Loimosina parawilsoni*</i>	M	Adult
OSTEICHTHYES				
Ariidae	<i>Ariopsis guatemalensis</i>	<i>Lepeophtheirus dissimulatus</i>	Co	Adult
Balistidae	<i>Balistes polylepis</i>	<i>Haroldmanteria pacifica</i>	T	Adult
		<i>Hypocreadium scaphosomum</i>	T	Adult
		<i>Xystretum caballeroi</i>	T	Adult
		<i>Alloinfundiburictus longicaecum</i>	T	Adult
		<i>Dermadena lactophrysi</i>	T	Adult
		<i>Diplangus mexicanus*</i>	T	Adult
		<i>Haroldmanteria pacifica*</i>	T	Adult
		<i>Diplangus mexicanus*</i>	T	Adult
		<i>Haroldmanteria pacifica*</i>	T	Adult
		<i>Homalometron caballeroi</i>	T	Adult
		<i>Hypocreadium scaphosomum</i>	T	Adult
		<i>Pseudolepidapedon balisits</i>	T	Adult
		<i>Pseudolepidapedon sinaloense*</i>	T	Adult
		<i>Xystretum caballeroi</i>	T	Adult
Belonidae	<i>Tylosurus pacificus</i>	<i>Lernanthropus cornutus</i>	Co	Adult
Carangidae	<i>Argyrosus brevoorti</i>	<i>Pseudohurleytrema longitestis</i>	T	Adult
		<i>Pseudomazocraes monsvaisae</i>	M	Adult
		<i>Pseudomazocraes monsvaisae</i>	M	Adult
		<i>Lernaemicus longiventris</i>	Co	Adult
		<i>Caligus benetti</i>	Co	Adult
		<i>Caligus constrictus</i>	Co	Adult
		<i>Protomicrocotyle manteri</i>	M	Adult
		<i>Bucephalus gorgon</i>	T	Adult
		<i>Phyllodistomum carangis</i>	T	Adult
		<i>Pseudohurleytrema longitestis*</i>	T	Adult
		<i>Salinacotyle mexicana</i>	M	Adult
		<i>Lepeophtheirus mondacoia*</i>	Co	Adult
		<i>Caligus mutabilis</i>	Co	Adult
<i>Selar sp.</i>	<i>Pseudomazocraes monsvaisae</i>	M	Adult	



Muraenesocidae	<i>Muraenesox coniceps</i>	<i>Lecithochirium sinaloense</i> *	T	Adult	
Polynemidae	<i>Polydactylus approximans</i>	<i>Microcotyloides impudicus</i>	M	Adult	
Sciaenidae	<i>Cynoscion reticulatus</i>	<i>Pleorchis americanus</i>	T	Adult	
	<i>Genyonemus lineatus</i>	<i>Parabrachiella gracilis</i>	Co	Adult	
	<i>Isopisthus altipinnis</i>	<i>Cynoscionicola srivastavai</i>	M	Adult	
	<i>Istiophorus platypterus</i>	<i>Gloiopotes huttoni</i>	Co	Adult	
		<i>Penella filosa</i>	Co	Adult	
		<i>Parabrachiella gracilis</i>	Co	Adult	
		<i>Lepidodidymocystis irwini</i> *	T	Adult	
		<i>Macrovalvitrema sinaloense</i> *	M	Adult	
		<i>Pterinotrematoides mexicanum</i> *	M	Adult	
	Scombridae	<i>Scomberomorus sierra</i>	<i>Anacetabulum</i> sp.	T	Metacercariae
		<i>Caligus fajerae</i> *	Co	Adult	
		<i>Caligus mutabilis</i>	Co	Adult	
		<i>Cybicola buccatus</i>	Co	Adult	
		<i>Didimozoon</i> sp.	T	Adult	
		<i>Didymocylindrus</i> sp.	T	Adult	
		<i>Didymocystis scomberomori</i>	T	Adult	
		<i>Didymocystis</i> sp.	T	Adult	
		<i>Glomeritrema</i> sp.	T	Adult	
		<i>Hysterothylacium</i> sp.	N	Larvae	
		<i>Mexicotyle mexicana</i>	M	Adult	
		<i>Philometra</i> sp.	N	Adult	
		<i>Prosorhynchoides cf. cybii</i>	T	Adult	
		<i>Thoracocotyle crocea</i>	M	Adult	
		<i>Penella filosa</i>	Co	Adult	
Serranidae		<i>Tunnus albacares</i>	<i>Lepidapedoides nicolli</i>	T	Adult
		<i>Epinephelus analogus</i>	<i>Prosorhynchus pacificus</i>	T	Adult
		<i>Mycteroperca pardalis</i>	<i>Corynosoma obtusens</i>	A	Cysthacanth
Sparidae		<i>Calamus brachysomus</i>	<i>Caligus productus</i>	Co	Adult
		<i>Magniexipula lamotheti</i>	M	Adult	
Tetraodontidae	<i>Sphoeroides annulatus</i>	<i>Bianium plicatum</i>	T	Adult	
		<i>Heterobothrium ecuadori</i>	M	Adult	
		<i>Huffmanella mexicana</i> *	N	Eggs	
		<i>Lepeophtheirus simplex</i> *			
		<i>Lintonium vibex</i>	T	Adult	
	<i>Neobenedenia melleni</i>	M	Adult		
	<i>Phyllodistomum mirandai</i>	T	Adult		

Fig 2.





largest helminth diversity with 129 taxa sampled from 76 fish species either osteichthyes or chondrichthes (see Pérez-Ponce de León et al., 1999, 2012). In Chamela Bay, a 5 year survey study of the helminth parasite fauna of marine fishes was conducted between 1992 and 1997; 1182 hosts representing 114 species were analyzed and around 35000 helminths of 92 species and 38 supraspecific taxa were identified (Pérez-Ponce de León et al., 1999). This contrasts with the data gathered for Mazatlan Bay since, considering both, the helminth and crustacean parasite fauna, after 50 years of mostly isolated parasitological work, only 115 parasite taxa have been reported in 47 fish species. In Mazatlan Bay, parasite sampling has been largely asymmetrical, and only a few commercially important fish species have been analyzed in certain detail (see Table III, Fig. 2). In Chamela Bay, many non-commercially important fish species were studied for parasites, although as a general tendency of the data on the parasite fauna of marine fishes of Mexican coasts, researchers have preferred these species as the focus of their studies (Pérez-Ponce de León et al., 2012). The data on the parasites of “pargos” and “botetes” of Mazatlan is also related with the fact that these two species have been subjected to aquacultural practices, and the study of their parasite fauna in the wild is complementary for the studies under controlled conditions (see Fájér-Ávila, Roque, Aguilar, Duncan, 2004; Grano-Maldonado, Roque, & Fajer-Avila, 2010; Grano-Maldonado, Roque, Aguirre, Fájér-Ávila, 2011); Grano-Maldonado, Aguirre, Betancourt-Lozano, & Fajer-Avila, 2013, Morales-Serna, García-Vargas, Medina-Guerrero, Fájér-Ávila 2017a). There is also additional data from García-Vargas (2008)¹ describing several aspects of the helminth parasite fauna of *Lutjanus guttatus*; however, data was not included in the present review since our data was built up from published records only. Similarly, few studies have addressed the parasitological analysis of species with importance for the fisheries of the locality, as the hyporhamphid *Hyporhamphus naos* (Grano-Maldonado et al., 2023).

