



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS
**Presencia de *Ergasilus lizae* (Copepoda:
Ergasilidae) en *Mugil cephalus* y *M. curema* del sur
de Sinaloa**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS
EN EL ÁREA DE APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE RECURSOS PESQUEROS

PRESENTA:

Selena Guadalupe Camacho Zepeda

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Emigdio Marín Enríquez

Dr. Francisco Neptalí Morales Serna

Mazatlán, Sinaloa, México, Septiembre del 2024



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



RESUMEN

Los copépodos son un grupo de crustáceos acuáticos que incluyen tanto especies de vida libre como parásitas. Los copépodos parásitos muestran una amplia diversidad de hospederos, que van desde esponjas hasta mamíferos. La morfología de estas especies puede variar según el hospedero o las condiciones del agua en las que se encuentren. Dentro de los copépodos parásitos que infectan a peces de agua dulce y salobre, la familia *Ergasilidae* es una de las más comunes, con la mayoría de sus representantes pertenecientes al género *Ergasilus*. En México, ha habido un escaso análisis morfológico de estos copépodos, y la mayoría de los registros se han limitado a nivel de género. El objetivo del presente estudio fue confirmar la presencia de *Ergasilus lizae* (Copepoda: Ergasilidae) en las lisas *Mugil cephalus* y *M. curema* del sur de Sinaloa. Se recolectó un total de 321 individuos de *E. lizae* en el Estero de Urías y Huizache-Caimanero, correspondientes a los municipios de Mazatlán y El Rosario, Sinaloa, respectivamente. Los niveles de infección con mayores prevalencias de *E. lizae* se observaron durante la época cálida en el Estero de Urías (62.1%) y en Huizache-Caimanero (55%), en comparación con la época fría (12.5% y 11.8%, respectivamente). La intensidad de la mediana tuvo valores generalmente por debajo de 5 parásitos por pez y no mostró variaciones significativas entre las diferentes estaciones de muestreo. En este estudio, evaluamos la asimetría de la especie utilizando un enfoque morfométrico geométrico para analizar la variación en la forma y la simetría bilateral. Se aplicó una configuración de 11 puntos de referencia y 20 semimarcas para evaluar la variación morfológica en los especímenes. Los niveles bajos de asimetría fluctuante observados en la especie sugieren que, a pesar de habitar en áreas con diferentes niveles de contaminación, mantienen la estabilidad en su desarrollo y forma morfológica. Los resultados de este estudio pueden contribuir al conocimiento de la biodiversidad de los parásitos y ser útiles para futuros estudios de monitoreo ambiental.

Palabras clave: Biodiversidad, crustáceos, morfometría, variación morfológica, ectoparásito

ABSTRACT

Copepods are a group of aquatic crustaceans that include both free-living and parasitic species. Parasitic copepods exhibit a wide host diversity, ranging from sponges to mammals. The morphology of these species may vary depending on the host or the water conditions in which they are found. Among the parasitic copepods that infect freshwater and brackish water fish, the family Ergasilidae is one of the most common, with most of its representatives belonging to the genus *Ergasilus*. In Mexico, there has been little morphological analysis of these copepods, and most records have been limited to the genus level. The objective of the present study was to confirm the presence of *Ergasilus lizae* (Copepoda: Ergasilidae) in the mullets *Mugil cephalus* and *M. curema* from southern Sinaloa. A total of 321 individuals of *E. lizae* were collected in Estero de Urías and Huizache-Caimanero, corresponding to the municipalities of Mazatlán and El Rosario, Sinaloa, respectively. Infection levels with higher prevalences of *E. lizae* were observed during the warm season in Estero de Urías (62.1%) and Huizache-Caimanero (55%), compared to the cold season (12.5% and 11.8%, respectively). Median intensity had values generally below 5 parasites per fish and did not show significant variations among the different sampling stations. In this study, we evaluated the asymmetry of the species using a geometric morphometric approach to analyze variation in shape and bilateral symmetry. A configuration of 11 landmarks and 20 half-marks was applied to assess morphological variation in specimens. The low levels of fluctuating asymmetry observed in the species suggest that, despite inhabiting areas with different levels of contamination, they maintain stability in their development and morphological shape. The results of this study may contribute to the knowledge of the biodiversity of parasites and be useful for future environmental monitoring studies.

Key words: Biodiversity, crustaceans, morphometry, morphological variation, ectoparasite.

DEDICATORIA

Este logro lo dedico especialmente a mi hijo José Miguel, quien ha sido mi inspiración para culminar esta etapa de mi vida. Aprecio enormemente los momentos compartidos, en particular aquellos que giraron en torno a tu fascinación por los parásitos y nuestras exploraciones en la naturaleza. Tú curiosidad y nuestra conexión en esos momentos han sido elementos fundamentales en mi proyecto, aportando un significado especial a este logro.

Agradezco profundamente a mis padres por su constante apoyo, por inculcarme el valor de llevar a cabo todo lo que comienzo, por enseñarme que cada sacrificio conlleva su recompensa y por siempre creer en mí. Su respaldo ha sido la base de mi determinación y el motor que impulsa mis logros.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente que nada doy gracias a Dios por permitirme culminar esta etapa y por cada bendición.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por mi formación, en especial a la Facultad de Ciencias del Mar y sus profesores por brindarme conocimientos a lo largo de esta etapa.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por permitirme usar el laboratorio de parasitología acuática.

Al Dr. Neptali Morales Serna por aceptarme nuevamente como su alumna, su continuo respaldo durante esta etapa ha sido invaluable, y aprecio enormemente su paciencia, generosidad de tiempo, sabios consejos y su grata amistad.

Al Dr. Emigdio Marin Enríquez por sus observaciones, las cuales han sido fundamental para la realización de este trabajo. Su capacidad para apreciar tantos mis aciertos como mis erros ha sido un factor determinante en este proceso.

Agradezco infinitamente a M.C. Brenda Paola Ramírez Santana por su invaluable apoyo en simplificar el estudio de morfometría. Su paciencia al explicarme, la dedicación de su tiempo cuando lo necesitaba, su amable amistad y las conversaciones alentadoras y consejos, han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

A la Dra. Mercedes Marlene Manzano Sarabia y Dra. Carmen Cristina Osuna Martínez por compartir sus valiosos conocimientos y realizar observaciones fundamentales durante el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a mi esposo por su apoyo incondicional, por su paciencia constante y por ser una fuente de motivación. Gracias por mantenerme en pie, por escucharme y por siempre encontrar la manera de sacarme una sonrisa.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, hermanos y a toda mi familia, tanto paterna como materna, por su apoyo constante. Agradezco el hecho de hacerme sentir segura de que mi hijo estaba en las mejores manos cuando no podía estar conmigo, brindándome una tranquilidad invaluable durante esa etapa. Su respaldo hizo que esta etapa fuera más sencilla.

Al laboratorio de parasitología acuática Dr. Neptali Morales Serna, M.C. Juan Manuel Cabanillas, M.C. Dania Moreno, M.C. Ivana Ramos, Dra. Citlalic Pimentel, Dr. Víctor Caña, Lic. Ileri Renteria, Lic. Saúl García, Lic. Eduardo Cabanillas y Félix Rodríguez, agradezco por los momentos compartidos, las risas, bromas y convivencias. Valoro la unión y el apoyo mutuo que caracterizan a nuestro equipo de trabajo. Gracias por crear y mantener un ambiente tan positivo y colaborativo.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Taxonomía	4
2.2 Clasificación taxonómica y morfología de <i>Ergasilus</i>	5
2.3 Descripción.....	5
2.4 Ciclo de vida	6
2.5 Especies de <i>Ergasilus</i> registradas en <i>Mugil curema</i> y <i>M. cephalus</i>	7
2.6 Registros de <i>Ergasilus</i> en México	9
2.7 Ambiente y morfología.....	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	13
5. HIPÓTESIS	13
6. OBJETIVO GENERAL	14
6.1 Objetivos particulares	14
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
7.1 Descripción del área de estudio	15
7.2 Muestreo de peces y copépodos parásitos	19
7.3 Descripción morfológica de <i>Ergasilus lizae</i>	19
7.4 Identificación molecular.....	20
7.5 Prevalencia e intensidad de la infección.....	21
7.6 Variación morfológica intraespecífica de <i>Ergasilus lizae</i> con análisis morfométrico ..22	
7.2.1 Variación en la forma de la antena (usando PCA)	26
7.2.2 Asimetría fluctuante	26
7.2.3 Vectores utilizados para describir la variación de la forma de las antenas derechas e izquierdas	26
7.2.4 Análisis exploratorio y estadístico	26
8. RESULTADOS	27
8.1 Características de las muestras de peces	27
8.2 Descripción morfológica de <i>Ergasilus lizae</i>	31
8.3 Identificación molecular de <i>E. lizae</i>	36
8.4 Prevalencia e intensidad de la infección.....	37

8.5. Variación morfológica intraespecífica de <i>E. lizae</i>	42
8.5.1 Variación en el tamaño de <i>E. lizae</i>	42
8.5.2 Análisis de morfometría geométrica.....	43
8.5.3 Error de digitalización	44
8.5.4 Variación en la forma de la antena (PCA)	44
8.5.5 Variación de la forma de las antenas de acuerdo al sitio	45
8.5.6 Dirección y magnitud de los vectores que describen la variación de la forma de antenas	47
8.5.7 Asimetría Fluctuante	48
8.5.8 Distancias Procrustes entre las antenas de <i>Ergasilus lizae</i>	49
9. DISCUSIÓN	50
9.1 Descripción morfológica de <i>Ergasilus lizae</i>	50
9.2 Identificación molecular	51
9.3 Prevalencia e intensidad de la infección.....	51
9.4 Variación morfológica intraespecífica de <i>Ergasilus lizae</i>	52
10. CONCLUSIÓN	54
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Ergasilus</i>	6
Figura 2. Área de estudio. Los puntos rojos indican los sitios de muestreo Estero de Urías y Huizache-Caimanero, ubicados en el sur de Sinaloa.....	15
Figura 3. Fotografía de una antena de <i>E. lizae</i> con los puntos de referencia y semimarcas usadas en el análisis morfométrico.....	24
Figura 4. Número de peces analizados en Estero de Urías (EU) y Huizache-Caimanero (LH).....	28
Figura 5. Peso de <i>Mugil curema</i> y <i>Mugil cephalus</i> de Estero de Urías (EU) y Huizache Caimanero LH).....	29
Figura 6. Longitud de <i>Mugil curema</i> y <i>Mugil cephalus</i> de Estero de Urías (EU) y Huizache-Caimanero (LH).....	30
Figura 7. Estructuras de valor taxonómico de <i>Ergasilus lizae</i> . 1: cuerpo completo; 2: rama caudal 3: primera antena; 4: anténula; 5 piezas bucales.....	34
Figura 8. Estructuras de valor taxonómico de <i>Ergasilus lizae</i> . 6: primer pata torácico; 7: segunda pata ventral; 8: tercera para ventral: 9: cuarta pata ventral; 10: quinta pata ventral.....	35
Figura 9. Árbol filogenético basado en el gen COI de especies de <i>Ergasilus</i>	36
Figura 10. Prevalencia de <i>Mugil curema</i> y <i>Mugil cephalus</i> en La laguna Estero de Urías y Huizache-Caimanero	38
Figura 11. Intensidad mediana de <i>Mugil curema</i> y <i>Mugil cephalus</i> en la laguna Estero de Urías y Huizache-Caimanero.....	39
Figura 12. Prevalencia de <i>Mugil curema</i> en La laguna Estero de Urías y Huizache Caimanero.....	40
Figura 13 .Intensidad mediana de <i>Mugil curema</i> en La laguna Estero de Urías y Huizache-Caimanero.....	41
Figura 14.PCA para visualizar la variación morfológica de las antenas en Estero de Urías y Huizache-Caimanero.....	44
Figura 15. Gráficos de caja representando las antenas de Estero de Urías y Huizache-Caimanero.....	46
Figura 16. Vector de cambio en la forma de las antenas de <i>Ergasilus lizae</i> mostrando variaciones en la forma, 1) Estero de Urías 2) Huizache Caimanero.....	47