¹García-Vargas, F. (2008). "Helminthos parásitos del pargo lunarejo, *Lutjanus guttatus* Steindachner, 1869 (Pisces: Lutjanidae) en dos localidades del Pacífico mexicano y estructura de las comunidades de endohelminthos". PhD Thesis. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/936>.



► DISCUSSION

The inventory of the metazoan parasite fauna of marine fishes of Mazatlan is far from complete. Pérez-Ponce de León, Mendoza-Garfias, García-Prieto (2012) presented an analysis of the diversity of helminth parasites of marine and estuarine fishes of Mexico, concluding that until the year 2012, around 20% of the fish fauna (approximately 450 species of actinopterygians and elasmobranchs) had been studied for helminths and that information was gathered during a period of 60 years. The authors referred that around 800 helminth species had been reported until that year, most of them in osteichthyes (688 species). The pattern of occurrence of helminths in marine fishes shows that trematodes are the most common parasites, followed by monogeneans, nematodes, cestodes, and acanthocephalans. This corresponds with the pattern we observed in Mazatlan Bay. There are only few reports of metazoan parasites of elasmobranchs in the locality, a group of hosts predominantly parasitized by cestodes of the orders Trypanorhyncha and Tetrathyridida (Pérez-Ponce de León et al., 2012; Merlo-Serna, García-Prieto, 2016). This result contrast with the large number of records, at least for helminth parasites of elasmobranchs, of the Gulf of California, where the largest number of species has been reported from at least 17 localities (Merlo-Serna and García-Prieto, 2016). Overall, for the state of Sinaloa, until 2012 a total of 73 helminth species had been reported parasitizing 50 host species, contrasting with other states of Mexico where the number of known marine fish helminths is higher. The states of Baja California Sur, Jalisco, Yucatan, Baja California, and Veracruz had, until 2012, 192, 180, 129, 124 and 111 helminth taxa, respectively. In our study, helminths account for the largest species richness, with 92 of the 115 parasite taxa.

The parasitological record is asymmetric since some states of the Mexican Republic have been more intensively studied than others. Comparison among specific localities exhibits the same asymmetrical pattern. Pérez-Ponce de León et al. (2012) compared the number of helminth taxa reported in 10 localities across the Pacific, Gulf of Mexico, and Caribbean Sea. Chamela Bay in Jalisco state showed the



Most of the studies referred on tables I and II were conducted with a reduced sampling size, although most of the isolated papers usually do not report the sample size. It is common knowledge that parasite diversity increases with sampling size (Poulin and Morand, 2000, 2005). The fish species studied thus far in Mazatlan illustrates this trend. In Mazatlan Bay, the species with the largest species richness have been intensively studied, whereas most of the other species represent isolated reports. Carangids represent the fish family with the largest number of studied species, with 12. Carangids possess between one and three parasite taxa in Mazatlan (Table III). Two species, i.e., *Caranx hippos* and *Citula dorsalis* have three taxa, *Argyrosus brevoorti* has two, and only one parasite taxa has been reported from the other nine species, although none of them has been intensively studied. In comparison, Violante-Gonzalez, Gallegos-Navarro, Monks, García-Ibáñez, Rojas-Herrera, Pulido-Flores, Villerías-Salinas, Larumbe-Morán (2016) studied 388 specimens of *Caranx caballus* from three localities of Guerrero in a 3 year period and identified 24 species of metazoan parasites; Violante-Gonzalez, Monks, Gallegos-Navarro, Santos-Bustos, Villalba-Vasquez, Padilla-Serrato, Pulido-Flores (2020) also studied 422 specimens of the carangid *Caranx sexfasciatus* from Acapulco Bay in a 3 year period, and 32 metazoan parasite taxa were identified. According to Fishbase, both carangid species are also distributed along the coast of Sinaloa. They have not been studied in Mazatlan, but it is possible to predict that they will have a similar parasite fauna. Another carangid, *Oligoplites refulgens* was studied by Santos-Bustos, Violante-González, Monks Rojas-Herrera, García-Ibáñez, Flores-Rodríguez, Almazán-Núñez, Moreno-Díaz (2018) in Acapulco Bay. In total, authors analyzed 114 specimens and found 12 species of metazoan parasites. In Mazatlan Bay, very few specimens of *O. refulgens* have been analyzed, and only one species of copepod has been reported (Morales-Serna, Tang, Gómez, 2023).

Finally, it is important to point out that the parasitological studies of marine fishes from Mazatlan have been mostly conducted using traditional morphological characters to establish parasite species identification. Nevertheless, we noticed that some current studies use scientific names that are not considered valid. For instance, Morales-



Serna, Chapa-López, Martínez-Brown, Ibarra-Castro, Medina-Guerrero & Fajer-Ávila (2018) referred to the species *Tagia ecuadori*, although the genus name is incorrect (see WORMS; World Register of Marine Species); the valid genus currently is *Heterobothrium* as we used it in this review. We caution about this practice for achieving a complete inventory as we also caution about not citing the proper bibliographical references of previous studies. Furthermore, until very recently, that some studies have used DNA sequences to achieve a more accurate species delimitation and for species description following an integrative taxonomy approach. Morales-Serna, Ocegüera-Figueroa, Tan (2017b) described the copepod *Caligus fajerae* using a combination of morphology and DNA sequence data; Osuna-Cabanillas, Morales-Serna, Venmathi, Cruz-Barraza (2023) redescribed a copepod, *Lernaenicus longiventris* and used some DNA sequences. Grano-Maldonado et al. (2023) used sequences of the 28S ribosomal gene to identify three species of trematode metacercariae infecting the gills, muscle, and brain of *H. naos*, as well as a species of nematode parasitizing the gonads of their host. Molecular data was very important for accomplishing more accurate species identification and was pivotal for identifying the larval of three trematode species that close their life cycle in fish-eating birds i.e., *Cardiocephaloides medioconiger*, *Opisthometra planicollis*, and *Mesostephanos microbursa* (Grano-Maldonado et al., 2023).