LISTA DE TABLAS

PÁGINA

Tabla I. Especies de <i>Ergasilus</i> registradas en <i>Mugil curema</i> . Abreviaturas de los países: BRA - Brasil; CUR - Curazao; ECU - Ecuador; GUY -Guyana; JAM - Jamaica; MEX - México; NGR - Nigeria; PUR - Puerto Rico; SEN - Senegal; SLE - Sierra Leona; USA - Estados Unidos;VEN -Venezuela.....	7
Tabla II. Especies de <i>Ergasilus</i> encontradas en branquias <i>Mugil cephalus</i>	8
Tabla III.Registro de especies de <i>Ergasilus</i> en peces de México.....	9
Tabla IV. Definición de los puntos de referencia utilizados para la evaluación morfométrica geométrica de las antenas de <i>E. lizae</i> . Los números corresponden a la posición de los puntos de referencia y semimarcas.....	23
Tabla V. Número de especímenes de <i>E. lizae</i> usados en el análisis morfométrico.....	42
Tabla VI. Resultados de la prueba de t para comparar la longitud de <i>E. lizae</i> entre muestras.....	43
Tabla VII. Número de antenas medidas de <i>E. lizae</i> , por localidad, hospedero y fecha de recolecta.....	44
Tabla VIII. Error de digitalización.....	43
Tabla IX. Modelo de ANOVA de Procrustes evaluando los efectos de las variables TC y segmentos respecto a los sitios de muestreo en las antenas derechas e izquierdas de <i>E. lizae</i>	45
Tabla X. Prueba de simetría bilateral para calcular asimetría fluctuante de Estero de Urías.....	48
Tabla XI. Resultados del modelo ANOVA Procrustes para probar el efecto del lado en la variación de asimetría fluctuante en Huizache Caimanero.....	48
Tabla XII. Prueba de simetría bilateral para calcular asimetría fluctuante de Huizache-Caimanero.....	49
Tabla XIII. Resultados del modelo ANOVA Procrustes para probar el efecto del lado en la variación de asimetría fluctuante en Huizache- Caimanero.....	49

1. INTRODUCCIÓN

La clase Copepoda comprende 14,854 especies reconocidas y distribuidas en más de 2,600 géneros, 250 familias y 10 órdenes (Walter y Boxshall, 2023). Los copépodos son el grupo más abundante del subfilo Crustacea y contienen tanto especies de vida libre como parásitos (Klompmaker y Boxshall, 2015). Estos organismos habitan en diferentes gradientes de temperatura y salinidad, desde las profundidades del mar hasta lagos en tierras altas (Huys y Boxshall, 1991). Particularmente, los copépodos parásitos son notables por su alta diversidad, capacidad de vivir prácticamente en cualquier animal acuático, tanto vertebrado como invertebrado, anomalías biológicas y por ser una potencial amenaza para la acuicultura (Ho, 2001).

Los copépodos parásitos de la familia Ergasilidae son encontrados comúnmente en peces de agua dulce y salobre. Esta familia incluye 21 géneros, de los cuales el género *Ergasilus* destaca con 159 especies (Walter y Boxshall, 2023). Los *Ergasilus* infectan las branquias de una variedad de peces entre los que están los mugílidos. La especie *Ergasilus lizae* se ha encontrado en diferentes especies de mugílidos en varias partes del mundo, pero su identificación no es fácil, debido a que su morfología se puede confundir fácilmente con la de otras especies, tal como *E. arthrosis* (Jiménez-García y Suárez-Morales, 2017). La identificación de especies de ergasílicos podría facilitarse con el uso de marcadores moleculares; específicamente el gen COI (citocromo oxidasa subunidad I) puede servir para identificar especies de copépodos y otros crustáceos (Bucklin *et al.*, 2010); sin embargo, hasta ahora son muy pocas las especies de ergasílicos con este marcador.

El conocimiento adecuado de la biodiversidad requiere información acerca de la diversidad intraespecífica (*i.e.*, diversidad dentro de las especies) (Raffard *et al.*, 2019). En artrópodos ectoparásitos de hospederos terrestres se han observado variaciones intraespecíficas en el tamaño del cuerpo dependiendo de la localidad y de la especie de hospedero (Corallo-Vizerskaya *et al.*, 2015). Para los copépodos parásitos esta información es escasa; no obstante, en copépodos y otros microcrustáceos de vida libre, sin ser una regla, se ha encontrado que el tamaño del cuerpo disminuye con el aumento de la temperatura y la contaminación del agua (Hart y Bychek, 2011; Kadiene *et al.*, 2022). Otras partes corporales, tal como las antenas y patas de los copépodos, podrían también presentar variación morfológica intraespecífica (Behrends *et al.*, 1997; Suárez-Morales *et al.*, 2011). También se han documentado casos de asimetría morfológica debido a distintas variables ambientales y por contaminación (Savage y Hobart, 1999; Richard *et al.*, 2003; Frota *et al.*, 2019; Godet *et al.*, 2012; Lajus *et al.*, 2015; Ottaviano y Scapini, 2010; Lezcano *et al.*, 2015). En helmintos parásitos de la clase Monogenea se ha observado ese fenómeno en sus estructuras de fijación (Pečínková *et al.* 2005 y Pečínková *et al.* 2007; Llopis-Belenguer *et al.* 2015; Rodríguez-González *et al.* 2020). Sin embargo, Brand (1981) y Korshenko *et al.*, (1997) señalan que las causas de los diferentes tipos de aberraciones morfológicas en los copépodos son en su mayoría desconocidas.

La morfometría geométrica ha sido útil para analizar variaciones inter- e intraespecíficas en diferentes taxones, incluyendo crustáceos de vida libre, ya que esta técnica basada en puntos de referencia (landmarks) en un contorno permite localizar, describir y representar gráficamente las regiones que presentan variaciones en su forma (Marchiori *et al.* 2014; Kim *et al.* 2021; Lane-Medeiros *et al.* 2021). Sin embargo, en los copépodos parásitos esta técnica ha sido menos empleada.

En México, los ergasílicos han sido pobremente estudiados (Suárez-Morales y Santana-Piñeros, 2008). Respecto a *Ergasilus*, hasta ahora se han registrado sólo cinco especies, más varios registros de material no identificado (Morales-Serna *et al.*, 2012). Una de estas especies es *E. lizae* registrada por Causey (1960) en *Mugil cephalus* del sur de Sinaloa. El presente estudio se enfoca en confirmar la presencia de *E. lizae* y analizar sus posibles variaciones morfológicas intraespecíficas en *Mugil curema* y *M. cephalus* de dos lagunas costeras del sur de Sinaloa. Una es conocida como El Estero de Urías, la cual es impactada negativamente por diversas actividades antropogénicas, entre las que destacan granjas camaroneras, una planta termoeléctrica, distintas empresas de astilleros, un parque industrial marino, y varios muelles de atraque de barcos de gran calado (de pesca y de carga) (Marín-Enríquez *et al.*, 2023). Otra laguna relevante es la Huizache-Caimanero, designada como área Ramsar. Debido a su menor influencia por la actividad humana, se seleccionó como área de referencia.

2. ANTECEDENTES

2.1 Taxonomía

La familia Ergasilidae Burmeister, 1835 cuenta con los siguientes géneros: *Albergasilus* (1 especie) Hewitt,1978, *Acusicola* (17 especies) Cressey, 1970, *Amplexibranchius* (1 especie) Thatcher y Paredes,1985, *Anklobranchius* (1 especie) Thatcher,1999, *Brasergasilus* (6 especies) Thatcher y Boeger ,1983, *Dermoergasilus* (12 especies) Ho y Do,1982, *Duoergasilus* (1 especie) Narciso, Brandao, Perbiche-Neves y da Silva, 2019; *Ergasilus* (159 especies) von Nordmann,1832, *Gamidactylus* (4 especies) Thatcher y Boeger,1984, *Gamispatulus* (2 especies) Thatcher y boeger,1984, *Gamispinus* (1 especie) Thatcher y Boeger,1984, *Gauchergasilus* (1 especie) Montu y Boxshall,2002, *Majalincola* (1 especie) Tang y Kalman,2008, *Miracetyma* (3 especies) Malta,1993, *Mugilicola* (4 especies) Tripathi, 1960, *Neorgasilus* (10 especies) Yin,1956; *Nipergasilus* (2 especies) Yamaguti,1939, *Paeonodes* (5 especies) Wilson C.B,1944, *Paraergasilus* (18 especies) Markevich, 1937, *Pindapixara* (1 especie) Malta, 1995, *Prehendorastrus* (2 especies) Boeger y Thatcher, 1990, *Pseudovaigamus* (2 especies) Amado, Ho y Rocha,1995, *Rhinergasilus* (2 especies) Boeger y Thatcher,1988, *Sinergasilus* (5 especies) Yin,1949, *Teredophilus* (2 especies) Rancurel,1954, *Therodamas* (9 especies) Kroyer,186 *Thersitina* (4 especies) Norman,1905, *Tiddergasilus* (2 especies) Marques y Boeger, 2018, *Urogasilus* (1 especie) Rosim, Boxshall y Ceccarelli, 2013, *Vaigamus* (2 especies) Thatcher y Robertson B.A., 1934 (Walter y Boxshall, 2023).

2.2 Clasificación taxonómica y morfología de *Ergasilus*

Reino: Animalia.

Filo: Arthropoda

Subfilo: Crustacea

Clase: Copepoda

Orden: Poecilostomatoida

Familia: Ergasilidae

Género: *Ergasilus* Nordmann, 1832

2.3 Descripción

El cuerpo de estos organismos se encuentra dividido en dos partes claramente distinguibles: el cefalotórax (frecuentemente “inflado”) y el abdomen. En el cefalotórax se destacan un par de antenas, cuyo extremo termina en una garra, y un par de anténulas con 6 segmentos, así como ausencia de maxilípedos. Patas 1 a 4 con dos ramas (exópodo y endópodo). Pata 5 consta de un solo segmento o reducida a 1 o 2 setas. En las hembras, es notable la presencia de sacos ovígeros que se extienden hacia la parte posterior de sus cuerpos. Únicamente las hembras adultas tienen un estilo de vida parasitario (Miracle, 2015)

2.4 Ciclo de vida

El proceso de apareamiento de los *Ergasilus* tiene lugar en el agua. Después del apareamiento, los machos mueren y las hembras se adhieren a las branquias de un pez. La cantidad de huevos que una hembra puede poner varía según la especie, su estado y edad, oscilando entre 20 y 100 huevos por saco. El tiempo necesario para que las crías eclosionen depende de la temperatura, siendo de tan solo tres a seis días a una temperatura de 20° a 30° C. Las larvas nauplio son liberadas en el agua (Miracle, 2015). Los *Ergasilus* tienen un ciclo de vida directo, pero complejo porque involucra seis estadios naupliares, cinco estadios de copepoditos y un estadio adulto (Figura 1) (Lester y Roubal, 1999).