▶ FINAL CONSIDERATIONS

We pose that the inventory of the parasite fauna of marine fishes from Mazatlan Bay require keep collecting data from species commercially and non-commercially important. It will be very important to try to report the entire parasite fauna of each host species, through a sampling size large enough to discover most of the parasite species, and this include ideally obtaining samples across several periods during the year. Secondly, it will be important to use modern methods of identification and data analysis. Sequencing ribosomal and mitochondrial markers will be necessary to accomplish more accurate species identification and will be very useful in the description of new metazoan parasites. Finally, funding agencies need to realize that completing an inventory of the



parasite fauna of marine fish is important because many parasite species are considered of zoonotic importance since the human population is exposed to numerous parasitic species transmitted by fish (ichthyozoonoses) especially when fish is raw or not properly cooked (Chai, Murrell, Lymbery, 2005). It will be also important to discover what species possess the potential to cause zoonotic diseases, and their prevalence of infection levels. In some studies, potentially zoonotic parasites reach high prevalence of infection levels (Chen, Shih, 2015), while in others prevalence is very low, and the risk of diseases for the population is lower (see Garrido-Olvera, García-Prieto, Osorio-Sarabia, Sánchez-Martínez, Rábago-Castro, Hernández-Mena, Pérez-Ponce de León, 2022). Finally, since parasites constitute a key element for regional studies of biological diversity, the Faculty of Marine Sciences (FACIMAR) of the Autonomous University of Sinaloa, through the Parasitology Laboratory has established a career development for undergraduate students to address questions on pathogens and parasites of marine organisms, as well as to address aquaculture health problems with fish parasites in farming systems, such as snappers, tilapia, Pacific fat sleepers, and striped mullets. We hope this review stimulate students to conduct research on parasites and contribute with the description and understanding of the biodiversity of Mazatlan Bay.

▶ ACKNOWLEDGMENTS

We sincerely thank Luis García-Prieto for providing the database on the helminth parasites of marine fishes of Mexico, and for providing some bibliographical references allocated in the Colección Nacional de Helmintos. Special thanks to Dr. Mario Nieves-Soto to promote the study, teaching and performing scientific research in Aquatic and Environmental Parasitology and associated diseases in the Sinaloense Port.



► LITERATURE CITED

- Bárceñas de los Santos, N.Y., Morales-Serna, N., Medina-Guerrero, R.M., Hernández-Covarrubias, V., Ocegüera, A. & García-Prieto, L. (2021).** Helminth fauna of *Scomberomorus sierra* (Actinopterygii: Scombridae) in southeastern Gulf of California, Mexico. *Helminthologia*, 58, 403-407. DOI: <https://doi.org/10.2478/helm-2021-0035>
- Bravo-Hollis, M. (1956).** Tremátodos de peces marinos de aguas mexicanas XI. Estudio de 17 digéneos de las costas del Pacífico, incluyendo 6 especies nuevas y un género nuevo. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 27, 245-277.
- Bravo-Hollis, M. (1957).** Tremátodos de peces marinos de aguas mexicanas XIV. Cuatro monogéneos de la familia Capsalidae Baird, 1853, de las costas del Pacífico, incluyendo una especie nueva. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 28, 195-216.
- Bravo-Hollis, M. (1969a)** Helmintos de peces del Pacífico mexicano XXX. Descripción de tres monogéneos de la familia Monocotylidae Traschenberg, 1879. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México* 40: 161–178.
- Bravo-Hollis, M. (1969b).** Helmintos de peces del Pacífico mexicano XXVIII. Sobre dos especies del género *Floridosentis* Ward, 1953, acantocéfalos de la familia Neoechinorhynchidae van Cleave, 1919. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 40, 1-14.
- Bravo-Hollis M (1970)** Helmintos de peces del Pacífico mexicano XXXI. Descripción de *Loimosina parawilsoni* sp. nov., (Fam. Loimoidae Bychowsky, 1957) de *Sphyrna lewini* (Griffith) de Mazatlán, Sinaloa. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México* 41: 147–152.
- Bravo-Hollis, M. (1981).** Helmintos de peces del Pacífico mexicano XXXVII. Sobre seis especies conocidas de monogéneos del suborden Microcotylinae Lebedev, 1972. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 52, 1-12.
- Bravo-Hollis, M. (1985).** Helmintos de peces del Pacífico mexicano XLI. Una especie nueva del género *Polynemicola*. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 56, 277-290.
- Bravo-Hollis, M. & Manter, H.W. (1957)** Trematodes of marine fishes of Mexican waters X. Thirteen Digenea including nine new species and two new genera from the Pacific coast. *Proceedings Helminthological Society of Washington*, 24, 35-48.
- Bravo-Hollis, M. & Sogandares-Bernal, F. (1985).** Trematodes of marine fishes of Mexican waters IX. Four gasterostomes from the Pacific coast. *Journal of Parasitology*, 42, 536-539.
- Caballero, C.E. & Bravo-Hollis, M. (1955). Tremátodos de peces marinos de aguas mexicanas del Océano Pacífico. VIII. Descripción de tres nuevos géneros de tremátodos monogéneos. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 26, 89-115.