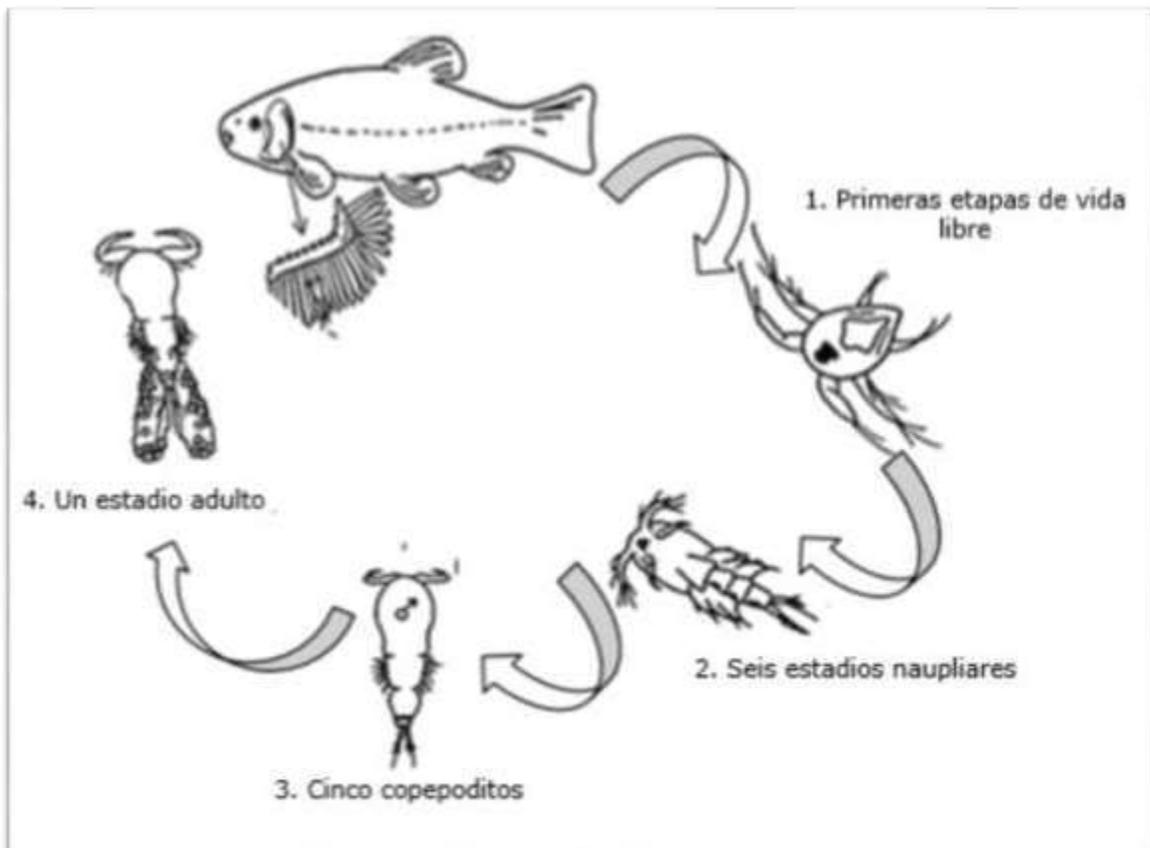


Figura 1. Ciclo de vida de *Ergasilus*.

2.5 Especies de *Ergasilus* registradas en *Mugil curema* y *M. cephalus*

Falkenberg *et al.* (2022) recopilaron información existente sobre los parásitos metazoos del hospedero *Mugil curema* e incluyeron nuevos registros de ejemplares capturados en la ciudad de Cabedelo, estado de Paraíba, Brasil. Uno de los grupos taxonómicos más abundantes fue la clase Copepoda, aunque concluyen que aún falta mucho conocimiento sobre *M. curema* debido a su amplia distribución. De acuerdo con estos autores, en *M. curema* se han registrado hasta ahora 12 especies de *Ergasilus*, más especies no identificadas de material recolectado en lagunas costeras de Sinaloa.

Tabla I. Especies de *Ergasilus* registradas en *Mugil curema*. Abreviaturas de los países: BRA - Brasil; CUR - Curazao; ECU - Ecuador; GUY - Guyana; JAM - Jamaica; MEX - México; NGR - Nigeria; PUR - Puerto Rico; SEN - Senegal; SLE - Sierra Leona; USA - Estados Unidos; VEN - Venezuela. Modificado de Falkenberg *et al.* (2022).

Especies	Localidad
<i>Ergasilus arthrosis</i>	México: Veracruz
<i>Ergasilus atafonensis</i>	BRA: Atafona (RJ), Santa Cruz Canal and Suape Area (PE), Paraíba do Norte River and Mamanguape River (PB)
<i>Ergasilus bahiensis</i>	BRA: Paraguaçu River (BA), Santa Cruz Canal and Suape Area (PE), Paraíba do Norte River and Mamanguape River (PB)
<i>Ergasilus caraguatatubensis</i>	BRA: Caraguatatuba Bay (SP), Municipality of Valença (BA), Santa Cruz Canal and Suape Area (PE), Paraíba do Norte River and Mamanguape River (PB)
<i>Ergasilus congoensis</i>	SEN: Saint Louis, NGR: Lagos
<i>Ergasilus ecuadorensis</i>	ECU: Ecuador
<i>Ergasilus guyanensis</i>	NGR: Lagos; SLE: Sierra Leone
<i>Ergasilus indistinctus</i>	SEN: Senegal

<i>Ergasilus lizae</i> (= <i>Ergasilus nanus</i>)	PUR: Joyuda Lagoon; BRA: Santa Cruz Canal (PE), Ponta Negra Beach (RN), Municipality of Valença (BA), Rio Parati, Araquari (SC)
<i>Ergasilus parabahiensis</i>	GUY: Guyana
<i>Ergasilus paralizar</i>	NGR: Lagos
<i>Ergasilus versicolor</i>	BRA: Ponta Negra Beach (RN)
<i>Ergasilus sp.</i>	MEX: Estero de Urías y Tecapan

Skinner (1975) expone que los informes relativos a los parásitos que afectan a *M. cephalus* en los Estados Unidos se encontraban dispersos en la literatura científica y presenta un análisis de los registros de la especie *Ergasilus*, particularmente en la región suroeste de los Estados Unidos. De acuerdo con este autor, se conocen 6 especies de *Ergasilus* en *M. cephalus* (Tabla II).

Tabla II. Especies de *Ergasilus* encontradas en branquias *Mugil cephalus*

Especie	Localidad
<i>Ergasilus lizae</i>	Alligator Harbor, Florida.
<i>Ergasilus mugilis</i>	Georgia
<i>Ergasilus versicolor</i>	Golfo de México
<i>Ergasilus extensus</i>	Georgia
<i>Ergasilus nanus</i>	Georgia
<i>Ergasilus funduli</i>	Florida
<i>Ergasilus sp.</i>	Norte de carolina

2.6 Registros de *Ergasilus* en México

Morales-Serna *et al.* (2012) crearon una lista sobre el registro de la biodiversidad de copépodos parásitos en México. Este registro abarca información relevante, como la zona de la infección, hábitat del huésped y localidades geográficas. Este trabajo resalta la limitada cantidad de identificaciones taxonómicas disponibles para el género *Ergasilus* en México, lo que manifiesta la necesidad de investigaciones adicionales. De acuerdo con estos autores, en México se han registrado 5 especies de *Ergasilus* en diferentes familias de peces; además, se señalan registros de especies no identificadas (Tabla III).

Tabla III. Registro de especies de *Ergasilus* en peces de México.

Especie	Hospedero, sitio de infección, hábitat y localidad	Referencia
<i>Ergasilus cerastes</i>	Pez: <i>Ictalurus punctatus</i> , branquias, agua dulce, granjas en Tamaulipas	Rábago-Castro <i>et al.</i> (2011)
<i>Ergasilus davidi</i>	Pez: <i>Centropomus robalito</i> , <i>Lutjanus argentiventris</i> , branquias, marino salobre, sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas	Suárez-Morales y Santana-Piñeros (2008)
<i>Ergasilus lizae</i>	Pez: <i>Mugil cephalus</i> , branquias, Marino, Bocco del Río, Veracruz; Mazatlán, Sinaloa; San Blas, Nayarit	Causey (1960)
<i>Ergasilus mugilis</i>	Pez: <i>Mugil cephalus</i> , branquias, marino, San Blas, Nayarit; Tampico; Veracruz	Causey (1960)
<i>Ergasilus versicolor</i>	Pez: <i>Ictalurus punctatus</i> , branquias, agua dulce, granja en Nuevo León <i>Mugil cephalus</i> , branquias, agua dulce, confluencia de los ríos Colorado y Hardy, Baja California	Galavíz-Silva <i>et al.</i> (1990) Valles-Ríos <i>et al.</i> (2000)
<i>Ergasilus sp. 1</i>	Pez: <i>Ariopsis assimilis</i> , superficie corporal, marino, Bahía de Chetumal, Quintana Roo	Vidal-Martínez <i>et al.</i> (2003)
<i>Ergasilus sp. 2</i>	Pez: <i>Mugil curema</i> , branquias, marino, Estero de Urías y Teacapan, Sinaloa	Fajer-Ávila <i>et al.</i> (2006)

<i>Ergasilus</i> sp. 3	Pez: <i>Cichlasoma trimaculatum</i> , branquias, salobre, Laguna de Tres Palos, Guerrero	Violante-González, Aguirre-Macedo y Rojas-Herrera (2008)
<i>Ergasilus</i> sp. 4	Pez: <i>Dormitator latifrons</i> , branquias, salobre, Laguna de Tres Palos, Guerrero	Violante-González, Rojas-Herrera y Aguirre-Macedo (2008)

2.7 Ambiente y morfología

Los efectos del entorno pueden ejercer un impacto significativo en la morfología de los organismos a través de mecanismos tales como la selección natural, la plasticidad fenotípica y la adaptación a condiciones específicas (Endler, 1986; Pigliucci, 2001; Futuyma, 2009). Estos mecanismos se reflejan en cambios en el tamaño corporal, el desarrollo de estructuras especializadas y modificaciones en la forma de las extremidades (Losos, 2008) pudiendo llegar a afectar la supervivencia y la reproducción de un organismo en su ambiente (Arnold, 1983).

Se han observado aberraciones morfológicas en el 5^o par de patas en copépodos del Mar Báltico, atribuidas a fenómenos naturales (Behrends *et al.*, 1997). En otro estudio sobre el copépodo *Cyclops scutifer* en Eurasia y Norteamérica, se encontró que los cambios en la morfología ocurrieron en el tamaño del cuerpo y estaban relacionados a variaciones en factores ambientales como la temperatura, la profundidad y el estado trófico, más no por la distancia geográfica (Elgmork y Halvorsen, 1998).

Sodré y Bozelli (2019) señalaron que los impulsores importantes de las tendencias morfológicas y la historia de la vida de los copépodos son la temperatura, la depredación, los recursos y los factores estresantes son importantes impulsores de los rasgos morfológicos y de la historia de vida. El tamaño del cuerpo es quizás el rasgo morfológico más importante ya que responde a varias características ambientales. Por otro lado, se ha observado que el tamaño corporal en crustáceos planctónicos de agua dulce se relaciona con la temperatura y el suministro de alimentos, aunque estos factores pueden influir de manera diferente en taxones específicos o etapas de la historia de vida (Hart y Bychek 2011).