- Caballero-Deloya, J. (1973).** Nematodos de peces I. *Porrocaecum (Porrocaecum) caballeroi* sp. nov. (Nematoda: Anisakidae), parásito de *Makaira mitsukurii* (Jordan y Snyder, 101). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, serie Zoología, 44, 35-40.
- Carlson, C.J., Dallas, T.A., Alexander, L.W., Phelan, A.L., & Phillips, A.J. (2020).** What would it take to describe the global diversity of parasites?. Proceedings of the Royal Society B, 287, 20201841. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2020.1841>
- Causey, D. (1960).** Parasitic Copepoda from Mexican coastal fishes. Bulletin of Marine Sciences of the Gulf and Caribbean, 10, 323-337.
- Chai, J.Y., Murrell, K.D., & Lymbery, A.J. (2005).** Fish-borne parasitic zoonoses: status and issues, International Journal for Parasitology, 35, 1233–1254. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.07.013>.
- Chen, H.Y., & Shih, H.H. (2015).** Occurrence and prevalence of fish-borne Anisakis larvae in the spotted mackerel *Scomber australasicus* from Taiwanese waters, Acta Tropica, 145, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.02.011>.
- Costello, M.J. (2016).** Parasite rates of discovery, global species richness and host specificity. Integrative and Comparative Biology, 56, 588–599.
- Cressey, R. & Collette, B. (1970).** Copepods and needlefishes: a study in host-parasite relationships. Fishery Bulletin, United States National Marine Fisheries Service, 68, 347-432.
- Del Río-Zaragoza, O.B., E. Fájér-Ávila, & Almazán-Rueda, P. (2010).** Haematological and gill responses to an experimental infection of dactylogyrid monogeneans on the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869). Aquaculture Research, 41, 1592-1601. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02471.x>
- Dobson, A., Lafferty, K.D., Kuris, A. M., Hechinger, R.F. & Jetz, W. (2008).** Homage to Linnaeus: How many parasites? How many hosts?. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105, 11482-11489 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0803232105
- El-Rashidy, H. & Boxshall, G.A. (1999).** Ergasilid copepods (Poecilostomatoida) from the gills of primitive Mugilidae (grey mullets). Systematic Parasitology, 42, 161–186 doi: 10.1023/a:1006075223683.
- Escorcía-Ignacio, R., Pulido-Flores, G., Monks, S. (2015).** Distribution extension of *Dasyonchocotyle dasyatis* (Yamaguti, 1968) Boeger and Kritsky, 1989 (Monogenea: Hexabothriidae) in *Dasyatis longa* (Garman, 1880) (Myliobatiformes: Dasyatidae) from Sinaloa, México. Checklist 11, 1528. doi: 10.15560/11.1.1528
- Esqueda-González, M.C., E. Ríos-Jara, C.M. Galván-Villa, & F. A. Rodríguez-Zaragoza. (2022).** Structure of the bivalve (Mollusca) assemblage of Mazatlan Bay, Mexico, and its relationship to environmental variables. Community Ecology, 23, 349-364. <https://doi.org/10.1007/s42974-022-00112-8>



Estrada-García, A., L. García-Prieto & L. Garrido-Olvera. 2018. Description of a new species of *Pseudopecoelus* (Trematoda: Opecoelidae) with new records of trematodes of marine fishes from the Pacific coast of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(1): 22-28.

Fájer-Ávila, E., Roque, A., Aguilar, G. & Duncan, N. (2004). Patterns of occurrence of the Platyhelminth parasites of the wild bullseye puffer (*Spherooides annulatus*) off Sinaloa, México. *Journal of Parasitology*, 90, 415-418. <https://doi.org/10.1645/GE-3152RN>

García-Prieto, L., García-Varela, M., Mendoza-Garfias, B. & Pérez-Ponce de León, G. (2010). Checklist of the Acanthocephala in wildlife vertebrates of Mexico. *Zootaxa*, 2419, 1-50. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2419.1.1>

García-Prieto, L., Mendoza-Garfias, B. & Pérez-Ponce de León, G. (2014a). Biodiversidad de Platyhelminthes parásitos en México. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(S), 164-170. <https://doi.org/10.7550/rmb.31756>

García-Prieto, L., García-Varela, M. & Mendoza-Garfias, B. (2014b). Biodiversidad de Acanthocephala en México. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(S), 177-182. <https://doi.org/10.7550/rmb.31684>

García-Prieto, L., Osorio-Sarabia, D. & Lamothe-Argumedo, R. (2014c). Biodiversidad de Nematoda parásitos de vertebrados en México. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(S), 171-176. <https://doi.org/10.7550/rmb.31746>

García-Vargas, F., Fájer-Ávila, E. & Lamothe-Argumedo, R. (2008). Two new species of Dactylogyridae (Monogeneoidea) on rose spotted snapper, *Lutjanus guttatus* (Osteichthyes: Lutjanidae), from the coasts of Nayarit and Sinaloa, Mexico. *Zootaxa*, 1729, 61-68. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1729.1.6>

Garrido-Olvera, L., García-Prieto, L., Osorio-Sarabia, D., Sánchez-Martínez, J., Rábago-Castro, J., Hernández-Mena, D. & Pérez-Ponce de León, G. (2022). Parasites with zoonotic potential found in commercially important fish in Tamaulipas, Northeastern Mexico. *Parasitology International*, 88, 102550 <https://doi.org/10.1016/j.parint.2022.102550>

Grano-Maldonado, M. I. & Pérez-Ponce De León, G. (2023). Gusanos parásitos en vertebrados de Sinaloa ¿Qué tanto sabemos de ellos?. *SIBIUAS*, 1, 28-38 <https://revistas.uas.edu.mx/index.php/SIBIUAS/article/view/11>

Grano-Maldonado, M., Roque, A., & Fajer-Avila, E. (2010). Development of *Heterobothrium ecuadori* (Monogenea: Diclidophoridae) in bullseye puffer fish, *Spherooides annulatus*, under experimental conditions. *Fish Pathology*, 45, 175-178. <https://doi.org/10.3147/jsfp.45.175>

Grano-Maldonado, M.I., Roque, A., Aguirre, H., & Fájer-Ávila, E. (2011). Egg morphology, larval development and description of the oncomiracidium of *Heterobothrium ecuadori* (Monogenea: Diclidophoridae) parasitising the bullseye pufferfish, *Spherooides annulatus*. *Helminthologia*, 48, 5-55. <https://doi.org/10.2478/s11687-011-0009-3>



Grano-Maldonado, M., Aguirre, H., Betancourt-Lozano, M., & Fajer-Avila, E. (2013). *In vitro* effect of low salinity on egg hatching and larval survival of *Heterobothrium ecuadori* (Monogenea) infecting bullseye puffer fish *Sphoeroides annulatus*. *Aquaculture Research*, 46, 1522-1526. <https://doi.org/10.1111/are.12300>

Grano-Maldonado, M., Andrade-Gómez, L., Mendoza-Garfias, B., Solórzano-García, B., García-Pantoja, A., Nieves-Soto, M & Pérez-Ponce de León, G. (2023). Metazoan parasites of the Pacific silverstripe halfbeak, *Hyporhamphus naos* (Osteichthyes: Hemiramphidae) in Mazátlan Bay, Mexico. *Pacific Science*, XX, XX-XX.

Hidalgo-Escalante, E. (1958). Hallazgo de una nueva especie de *Capsala*, *Capsala pricei* n. sp., (Trematoda: Monogenea) en un pez marino del Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Série Zoología*, 29, 209-217.

Ho, J.S., Gómez, S. & Fajer-Ávila, E. (2001). *Lepeophtheirus simplex* sp. n., a caligid copepod (Siphonostomatoidea) parasitic on “botete” (bullseye puffer, *Sphoeroides annulatus*) in Sinaloa, Mexico. *Folia Parasitologica*, 48, 240–248. <https://DOI: 10.14411/fp.2001.040>

Hugot, J. P., Baujard, P. & Morand, S. (2001). Biodiversity in helminths and nematodes as a field of study: an overview. *Nematology*, 3, 199-208.

Lamothe-Argumedo, R. (1996). Monogéneos de peces X. Especie nueva del género *Capsaloides*, parásito de *Tetrapturus audax* de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 67, 163-171.

Lamothe-Argumedo, R. & Pulido-Flores, G. (1998). Monogéneos de peces XI. Hallazgo de *Tristomella laevis* y *Capsaloides sinuatus* (Monogenea: Capsalidae) en *Tetrapturus audax* en Mazatlán, Sinaloa, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 48, 49-56.

Lamothe-Aregumedo, R., García-Prieto, L., Osorio-Sarabia, D. & Pérez-Ponce de León, G. (1997). Catálogo de la Colección Nacional de Helmintos. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Merlo-Serna, A.I., García-Prieto, L. (2016). A checklist of helminth parasites of Elasmobranchii in Mexico. *ZooKeys* 563, 73-128. doi: 10.3897/zookeys.563.6067

Monks, S., Pulido-Flores, G. & Violante-González, J. (2011). A New species of *Neoechinorhynchus* (Acanthocephala: Neoechinorhynchidae) in *Dormitator latifrons* (Perciformes: Eleotridae) from the Pacific Coast of Mexico. *Comparative Parasitology*, 78, 21-28. <https://doi.org/10.1654/4462.1>

Monks, S., Zaragoza-Tapia, F., Pulido-Flores, G., Violante-González, J. (2015). A new species of *Serendip* (Cestoda: Tetraphyllidae: Serendipeidae) in *Rhinoptera steindachneri* (Chondrichthyes: Myliobatidae) from the Pacific coast of Mexico. *Comparative Parasitology*, 82, 262-268. doi: 10.1654/4745.1



- Morales-Serna, F.N., Gómez, S. & Pérez-Ponce de León, G. (2012).** Parasitic copepods reported from Mexico. *Zootaxa*, 3234, 43-68. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3234.1.2>
- Morales-Serna, F.N., Pinacho-Pinacho, D.D., Gómez S. & Pérez-Ponce de León, G. (2014).** Diversity of sea lice (Copepoda: Caligidae) parasitic on marine fishes with commercial and aquaculture importance in Chamela Bay, Pacific coast of Mexico by using morphology and DNA barcoding, with description of a new species of *Caligus*. *Parasitology International*, 63, 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2013.09.005>
- Morales-Serna, N., García-Vargas, F., Medina-Guerrero, R.M. & Fájér-Ávila, E. (2017a).** Helminth parasite communities of spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* from the Mexican Pacific. *Helminthologia*, 54, 240-249. <https://doi.org/10.1515/helm-2017-0031>
- Morales-Serna, F.N., Ocegüera-Figueroa, A. & Tang, D. (2017b).** *Caligus fajerae* n. sp. (Copepoda: Caligidae) parasitic on the Pacific sierra *Scomberomurus sierra* Jordan & Starks (Actinopterygii: Scombridae) in the Pacific Ocean off Mexico. *Systematic Parasitology*, 94, 927-939. [https://DOI: 10.1007/s11230-017-9752-2](https://doi.org/10.1007/s11230-017-9752-2)
- Morales-Serna, N., Chapa-López, M., Martínez-Brown, J., Ibarra-Castro, L., Medina-Guerrero, R. & Fajer-Ávila, E.J. (2018).** Efficacy of praziquantel and a combination anthelmintic (Adecto®) in bath treatments against *Tagia ecuadori* and *Neobenedenia melleni* (Monogenea), parasites of bullseye puffer fish. *Aquaculture*, 492, 361-368.
- Morales-Serna, F.N., Olivas-Padilla, L., Marín-Enriquez, E., Osuna-Cabanillas, J.M., Aguirre-Villaseñor, H., & Hernández-Covarrubias, V. (2021).** Copepod and monogenean infection of fish under sea surface temperature anomalies. *Journal of Sea Research* 175, 102098 <https://doi.org/10.1016/j.seares.2021.102098>
- Morales-Serna, F.N., Tang, D. & Gómez, S. (2023).** *Lepeophtheirus mondacola* sp. nov. (Copepoda; Caligidae) parasitic on the shortjaw leatherjacket *Oligoplites refulgens* (Teleostei; Carangidae) in the Gulf of California, Mexico, *Systematic Parasitology*, 100, 31-41. [https://DOI: 10.1007/s11230-022-10068-y](https://doi.org/10.1007/s11230-022-10068-y)
- Moravec, F. & Fájér-Ávila, E. (2000).** *Huffmanella mexicana* n. sp. (Nematoda: Trichosomoididae) from the marine fish *Sphoeroides annulatus* in Mexico. *Journal of Parasitology*, 86, 1229-1232. [https://DOI: 10.1645/0022-3395\(2000\)086](https://doi.org/10.1645/0022-3395(2000)086)
- Osuna-Cabanillas, J.M., Morales-Serna, F. N., Venmathi Maran, B. A., & Cruz-Barraza J.A. (2023).** Redescription of *Lernaenicus longiventris* Wilson, 1917 (Copepoda: Pennellidae) parasitic on the Pacific Crevalle Jack *Caranx caninus* (Carangidae) through morphological and molecular analyses. *Acta Parasitologica*, 68, 84-90 [https://DOI: 10.1007/s11686-022-00627-0](https://doi.org/10.1007/s11686-022-00627-0)
- Pérez-Ponce de León, G., García-Prieto, L., Mendoza-Garfias, B., León-Regagnón, V. & Pulido-Flores, G., Aranda-Cruz, C. & García-Vargas, F. (1999).** Listados Faunísticos de México IX. Biodiversidad de Helmintos parásitos de peces marinos y estuarinos de la Bahía de Chamela, Jalisco. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, 51 p.



Pérez-Ponce de León, G., García-Prieto, L. & Mendoza-Garfias, B. (2011). Describing Parasite Biodiversity: The Case of the Helminth Fauna of Wildlife Vertebrates in Mexico. In: Oscar Grillo (Ed.), *Changing Diversity in Changing Environment*. InTech, Croacia, 1-23 pp.

Pérez-Ponce de León, G., Mendoza-Garfias, B. & García-Prieto, L. (2012). Biodiversidad de helmintos parásitos de peces marinos y estuarinos de México. pp. 109-120, In: Del Moral, F. L. F., Martínez, P. J. A., Franco, L. J., Ramírez, V. & Tello, M. J. L. (Eds). *Investigación Ictiológica en México. Temas selectos en honor al Dr. José Luis Castro Aguirre*. Universidad Nacional Autónoma de México. México

Poulin, R., & Morand, S. (2000). The diversity of parasites. *Quarterly Review of Biology*, 75, 277–293. [https://DOI: 10.1086/393500](https://doi.org/10.1086/393500)

Poulin, R. & Morand, S. (2005). *Parasite Biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., 216 pp.