Una herramienta útil para cuantificar los cambios morfológicos entre organismos y estructuras biológicas, es la morfometría geométrica basada en puntos de referencia, la cual cuantifica el efecto que tienen distintas variables extrínsecas (ambiente) e intrínsecas (fisiología) sobre el cambio en la forma (Klingenberg, 2003, Zelditch *et al.* 2012), además de que calcula el cambio en la simetría de los organismos mediante análisis de asimetría fluctuante (AF). La AF se refiere a pequeñas desviaciones aleatorias en la simetría bilateral de estructuras anatómicas que pueden ser producidas por varias formas de perturbación, tales como la degradación del hábitat, la contaminación, la hibridación y el pequeño tamaño de la población se han asociado con el aumento de los niveles de AF (Klingenberg, 2003; Söderman *et al.*, 2006; Trokovic *et al.*, 2012). Ambas técnicas se aplican en biología y ecología para apoyar diversas líneas de investigación sobre genética, salud ambiental, evolución y desarrollo (Van Valen, 1962).

En los crustáceos hay un amplio registro de casos de AF, los cuales refieren que la AF puede ser una consecuencia de la contaminación en el ambiente marino debido a la presencia de metales pesados (Pečínková *et al.*, 2005, 2007, Godet *et al.*, 2012), contaminación química (Rodríguez-Gonzalez *et al.* 2020) y contaminación ocasionada por el turismo (Octaviano y scapini, 2010). Además de los factores de contaminación, los crustáceos también pueden experimentar AF debido a diversos factores ambientales, como cambios de temperatura que generan estrés térmico en estructuras esclerotizadas (Savage y Hogarth, 1999), o incluso debido a la humedad en el suelo, tanto en ambientes terrestres (Vilisics *et al.*, 2006) como en diversos ecosistemas marinos (Richard *et al.*, 2003). Por otro lado, Lezcano *et al.* (2015) identificaron una relación entre la contaminación marina y la asimetría en *Ovalipes trimaculatus*. Es importante mencionar que existen mecanismos que contribuyen a mantener la constancia fenotípica en estas especies (Llopis-Belenguer *et al.*, 2015). Estos estudios resaltan la eficacia de estas herramientas en la investigación biológica y ecológica, ya que han permitido indagar más en las variaciones morfológicas de los organismos como una respuesta de los organismos frente a factores ambientales, fisiológicos y de contaminación en su entorno.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, la investigación sobre la taxonomía de los *Ergasilus* ha sido limitada. Posiblemente, esto se debe a la falta de descripciones morfológicas detalladas y la posible variabilidad morfológica intraespecífica que ha dado lugar a desafíos en la identificación precisa a nivel de especie. Además, se tiene la carencia de marcadores moleculares que pudieran ser útiles en esta tarea. Por lo tanto, los estudios morfológicos y moleculares de *Ergasilus* son necesarios para profundizar en la comprensión de la biodiversidad de los copépodos.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

1. ¿*Ergasilus lizae* está presente en *Mugil cephalus* y *M. curema* en lagunas costeras de Sinaloa?
2. ¿Habrá variaciones morfológicas intraespecíficas en *E.lizae*?
3. ¿El hospedero, la localidad y época podría estar relacionada con posibles alteraciones morfológicas de *E. lizae*?

5. HIPÓTESIS

La mayoría de los individuos de *Mugil cephalus* y *Mugil curema*, presentes en lagunas costeras de Sinaloa, están parasitadas por *Ergasilus lizae*, cuyos especímenes muestran variaciones morfológicas intraespecíficas en sus antenas y tamaño corporal influenciadas por factores como hospedero, localidad y época climática.

6. OBJETIVO GENERAL

Confirmar la presencia de *Ergasilus lizae* (Copepoda: Ergasilidae) en las lisas *Mugil cephalus* y *M. curema* del Sur de Sinaloa.

6.1 Objetivos particulares

1. Proveer una descripción morfológica detallada de *E. lizae*.
2. Obtener el gen COI para la identificación molecular de *E. lizae*.
3. Determinar la prevalencia e intensidad mediana de *E. lizae* en *M. cephalus* y *M. curema* en dos lagunas costeras, en dos épocas climáticas (cálida y fría).
4. Determinar posibles variaciones morfológicas intraespecíficas en *E. lizae*, particularmente en el tamaño corporal y simetría de las antenas en relación al tamaño del pez, época climática y la localidad del muestreo.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Descripción del área de estudio

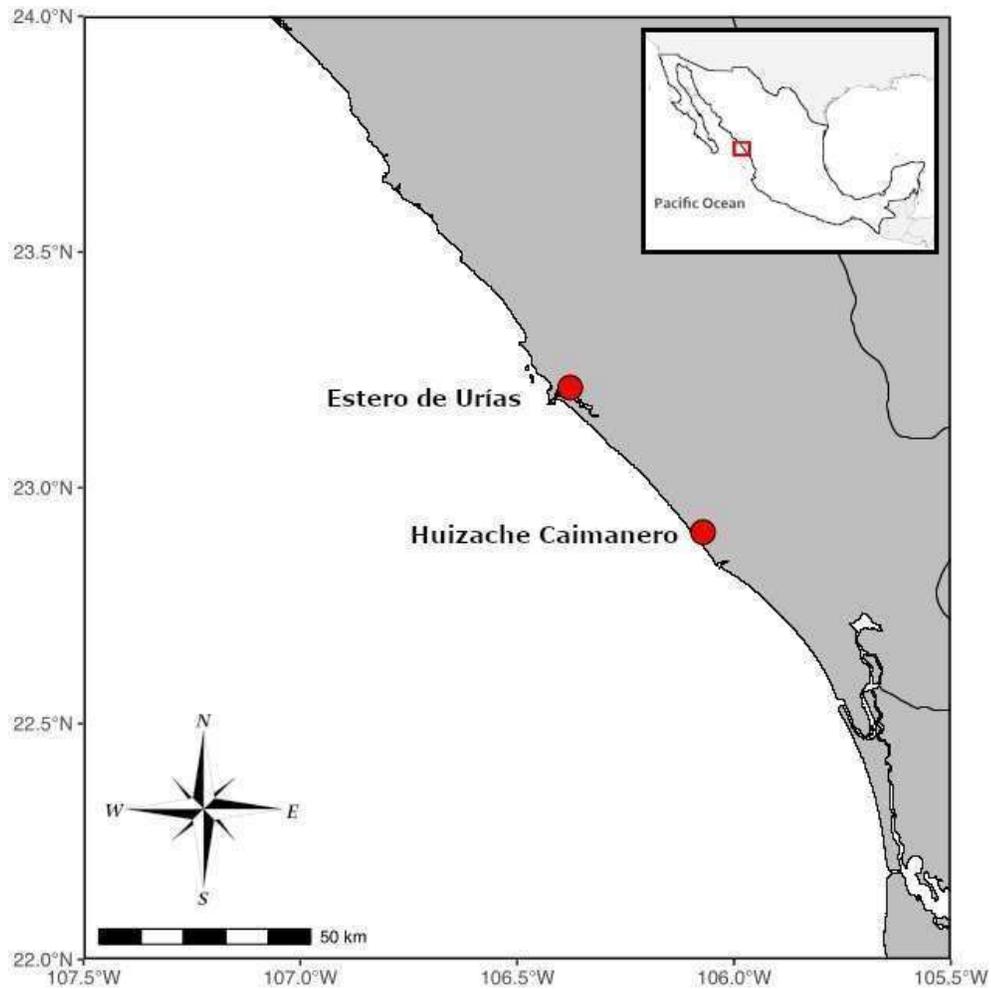


Figura 2. Área de estudio. Los puntos rojos indican los sitios de muestreo, Estero de Urías y Huizache-Caimanero, ubicados en el sur de Sinaloa.

Las muestras del presente estudio se obtuvieron en dos lagunas costeras: Estero de Urías (área contaminada) y Huizache-Caimanero (área menos contaminada), ubicadas en el sur de Sinaloa, en el Pacífico mexicano.

El sistema lagunar Estero de Urías tiene una extensión de 800 ha y se localiza en el puerto de Mazatlán, entre las coordenadas 23°10'36" a 23°13'00" N y 106°20'00" a 106°26'00" O. Esta laguna se integra por los esteros El Infiernillo, El Astillero y La Sirena (Beltrán-Velarde, 2007). Lankford (1977) clasificó a este sistema como una laguna costera con una plataforma interior de barrera. La batimetría es predominantemente poco profunda (0–2 m), con canales erosivos y artificiales de la laguna superior (2–4 m) y la zona de navegación (5–12 m). Según Pritchard (1967), esta masa de agua puede considerarse como un sistema estuarino durante la estación de lluvias y anti-estuarino en la estación seca. El clima de la región es tropical subhúmedo con una temperatura mensual que oscila entre 19.7°C en febrero y 28° C en agosto. Presenta un clima cálido, el más seco de los subhúmedos, con lluvias durante los meses de julio a octubre y con una precipitación anual de 1,915 mm (García, 1989). La laguna es predominantemente verticalmente mixta (salinidad de 25.8 a 38.4 ppm), con una amplitud de marea promedio de 1.5 m y velocidades de agua de 0–0.50 m s⁻¹ (Páez-Osuna *et al.*, 1990). Por lo tanto, el tiempo de residencia del agua es relativamente corto, de 5 a 7 días (Soto-Jiménez y Páez-Osuna 2001). El sistema recibe importantes aportaciones de agua dulce de la escorrentía terrestre y de pequeños arroyos situados en la laguna que incluye un grupo de canales mareales (1–4 m de profundidad) donde se encuentra el bosque de mangle compuesto por *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*. Recibe también aguas de enfriamiento de la planta termoeléctrica y descargas de la industria alimentaria; dichos impactos se convierten en una presión ambiental que favorece la acumulación de contaminantes (Cardoso-Mohedano *et al.* 2016a, b).

El sistema lagunar Huizache-Caimanero se encuentra en el municipio de El Rosario, entre las coordenadas 22°50' N y 105°55' Oeste. El sistema tiene una superficie promedio de 17,100 ha, el tiempo de residencia del agua es de aproximadamente 67 días (Gil-Manrique *et al.* 2017). Recibe aportes de agua dulce de los ríos Presidio y Baluarte mediante un canal de 10 km bordeado de manglares, a través de un estuario, están conectadas entre sí por un canal de 250 m, solamente reciben aguadulce durante la temporada de lluvias (Soto, 1969). El área promedio de esta región abarca aproximadamente de 41 a 134 km² durante la temporada de lluvias, cuando la conexión con el mar se encuentra completamente cerrada, lo que limita significativamente el intercambio con el mar. Durante el período de junio de enero, en las comunidades rurales colindantes, el área se reduce a un rango de 15 a 40 km² en la temporada seca, cuando la barreramarina se establece como una laguna. En este contexto, las principales actividades económicas que prevalecen en la zona incluyen la agricultura estacional, la ganadería y la pesca de camarón. La vegetación es predominantemente seca. Existen conexiones secundarias entre la xerófita. El clima de la zona es cálido y subhúmedo, con una temperatura promedio que oscila entre 22° y 26 °C. La precipitación promedio anual es de 928 a 1457 mm (Siu y del Valle, 1986; de la Lanza y García-Calderón, 1991; INEGI, 1995). De acuerdo con las Categorías de Áreas Protegidas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el sitio pertenece a la Categoría IV y se encuentra bajo la jurisdicción federal de la Comisión Nacional del Agua de México, es un sitio RAMSAR No. 1689 (RAMSAR, 2007). Los impactos más significativos de las actividades antropogénicas del sitio incluyen la sedimentación de los ríos Presidio y Baluarte, la deforestación, la sobrepesca y las desviaciones de los cursos de agua (Gil- Manrique *et al.* 2017).