Rivera-Toscano, D., Rodríguez-Montes De Oca, G. A., Román-Reyes, C., López-Peraza, D. J & Grano-Maldonado, M. I. (2022). Nuevo registro de especies de *Philometra* costa, 1845 (Nematoda: Philometridae) que infectan la gónada de *Hyporhamphus naos* Banford & Collete, 2001 (Hemiramphidae: Beloniformes) en Sinaloa, México. *Neotropical Helminthology*, 16, 57-65. <https://doi.org/10.24039/rmh20221611429>

Román-Reyes, J. C., Ortega García, S., Galvan Magaña, F., & Grano-Maldonado, M. I. (2019). First record of *Penella filosa* L. (Copepoda, Siphonostomida, Mexican Pacific Coast. *Neotropical Helminthology*, 13, 109-114. <https://doi.org/10.24039/rmh201913109114>

Rubio-Godoy, M. & G. Pérez -Ponce de León. (2023). Equal rights for parasites: Windsor 1995, revisited after ecological parasitology has come of age. *Biological Conservation*, 284, 110174. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110174>

Santos-Bustos, N.G., Violante-González, J., Monks, S., Rojas-Herrera, A.A., García-Ibáñez, S., Flores-Rodríguez, P., Almazán-Núñez, R.C. & Moreno-Díaz, G. (2018). Species richness and similarity of metazoan parasite communities in three species of leatherjacket (*Oligoplites*: Pisces: Carangidae) from the Pacific coast of Mexico. *Invertebrate Biology*, 137, 205-220. <https://doi.org/10.1111/ivb.12220>

Soler-Jiménez, C. & Fájér-Ávila, E. (2012). The microecology of dactylogyrids (Monogenea: Dactylogyridae) on the gills of wild spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Lutjanidae) from Mazatlan Bay, Mexico. *Folia Parasitologica*, 59, 53-58. [https://DOI: 10.14411/fp.2012.008](https://doi.org/10.14411/fp.2012.008)

Soler-Jiménez, C., García-Gasca, A. & Fájér-Ávila, E. (2012). A new species of *Euryhaliotrematoides* Plaisance & Kritsky, 2004 (Monogenea: Dactylogyridae) from the gills of spotted rosesnapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner) (Perciformes: Lutjanidae). *Systematic Parasitology* 82: 113-119. <https://doi.org/10.1007/s11230-012-9351-1>

Van Cleave, H.J. (1953). A preliminary analysis of the acanthocephalan genus *Corynosoma* in mammals of North America. *Journal of Parasitology*, 39, 1-13.



Violante-González, J., Gallegos-Navarro, Y., Monks, S., García-Ibáñez, S., Rojas-Herrera, A., Pulido-Flores, G., Villerías-Salinas, S. & Larumbe-Morán, E. (2016). Parasites of the green jack *Caranx caballus* (Pisces: Carangidae) in three locations from Pacific coasts of Mexico, and their utility as biological tags. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 1015-1022. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.010>.

Violante-González, J., Monks, S., Gallegos-Navarro, Y., Santos-Bustos, N., Villalba-Vasquez, P., Padilla-Serrato, J. & Pulido-Flores, G. (2020). Interannual variation in the metazoan parasite communities of bigeye trevally *Caranx sexfasciatus* (Pisces, Carangidae) *Parasite*, 27, 6. <https://DOI: 10.1051/parasite/2020001>

Winter, H.A. (1959). Algunos tremátodos digéneos de peces marinos de aguas del Océano Pacífico del sur de California, E.U.A., y del litoral mexicano. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 30, 183-208.

Yamaguti, S. & Kamegai, S. (1969). A new trematode, *Lepidodidymocystis irwini* n.g., n.sp. (Didymozoidae) from a marine fish, *Menticirrhus nasus*. *Tulane Studies in Zoology and Botany*, 16, 26-29.



Revisión Científica

Sinergia interinstitucional para estudiar la antracnosis de los manglares en México

Interinstitutional synergy to study the anthracnosis of mangroves in Mexico



CREATIVE COMMONS



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina

- | | |
|---|--|
|  1. Francisco Flores Cárdenas
 0009-0005-8088-1008
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa. |  6. Anuar Magaña Álvarez
 0000-0001-5207-9281
Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México |
|  2. Rosa Stephanie Navarro Peraza
 0000-0001-6835-4743
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa. |  7. Amparo Rodríguez Santiago
 0000-0003-0616-237X
CONACyT, Universidad Autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México. |
|  3. Francisco J. Flores Verdugo
 0000-0002-9707-0819
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. |  8. Brenda Solórzano García
 0000-0002-6367-477X
Laboratorio de Parasitología y Medicina de la Conservación, ENES-Mérida, UNAM, Yucatán. México |
|  4. Francisco Flores De Santiago
 0000-0001-8813-0093
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. |  9. Mario Nieves Soto
 0000-0001-6624-5068
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa. |
|  5. Daisy Pérez Brito
 0000-0003-2116-0065
Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México |  10. Mayra I. Grano Maldonado
 0000-0001-7519-379X
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa.
Autor de correspondencia: granomayra@uas.edu.mx |



Sinergia interinstitucional para estudiar la antracnosis de los manglares en México

Interinstitutional synergy to study the anthracnosis of mangroves in Mexico

► RESUMEN

La antracnosis, causada principalmente por hongos del género *Colletotrichum*, es una enfermedad que afecta a los manglares, ecosistemas que son importantes y productivos. El presente estudio presenta por primera vez un enfoque colaborativo entre diferentes instituciones para el análisis y la comprensión del efecto de la antracnosis en los manglares mexicanos. También se exploran las causas de la enfermedad y se evalúan implicaciones ecológicas.

Palabras clave: salud ambiental, colaboración, ecosistemas costeros, humedales, fitopatógenos, *Colletotrichum*.

► ABSTRACT

Anthraco-nose is caused mainly by fungi of the *Colletotrichum* genus. It is a disease that affects mangroves, ecosystems that are important and productive. This study presents a collaborative approach for the first time between different institutions for the analysis and understanding of the effect of anthracnose in Mexican mangroves. The causes of the disease are also explored and ecological implications are evaluated.

Keywords: environmental health, collaboration, coastal ecosystems, wetlands, phytopathogens, *Colletotrichum*.



► INTRODUCCIÓN

Los manglares son importantes pues ofrecen servicios ecológicos a diferentes grupos de organismos que habitan ambientes marinos y terrestres, además de los múltiples servicios ecosistémicos que brindan a las comunidades humanas, tales como el mantenimiento de la línea de costa y el amortiguamiento de vientos y oleaje provocados por tormentas intensas y huracanes (Zhu, Vuik, Visser, Soens, van Wesenbeeck, van de Koppel, Bouma, 2020). Los manglares son zonas que se usan para la educación, el esparcimiento y la ciencia (Jariego, Holgado, Castillo, Florido-del-Corral, Gómez-Mestres, 2023), y son también áreas que se vinculan con sectores productivos como la pesca, el desarrollo inmobiliario y el turismo, entre otras (Vargas-del-Río & Brenner, 2023). A pesar de los múltiples servicios que brindan, los manglares son vulnerables tanto a desastres naturales como a los daños ocasionados por las actividades humanas (Mondal, Roy, Saha, 2022), aunado a ello, los manglares son susceptibles de enfermedades fúngicas, como la antracnosis, que se caracterizan por causar lesiones y necrosis sobre el tejido vegetal (Grano-Maldonado, Ramos-Payan, Rivera-Chaparro, Aguilar-Medina, Romero-Quintana, Rodríguez-Santiago, Nieves-Soto, 2021). La antracnosis es una enfermedad causada por hongos que afecta a manglares de las costas de México en litorales del Atlántico y el Pacífico. En estos manglares la antracnosis es causada por los fitopatógenos *Colletotrichum sp.* y *Fusarium sp.*, ambos géneros son los más comunes e importantes (Grano-Maldonado et al., 2021). Debido a esto, se inició un proyecto de evaluación, restauración y conservación de zonas de manglares impactadas por hongos fitopatógenos en el sureste mexicano que, posteriormente, fue extendido a las costas del Pacífico en un convenio de investigación multidisciplinaria entre la Universidad Autónoma de Sinaloa, la Universidad Autónoma de Ciudad del Carmen, el Centro de Investigación Científica de Yucatán y la Universidad Nacional Autónoma de México. El objetivo de este estudio fue identificar y caracterizar las especies de hongos que afectan a las cuatro especies de manglar en ambos litorales en México en un esfuerzo colaborativo entre varias universidades.

► MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos periódicos en manglares en ambas costas de México, se colectaron hojas con signos de enfermedad (Figura 1). Las hojas enfermas de cuatro especies de manglares: mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle botón (*Conocarpus erectus*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y de mango (*Mangifera indica*) con el propósito de identificar el origen de la transmisión y el proceso de infección en el sistema lagunar Huizache-Caimanero (Sinaloa) y Marismas Nacionales (Nayarit). Las hojas se colocaron en bolsas de papel etiquetadas y transportadas en hieleras al laboratorio (Facultad de Ciencias del Mar, FACIMAR-UAS) donde fueron procesadas de acuerdo con previa metodología (Grano-Maldonado et al., 2021). La identificación se llevó a cabo con la observación morfológica del micelio y las esporas. Así como, y características moleculares utilizando marcadores (ITS1/ITS4) luego fueron secuenciados y comparados en GenBank (NCBI).



Figura 1

▶ RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los hongos *Colletotrichum* sp. y *Fusarium* sp., se aislaron, identificaron y caracterizaron molecularmente por primera vez en México en la laguna costera de Términos en Campeche (Grano-Maldonado et al., 2021) afectando a las cuatro especies de mangle; negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle botón (*Conocarpus erectus*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y de mango (*Mangifera indica*). Con estos resultados se expandió el interés de proyectar un programa de evaluación de manglares en las costas del Pacífico Mexicano. Los resultados obtenidos corresponden con la identificación morfológica de las muestras del análisis de filogenia. El ITS mostró que las especies de hongos de manglar categorizadas morfológicamente coinciden con especies *Colletotrichum* (Figura 2).

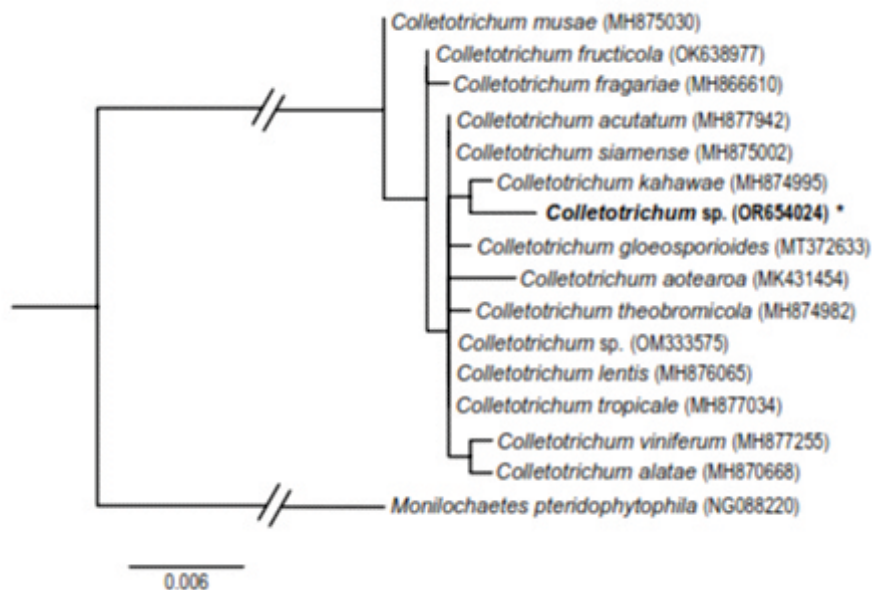


Figura. 2 Árbol filogenético construido con las muestras colectadas en 4 zonas del Pacífico mexicano.