La laguna Estero de Urías es más pequeña y la que presenta mayores impactos antropogénicos comparado con Huizache-Caimanero. Entre los estudios que han comprobado el nivel de contaminantes entre ambas lagunas está el de Martínez-Salcido *et al.* (2018). Estos autores determinaron el riesgo para la salud humana por las concentraciones de mercurio (Hg) en músculo e hígado de peces. Sus resultados muestran que el Estero de Urías presentó las mayores concentraciones de Hg (músculo: 0.86 ± 0.99 ; hígado $1.68^* \pm 1.59 \mu\text{g g}^{-1}$) mientras que en Huizache-Caimanero las concentraciones fueron más bajas (músculo: 0.56 ± 0.58 ; hígado: $1.03 \pm 1.30 \mu\text{g g}^{-1}$). La concentración de varios hidrocarburos en camarones fue determinada por Jaward *et al.* (2012) en el Estero de Urías y Reyes (2020) en Huizache-Caimanero.

7.2 Muestreo de peces y copépodos parásitos

Durante el periodo de mayo 2022 a febrero 2023 se obtuvieron peces del Estero de Urías y Huizache-Caimanero. Los peces (*M. curema* y *M. cephalus*) se compraron directamente a los pescadores en los embarcaderos de cada laguna, los cuales fueron transportados en hieleras al laboratorio donde se tomaron sus datos biométricos peso (g) y longitud (cm). Después se realizó la disección de las branquias para la búsqueda de copépodos parásitos. Para ello, cada arco branquial se colocó en cajas Petri con un poco de agua marina filtrada. La observación se realizó en un estereomicroscopio, revisando cada filamento branquial. Posteriormente, se realizó un raspado de cada arco branquial para buscar copépodos en el mucus desprendido. Se efectuó el conteo total de los copépodos encontrados, los cuales se depositaron en microtubos con alcohol 96% para su preservación. Cada microtubo con una etiqueta con nombre del hospedero, fecha de recolecta, localidad y número de muestra. Todos los copépodos encontrados fueron identificados preliminarmente como *Ergasilus* sp., excepto por unos pocos especímenes de las familias Bomolochidae y Lerneapodidae, los cuales fueron excluidos del presente estudio.

7.3 Descripción morfológica de *Ergasilus lizae*

Para su identificación, los copépodos se aclararon usando ácido láctico y se observaron detalladamente bajo un microscopio óptico. Se hicieron dibujos del cuerpo entero y de cada uno de los apéndices (anténula, antena, mandíbula, maxila, maxílula y patas). Para eso se realizaron disecciones de los especímenes, utilizando agujas finas bajo el estereomicroscopio. Los dibujos a lápiz se hicieron en un microscopio Leica adaptado con tubo de dibujo, a una magnificación de 1000x. Los dibujos se digitalizaron haciendo uso de un escáner y los programas Inkscape y GIMP.

7.4 Identificación molecular

Se extrajo ADN de 3 copépodos fijados en alcohol 96%, para lo cual se usó un kit comercial (Jena Bioscience, Jena, Alemania). Se amplificó el gen mitocondrial COI mediante Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) usando los primers universales LCO1490 (50-GGT CAA CAA ATC ATA AAG ATA TTG G-30) y HCO2198 (50-TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AAT CA-30) (Folmer *et al.*,1994). Para cada reacción de amplificación se usaron 0.12 µl de Taq polimerasa, 3 µl de buffer, 0.25 µl de cada primer, 2 µl de ADN y 9.38 µl de agua. Las reacciones se realizaron en un termociclador Arktik™ (Thermo Fisher Scientific) con los siguientes pasos: 94°C por 4 min, seguido de 35 ciclos de 94°C por 40 s, 48°C por 45 s y 72°C por 45 s, y un paso final de extensión de 72°C por 7 min. La secuenciación se realizó en un equipo ABI PRISM 3730 (Applied Biosystems), en el Laboratorio Nacional de Biodiversidad, Instituto de Biología, UNAM. Las secuencias de ADN se editaron y ensamblaron con el software Geneious 5.1.7. Estas secuencias se alinearon con secuencias COI de *E. lizae* de Canadá y otras especies de *Ergasilus* disponibles en BOLD (<https://www.boldsystems.org/>) y GenBank. Con base en este alineamiento se construyó un árbol filogenético con el método Neighbor Joining, con 500 réplicas bootstrap bajo el modelo Kimura 3 parámetros. Estos análisis se hicieron en el software Mega.

7.5 Prevalencia e intensidad de la infección

Se calculó la prevalencia y la intensidad mediana de *E. lizae*, con intervalos de confianza al 95%, utilizando el software Quantitative Parasitology (Reicziel *et al.*, 2019).

Prevalencia (%): Se expresa como número de individuos de una especie de hospedero infectados con una especie de parásito, entre el número de hospederos examinados (expresado como porcentaje).

Intensidad mediana: Es la mediana de los valores de intensidad calculados para una muestra, excluyendo los ceros o los hospederos no infectados.

Ambos parámetros se compararon entre dos épocas climáticas (cálida y fría) y entre los sitios de muestreo. Para determinar diferencias significativas en la prevalencia se utilizó la prueba exacta de Fisher y para la intensidad mediana se utilizó la prueba t-bootstrap

7.6 Variación morfológica intraespecífica de *Ergasilus lizae* con análisis morfométrico

Se tomaron medidas de longitud corporal de 155 especímenes de *E. lizae*, desde el margen anterior del cefalotórax hasta el margen posterior de la rama caudal, con la ayuda de una regla micrométrica y un microscopio Leica. Para determinar si la longitud corporal de *E. lizae* se asocia significativamente con la longitud y peso de los peces, se realizaron análisis de correlación de Pearson. Las posibles diferencias significativas en la longitud corporal de *E. lizae*, entre las localidades de muestreo, entre épocas climáticas y entre especies de peces, se detectaron con la prueba de *t*. Estos análisis se hicieron en el software Past versión 4.12.

Se tomaron fotografías de cada par de antenas en vista anterior de 130 especímenes (87 del Estero de Urías y 43 de Huizache-Caimanero). Las imágenes fueron capturadas solamente por una persona utilizando la cámara fotográfica de un iPhone 8 plus, fijado y nivelado a un microscopio óptico a una magnificación de 400x. Cada antena se fotografió en tres partes. Las fotografías se guardaron como archivos JPEG y se ensamblaron en el programa GIMP. Se descartaron aquellas fotografías en las que las antenas quedaron mal orientadas al montarlas en el portaobjetos, teniendo un total de 81 fotografías útiles (53 de Estero Urías, 27 de Huizache-Caimanero). Las imágenes ensambladas fueron ordenadas en formato TPS mediante el software tpsUtil.

Para el análisis morfométrico y para garantizar que todas las imágenes tuvieran el mismo número de puntos de referencia (landmarks) y semimarcas, se tuvieron las siguientes consideraciones: 1) la configuración de un punto anatómico tiene que ser homólogo (reconocible en todos los especímenes), 2) las configuraciones de puntos anatómicos deben ofrecer un adecuado resumen de la morfología de las antenas. 3) los puntos anatómicos tendrán que ser conscientemente replicables procurando un alto grado de exactitud.

Finalmente se obtuvo un protocolo morfométrico que consiste en 11 puntos de referencia y 20 semimarcas dispuestas en seis curvas (Tabla XIV, Figura 3). Se procedió a aplicar el protocolo morfométrico al archivo TPS que había sido creado previamente utilizando el programa TpsDig2.

Tabla IV. Definición de los puntos de referencia utilizados para la evaluación morfométrica geométrica de las antenas de *E. lizae*. Los números corresponden a la posición de los puntos de referencia (landmarks) y semimarcas (semi-landmarks).

Estructura	Landmarks y semi- landmarks
Primer segmento endopodal	Punto de intersección de la región proximal, interna del primer segmento endopodal (1, 12)
Primer segmento endopodal	Punto de intersección de la región proximal externa del primer segmento endopodal (2, 13)
Primer segmento endopodal	Punto de intersección en la región distal externa, (3, 14)
Segundo segmento endopodal	Punto de intersección en el inicio de la articulación, (4, 15)
Segundo segmento endopodal	Punto de intersección en la región distal externa, (5, 16)
Tercer segmento endopodal	Punto de intersección del tercer segmento articulado (6, 17)
Tercer segmento endopodal	Punto de intersección en la Garra de la antena, (7, 18)
Tercer segmento endopodal	Punto de intersección en la región distal del tercer segmento articulado (8, 19)
Segundo segmento endopodal	Punto de intersección en segundo segmento articulado (9, 20)
segundo segmento endopodal	Punto de intersección en la región dista externa (10, 21)
Primer segmento endopodal	Punto de intersección en el primer segmento articulado (11, 22)
Tercer segmento endopodal	Punto de intersección en el tercer segmento articulado (6,17) semi- landmarks

Tercer segmento endopodal	Punto de intersección en la garra de la antena (7,18) semi-landmarks
Tercer segmento endopodal	Punto de intersección en la región distal del tercer segmento articulado (8, 19) semi- landmarks
Segundo segmento endopodal	Punto de intersección en segundo segmento articulado (9, 20) semi-landmarks
segundo segmento endopodal	Punto de intersección en la región dista externa(10, 21) semi-landmarks

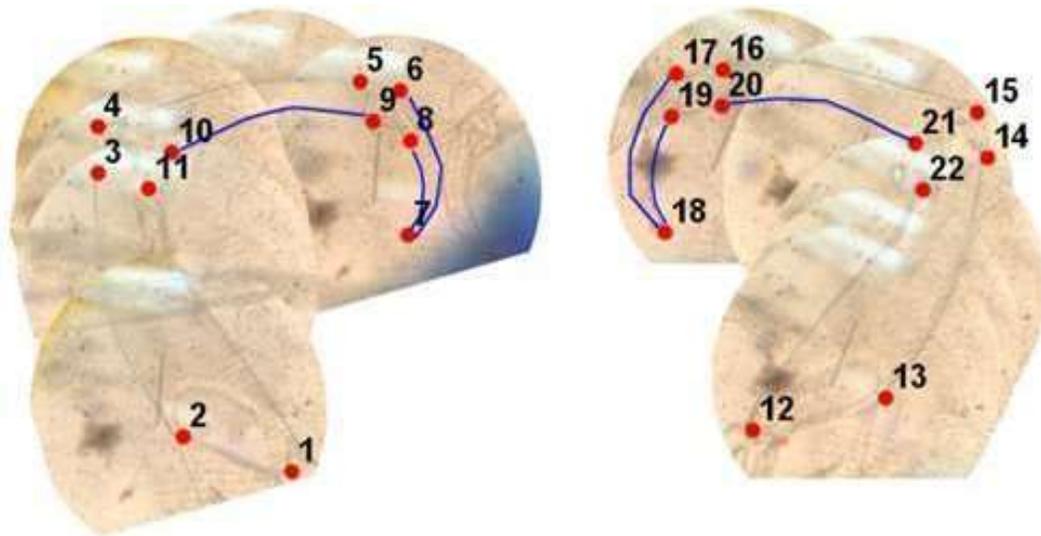


Figura 3. Fotografía de una antena de *E. lizae* con los puntos de referencia y semimarcas usadas en el análisis morfométrico.

Para evitar atribuir los cambios de forma a un error de digitalización, se seleccionaron al azar 10 fotografías y se digitalizaron dos veces por la misma persona. Posteriormente se calculó el error de digitalización mediante un ANOVA Procrustes.

Para eliminar aquellos elementos que no contribuyen a la forma, tales como escala, posición y orientación (Goodall, 1991; Rohlf, 1999), se realizó un análisis generalizado de Procrustes (Klingenberg, 2010) y se alinearon las semimarcas con el método de *Bending energy* (Bookstein, 1996). Además, se obtuvo un estimador de tamaño para cada configuración de las antenas llamado tamaño centroide (TC), calculado como la suma al cuadrado de cada punto de referencia a las coordenadas del centroide (Zelditch y Swiderski, 2021).

7.2.1 Variación en la forma de la antena (usando PCA)

Se llevó a cabo un análisis de Componentes Principales (PCA) con el propósito de visualizar la variación morfológica de las antenas de *E. lizae* en función al sitio de muestreo. Se emplearon cuadrículas de deformación del consenso morfológico, ubicadas en los extremos del eje de varianza (los dos primeros componentes principales), con el fin de detectar cambios en la morfología de las antenas en los individuos. Este procedimiento se ejecutó utilizando el software R versión 3.1.0

7.2.2 Asimetría fluctuante

Se realizó una prueba de simetría bilateral y se obtuvo el componente de asimetría fluctuante en la variación de forma en las antenas para evaluar el efecto del sitio en los niveles de asimetría. Los niveles de asimetría se evaluaron de acuerdo con lo establecido por Klingenberg (2015). Si la prueba de simetría muestra variación debido a la interacción entre el individuo y el lado del cuerpo (Adams y Otárola-Castillo, 2013), se evalúan las diferencias de forma de las antenas utilizando un modelo ANOVA de Procrustes.

7.2.3 Vectores utilizados para describir la variación de la forma de las antenas derechas e izquierdas

Las diferencias morfológicas en las antenas se determinaron por las variaciones morfológicas intraespecíficas en *E. lizae*, particularmente en la simetría de las antenas en relación al tamaño del pez y la localidad del muestreo.

7.2.4 Análisis exploratorio y estadístico

Se llevaron a cabo todos los análisis exploratorios y las comparaciones estadísticas con Geomorph 4.0.3 (Adams *et al.* 2019) y RRPP 0.6.1 (Collyer y Adams, 2018, 2019) en el software R versión 4.2.3 (R Core Team, 2017).

8. RESULTADOS

8.1 Características de las muestras de peces

Se obtuvieron un total de 160 peces de las dos especies: 129 de *M. curema*, de los cuales 89 fueron capturados en Estero Urías y 40 en Huizache-Caimanero; y 31 de *M. cephalus*, de los cuales 6 fueron capturados en Estero de Urías y 25 en de Huizache-Caimanero. La muestra mejor representada fue la de *M. curema* del Estero de Urías, teniendo peces tanto de los meses de la época cálida como de la fría (Figura 4).

El peso y longitud promedio de los ejemplares de *M. curema* del Estero de Urías variaron mensualmente de 141 g y 24 cm (diciembre) a 350 g y 33 cm (mayo), mientras que el peso y longitud de los de Huizache-Caimanero variaron de 238 g y 28 cm (enero) a 329 g y 34 cm (septiembre) (Figura 5). En el caso de los pocos ejemplares de *M. cephalus*, su peso y longitud promedio variaron de 245 g y 29 cm a 416 g y 37 cm (Figura 5 y 6).

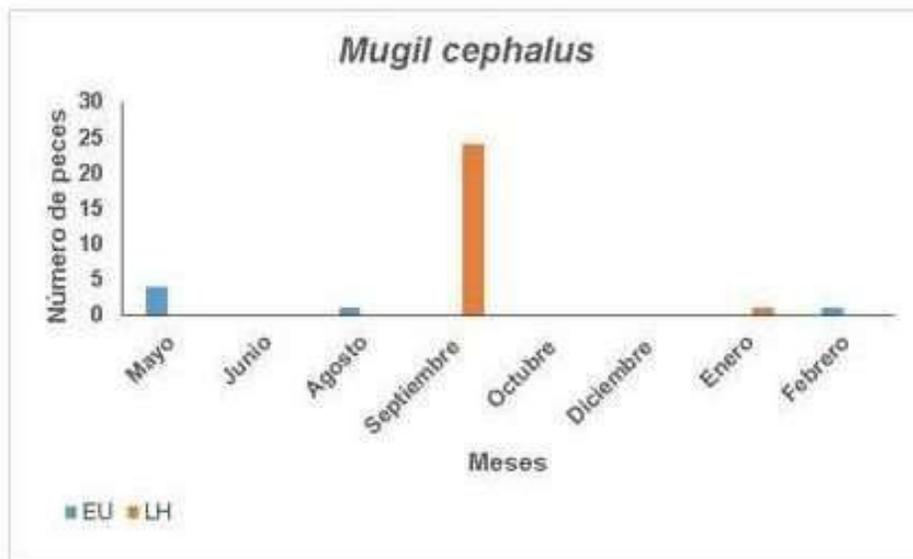
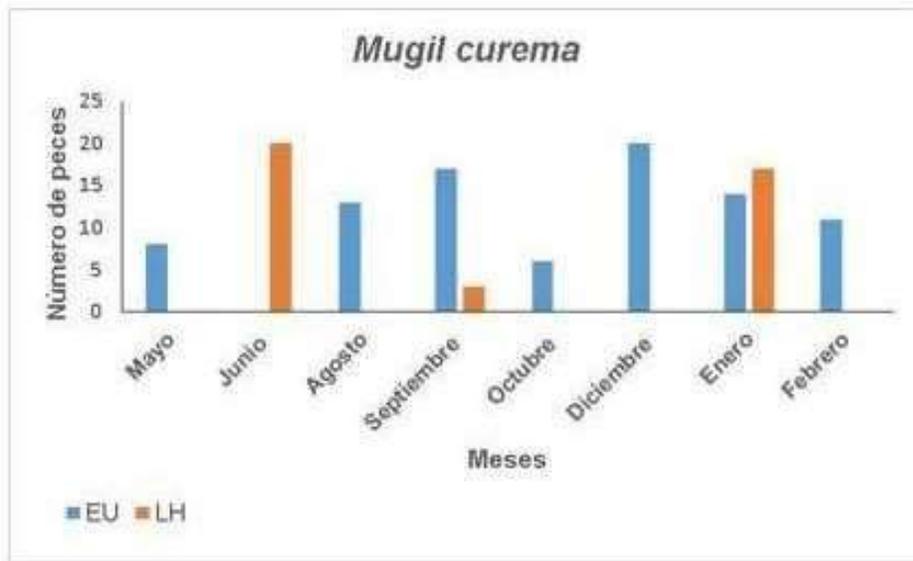


Figura 4. Número de peces analizados en Estero de Urías (EU) y Huizache-Caimanero (LH)

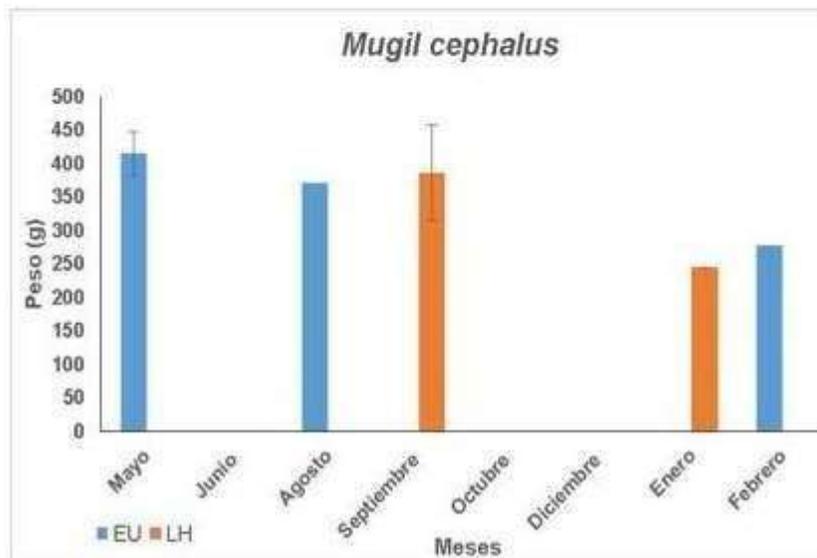
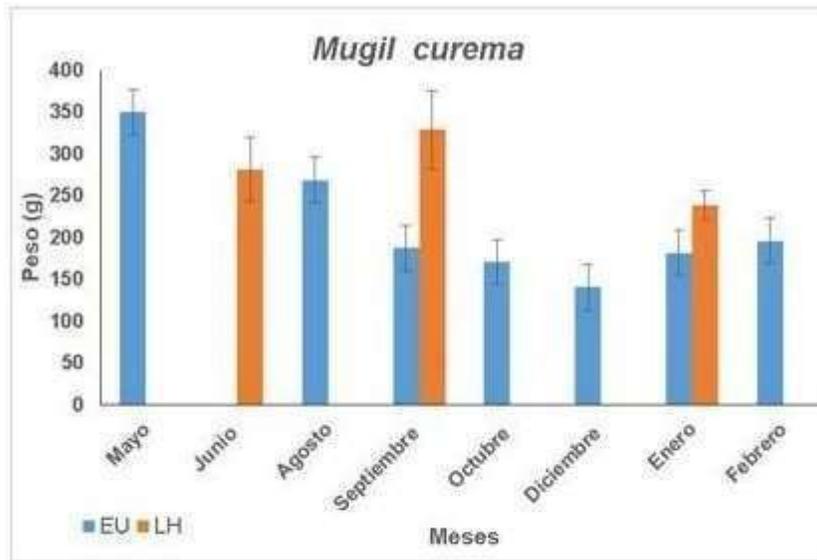


Figura 5. Peso de *Mugil curema* y *Mugil cephalus* de Estero de Urías (EU) y Huizache-Caimanero (LH)

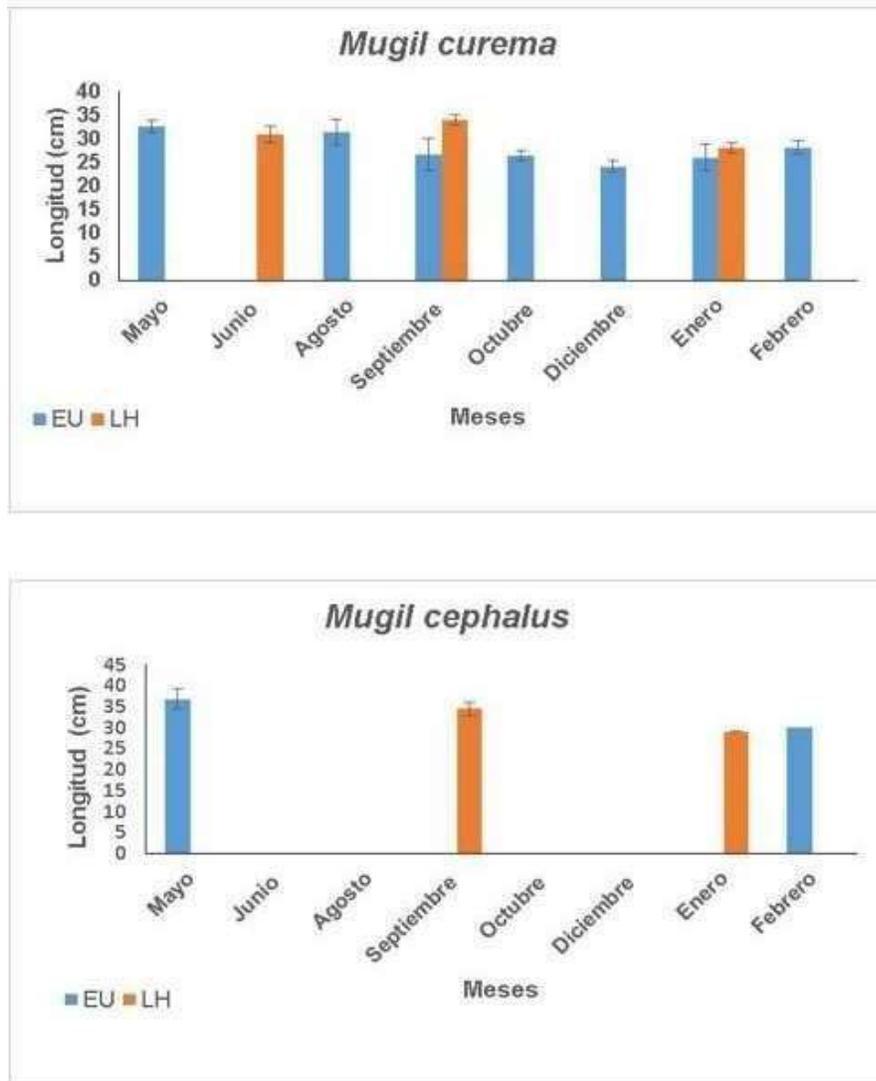


Figura 6. Longitud de *Mugil curema* y *Mugil cephalus* de Estero de Urías (EU) y Huizache-Caimanero (LH)