Las muestras de hongos aislados de mangle negro y blanco en la zona del Caimanero pertenecen al género *Colletotrichum* sp., con un alto valor de soporte (bootstrap) (92%), lo que nos brinda alta fidelidad con agrupamiento preciso. Sin embargo, las especies aún no han sido definidas ya que se están analizando las secuencias para determinar la especie patógena. Los fitopatógenos que causan antracnosis en plantas cultivadas y nativas, en regiones tropicales y templadas, se manifiestan a través de daños y necrosis foliares, tal es el caso de la antracnosis del mango (*Mangifera indica* L.), causada por *Colletotrichum* spp., considerada la enfermedad más importante del mango en casi todas las zonas de producción del mundo. En México, la antracnosis del mango sólo se ha atribuido a *C. asianum* y *C. gloeosporioides* (Tovar-Pedraza, Mora-Aguilera, Nava-Díaz, Lima, Michereff, Sandoval-Islas, Câmara, Téliz-Ortiz, Leyva-Mir, 2020). La agricultura altamente tecnificada se ha extendido muy cerca de los manglares a pesar de su importancia ecológica y económica. Los ecosistemas de manglares en todo el mundo pueden estar sujetos a constante degradación debida a causas naturales (por ejemplo huracanes, aumento del nivel del mar y de la temperatura del océano), fluctuaciones de temperatura a causa del impacto antropogénico (deforestación, contaminación, urbanización, acuicultura, agricultura) (Arshad, Eid, Hasan, 2020). Los manglares son altamente susceptibles sobre todo cuando están estresados por variaciones atípicas de salinidad y temperatura. Estos factores han sido ampliamente estudiados en ecosistemas de manglares en el Pacífico Mexicano y entre los más importantes podemos destacar: parámetros hidrológicos, determinación de clorofila, restauración ecológica, dinámica para la eliminación eficiente de condiciones hipersalinas, influencia de canales construidos artificialmente en el crecimiento del manglar negro forestado, entre otros (Flores-de-Santiago, Rodríguez-Sobreyra, Álvarez-Sánchez, Valderrama-Landeros, Amezcua, Flores-Verdugo, 2023; Flores-de-Santiago, Valderrama-Landeros, Rodríguez-Sobreyra, Flores-Verdugo, 2020; Flores-de-Santiago, Serrano, Flores-Verdugo, Monroy-Torres, 2017; Flores-de-Santiago, Kovacs, Wang, Flores-Verdugo, Zhang, C., González-Farías, 2016; Flores-Verdugo, Ramírez-Barron, Flores-de-Santiago, 2018; Flores-Verdugo, Zebadua-



Penagos, Flores-de-Santiago, 2015). El hallazgo de patógenos vegetales físicamente próximos a las plantas de mango y manglares es un ejemplo de transmisión paralela desde cultivos agrícolas a manglares endémicos. Esto sugiere que las enfermedades agrícolas causadas por hongos generan riesgos potenciales como la antracnosis y pueden tener un impacto ecológico en la biodiversidad de los manglares afectándolos más si están estresados. En este contexto, Grano-Maldonado et al., (2021) realizaron evaluaciones antifúngicas antagonistas de *Tricoderma harzianum* que podrían aplicarse con éxito contra *Colletotrichum* sp. para controlar fitopatógenos en manglares y mangos comerciales. Se necesitan más estudios que incluyan el daño foliar para ampliar el conocimiento actual sobre estas enfermedades de antracnosis para proteger los bosques de manglares en México. El trabajo colaborativo entre instituciones puede impulsar mejoras y soluciones a futuro que puedan extenderse por todo el noroeste mexicano.

▶ LITERATURA CITADA

Arshad, M., Eid, E.M., Hasan, M. (2020). Mangrove health along the hyper-arid southern Red Sea coast of Saudi Arabia. *Environ. Monit. Assess.* 192, 189. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8140-6>.

Flores-de-Santiago, F., Kovacs, J.M., Wang, J., Flores-Verdugo, F., Zhang, C., Gonzalez-Farías, F. (2016). Examining the influence of seasonality, condition, and species composition on mangrove leaf pigment contents and laboratory based spectroscopy data. *Rem. Sens.* 8, 226. <https://doi.org/10.3390/rs8030226>.

Flores-de-Santiago, F., Serrano, D., Flores-Verdugo, F., Monroy-Torres, M. (2017). Application of a simple and effective method for mangrove afforestation in semiarid regions combining nonlinear models and constructed platforms. *Ecol. Eng.* 103, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.008>.

Flores-de-Santiago, F., Valderrama-Landeros, L., Rodríguez-Sobreyra, R., Flores-Verdugo, F. (2020). Assessing the effect of flight altitude and overlap on orthoimage generation for UAV estimates of coastal wetlands. *J. Coast Conserv.* 24, 35. <https://doi.org/10.1007/s11852-020-00753-9>.



Flores-de-Santiago, F., Rodríguez-Sobreyra, R., Álvarez-Sánchez, L., Valderrama-Landeros, L., Amezcua, F., Flores-Verdugo, F. (2023). Understanding the natural expansion of white mangrove (*Laguncularia racemosa*) in an ephemeral inlet based on geomorphological analysis and remote sensing data, *Journal of Environmental Management*, 338, 117820. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117820>.

Flores-Verdugo, F., Ramírez-Barron, E., Flores-de-Santiago, F. (2018). Hydroperiod enhancement using underground pipes for the efficient removal of hypersaline conditions in a semiarid coastal lagoon. *Continental Shelf Res.* 162, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.04.008>.

Flores-Verdugo, F., Zebadua-Penagos, F., Flores-de-Santiago, F. (2015). Assessing the influence of artificially constructed channels in the growth of afforested black mangrove (*Avicennia germinans*) within an arid coastal region. *J. Environ. Manag.* 160, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.024>.

Grano-Maldonado, M.I., Ramos-Payan, R., Rivera-Chaparro, F., Aguilar-Medina, M., Romero-Quintana, J.G., Rodríguez-Santiago, A., & Nieves-Soto, M. (2021). First molecular characterization of *Colletotrichum* sp. and *Fusarium* sp. isolated from mangrove in Mexico and the antagonist effect of *Trichoderma harzianum* as an effective biocontrol agent. *Plant Pathol. J.*, 37, 465. doi: 10.5423/PPJ.OA.03.2021.0048.

Jariego, I. M., Holgado, D., Castillo, A. C., Florido del Corral, D., & Gómez Mestres, S. (2023). Children's interaction with ecosystem services in a mangrove forest: Perceptions of fisher folks on the involvement of minors in fishing activities in the Gulf of Fonseca in Honduras. *Ocean & Coastal Management*, 236, 106502. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106502>

Mondal, B., Roy, A., & Saha, A. K. (2022). Vulnerability assessment of mangrove areas in coastal West Bengal, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100680. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100680>

Tovar-Pedraza, J.M., Mora-Aguiler, a J.A., Nava-Díaz, C., Lima, N.B., Michereff, S.J., Sandoval-Islas, J.S., Câmara, M.P.S., Téliz-Ortiz, D., Leyva-Mir, S.G. (2020). Distribution and Pathogenicity of *Colletotrichum* Species Associated With Mango Anthracnose in Mexico. *Plant Dis.* 104(1):137-146. doi: 10.1094/PDIS-01-19-0178-RE

Vargas-del-Río, D., & Brenner, L. (2023). Mangroves in transition. Management of community spaces affected by conservation and tourism in Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 232, 106439. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106439>

Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P. J., Soens, T., van Wesenbeeck, B., van de Koppel, J., Bouma, T. J. (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nature Sustainability*, 3(10), 853-862.