8.2 Descripción morfológica de *Ergasilus lizae*

Se obtuvieron un total de 321 especímenes de *Ergasilus* encontrados en los peces *M. cephalus* y *M. curema*. Posteriormente se presentan los parámetros de infección (prevalencia e intensidad) por especie de pez, estacionalidad y localidad. El análisis morfológico de estos copépodos indicó que se trata de la especie *Ergasilus lizae*. A continuación se presenta una descripción morfológica de esta especie.

Orden: Burmeister, 1834

Familia: Burmeister, 1835

Género: von Nordmann, 1832

Especie: *Ergasilus lizae* Krøyer, 1863

Hembra adulta

La longitud promedio del cuerpo es de $818.730.489,1 \pm 104.9500532 \mu\text{m}$ ($n = 155$), medida del margen anterior del cefalotórax hasta el margen posterior de las ramas caudales. El cuerpo consta de prosoma y urosoma (Figura 7). El prosoma está formado por el cefalotórax, con las anténulas y antenas visibles en vista dorsal, más 4 segmentos con patas. El cefalotórax y el primer segmento con patas están fusionados. Cefalotórax más largo que ancho, oblongo, notablemente constreñido, abarcando más de la mitad de la longitud del cuerpo. El urosoma está formado por el quinto segmento con patas, el segmento genital (que son dos segmentos fusionados) y 3 segmentos abdominales libres. El segmento genital es más ancho que largo, con varias filas de espínulas en la superficie ventral. El ancho de los segmentos abdominales libres va disminuyendo posteriormente, siendo el primer segmento más ancho que el segundo; el segmento anal es más pequeño que los dos anteriores. La superficie ventral de los segmentos abdominales lleva filas de espínulas (el segmento anal solo en el margen posterior).

La rama caudal (Figura 7) tiene una longitud casi igual a la del segmento anal; con 1 fila de espínulas en la superficie ventral, cerca del margen posterior; cada rama con una seta grande y 3 más pequeñas.

Anténula (Figura 7) con 6 segmentos. Fórmula de la armadura 3–12–4–4–3–8; armadura apical aestetascos, respectivamente.

Antena (Figura 7) compuesta por una coxobasis y endópodo de 3 segmentos con garra terminal curva. Coxobasis pequeña, más ancha en la parte proximal; membrana entre coxobasis y primer segmento endopodal. El primer segmento endopodal aproximadamente 2.5 veces más largo que la coxobasis, con una seta muy pequeña ubicada en la parte media del margen interno. Segundo segmento curvo, una seta proximal y una distal en el margen interno, ambas setas muy pequeñas. Tercer segmento endopodal pequeño, con una seta proximal y una garra cuya longitud es aproximadamente la tercera parte del segundo segmento endopodal.

Apéndices bucales (Figura 7), comprenden mandíbula, maxílula y maxila. Mandíbula con 3 hojas, una anterior, una media y una posterior; la hoja anterior es pequeña con dientes en el margen anterior; la hoja media con dientes tanto en el margen anterior como en el posterior; la hoja posterior con dientes en el margen posterior. Maxilula pequeña, con 2 setas largas distales. Maxila formada por una sincoxa grande, que se estrecha distalmente, y base en forma de espátula, armada con hileras de dientes puntiagudos.

Cada pata natatoria, del primer al cuarto par (Figura 8), lleva una barra intercoxal, coxa, base y dos ramas (exópodo y endópodo). En cada rama, las espinas distales tienen espínulas finas en su margen externo y las setas están bordeadas por sétulas en ambos márgenes. El número de setas y espinas en cada pata (1 a4) es el siguiente (los números romanos representan espinas y los números arábigos representan setas):

	Coxa	Base	Exópodo	Endópodo
Pata 1	0-0	1-0	I-0;I-1;III,4	0-1;0-1;II,4
Pata 2	0-0	1-0	I-0;0-1;I,5	0-1;0-2;I,4
Pata 3	0-0	1-0	I-0;0-1;I,5	0-1;0-2;1,4
Pata 4	0-0	1-0	I-0;I-4	1-0;2-0;I,3

Pata 1 (Figura 8), con hilera de espínulas en la coxa. Base con 1 seta externa. Exópodo con 3 segmentos, primer segmento con sétulas en el margen interno, más hileras de espínulas y 1 espina distal en el margen externo; segundo segmento con espínulas en el margen externo, 1 seta larga interna y 1 espina distal en margen externo; tercer segmento con 2 espinas cortas, 1 espina larga y 4 setas largas. Endópodo con 3 segmentos; primer segmento con espínulas en el margen externo y 1 seta interna; segundo segmento con espínulas en el margen exterior y 1 seta interna; tercer segmento con espínulas en el margen externo, 2 espinas y 4 setas.

Patas 2 y 3 similares (Figura 8). Coxa con espínulas en superficie posterior. Base con 1 seta externa. Exópodo con 3 segmentos; primer segmento con sétulas en el margen interno y espínulas y 1 espina distal en el margen externo; segundo segmento con espínulas en el margen externo y 1 seta interna; tercer segmento con espínulas en el margen externo, 1 espina larga y 5 setas largas. El primer segmento del endópodo es un poco más largo que el segundo y tercer segmentos juntos. Endópodo con 3 segmentos; primer segmento con espínulas en el margen externo y 1 seta interna larga; segundo segmento con espínulas en el margen externo y 2 setas internas largas; tercer segmento con espínulas en el margen externo, 1 espina y 4 setas largas.

Pata 4 (Figura 8). Base con seta externa. Exópodo con 2 segmentos; primer segmento con sétulas en margen interno y espínulas y espina distal en margen externo; segundo segmento con espínulas en el margen externo, 1 espina larga y 4 setas largas. Endópodo con 3 segmentos; primer segmento con espínulas e margen externo y 1 seta interna larga; segundo segmento con espínulas en el margen exterior y 2 setas internas largas; tercer segmento con espínulas en el margen externo, 1 espina y 3 setas largas.

Pata 5 (Figura 8), con dos segmentos. Primer segmento (protopodo) pequeño, con 1 seta externa. Segundo segmento (exópodo), con 1 seta lateral y 2 setas terminales.

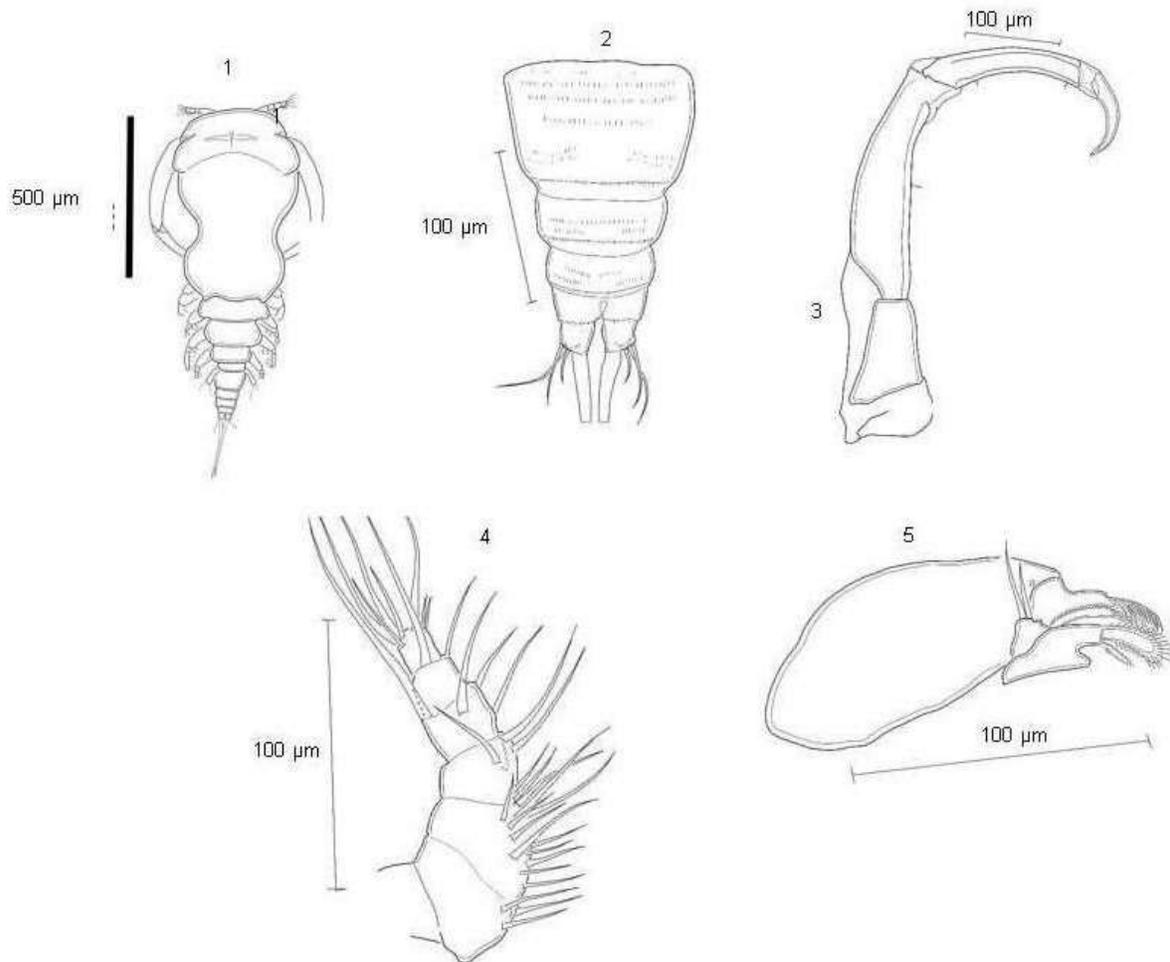


Figura 7. Estructuras de valor taxonómico de *Ergasilus lizae*. 1: cuerpo completo; 2: rama caudal 3: antena; .4: anténula; 5: piezas bucales.

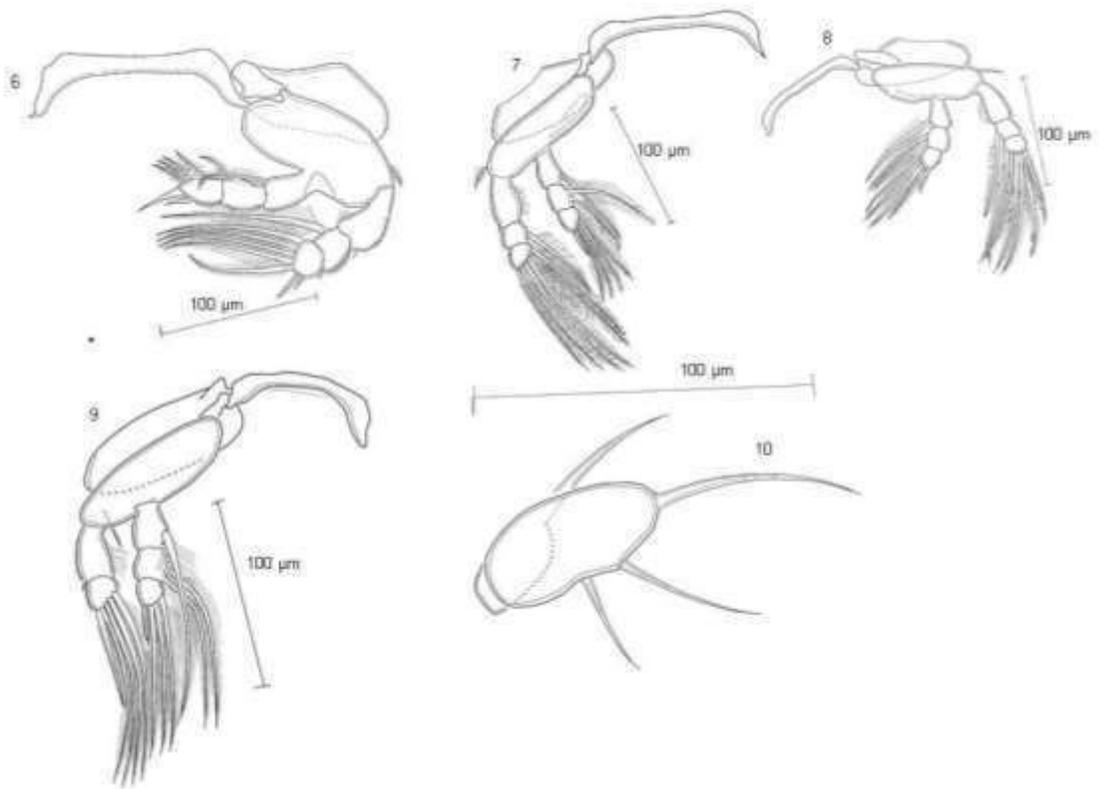


Figura 8. Estructuras de valor taxonómico de *Ergasilus lizae*. 6: primer pata ventral; 7: segunda pata ventral; 8: tercera para ventral; 9: cuarta pata ventral; 10: quinta pata ventral.

8.3 Identificación molecular de *E. lizae*

Se alinearon 533 pb de 31 secuencias (tres del presente estudio) del género *Ergasilus* y una secuencia de *Eucyclops speratus* que fue el grupo externo. El árbol filogenético mostró que las tres secuencias del gen COI de *E. lizae* obtenidas en este estudio se agruparon en una sola rama y no coincidieron con las secuencias de *E. lizae* disponibles en BOLD (Figura 9). Las secuencias del presente estudio se acercaron a un grupo formado por *E. caeruleus*, aunque con un valor bootstrap muy bajo (33%).

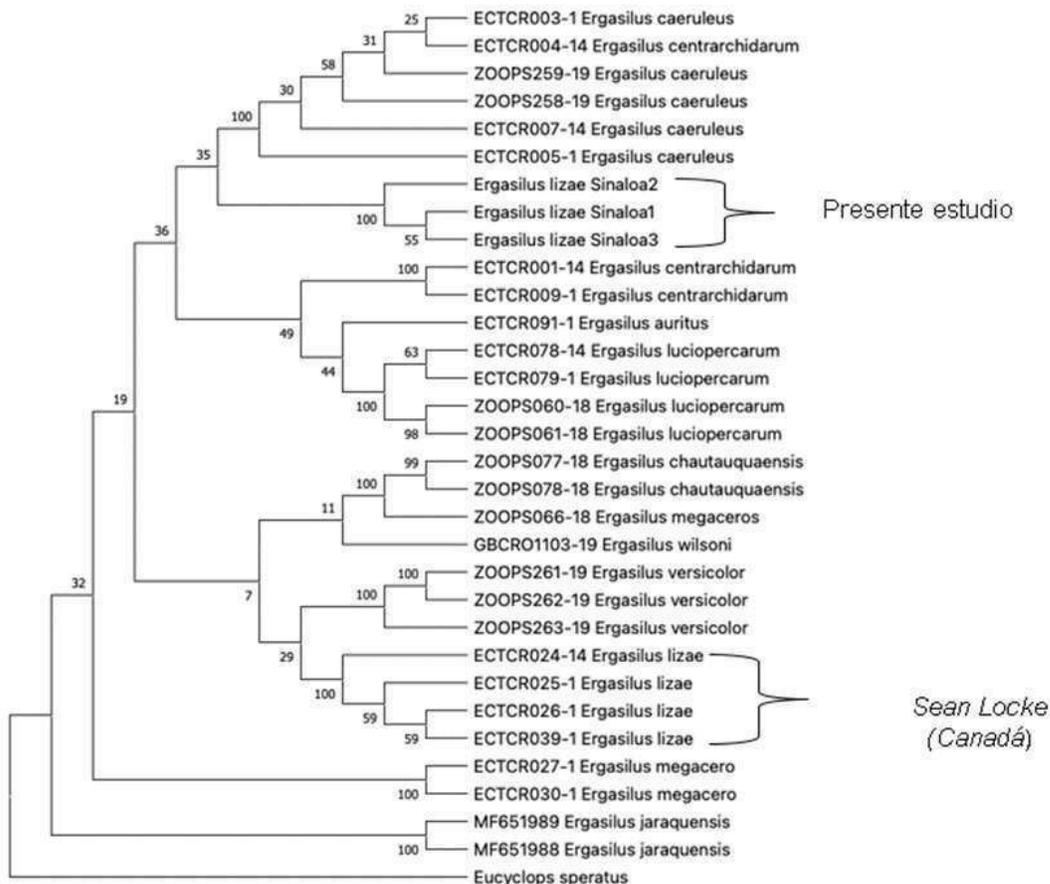


Figura 9. Árbol filogenético basado en el gen COI de especies de *Ergasilus*.

8.4 Prevalencia e intensidad de la infección

Para determinar posibles diferencias significativas en la prevalencia e intensidad mediana de la infección entre las lagunas, se juntaron los datos de todos los meses de Estero de Urías y se compararon contra todos los datos de Huizache-Caimanero. Tanto para *M. curema* como para *M. cephalus*, no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) en la prevalencia (Figura 10) e intensidad mediana (Figura 11) entre los peces de Estero de Urías y Huizache-Caimanero

Para determinar posibles diferencias significativas de ambos parámetros de infección entre las épocas climáticas se usaron solamente los peces de *M. curema*. En Estero de Urías se tomaron en cuenta sólo los peces de agosto y septiembre ($n = 30$) para la época cálida, y de enero y febrero ($n = 26$) para la época fría. Con base en estos datos se determinó que la prevalencia de *E. lizae* fue significativamente ($P < 0.05$) más alta en la época cálida (62.1%) que en la fría (12.5%) (Figura 12). Para Huizache-Caimanero se compararon los datos de junio (cálido, $n = 20$) y enero (frío, $n = 17$), encontrándose que la prevalencia fue significativamente más alta en cálido (55%) que en frío (11.8%) (Figura 12). La intensidad mediana (Figura 13) tuvo valores generalmente por debajo de 5 parásitos por pez y no varió significativamente entre las épocas, para los sitios de muestreo. Estas pruebas no se realizaron para *M. cephalus* debido al escaso número de peces.

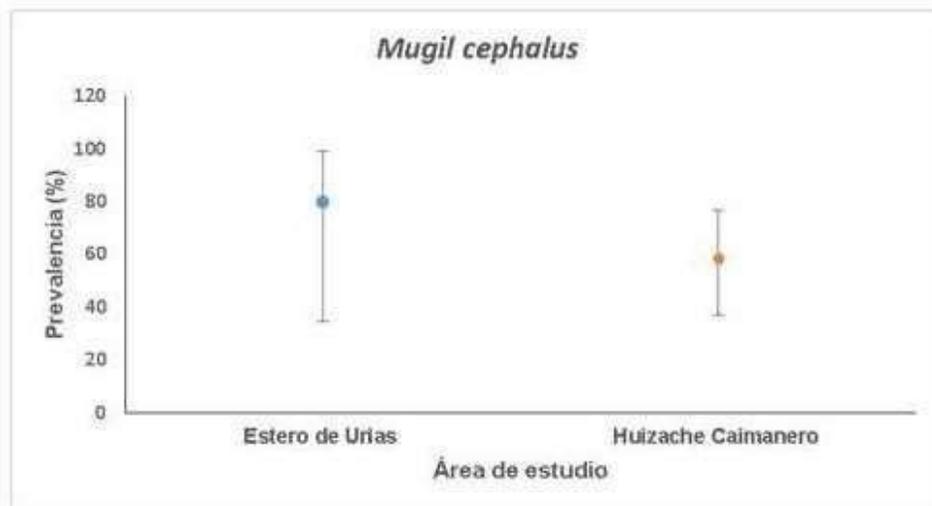
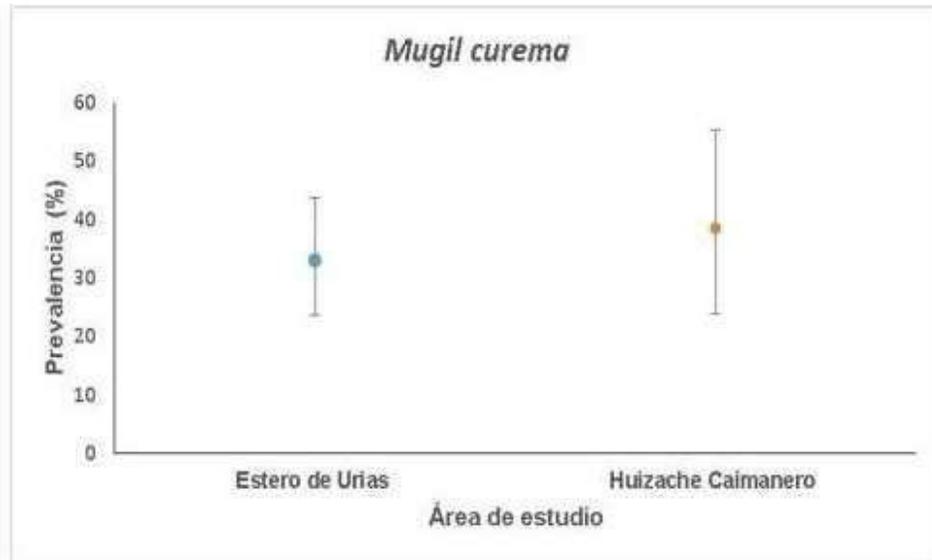


Figura 10. Prevalencia de *E. lizae* en *Mugil curema* y *Mugil cephalus* en La laguna Estero de Urías y Huizache-Caimanero. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

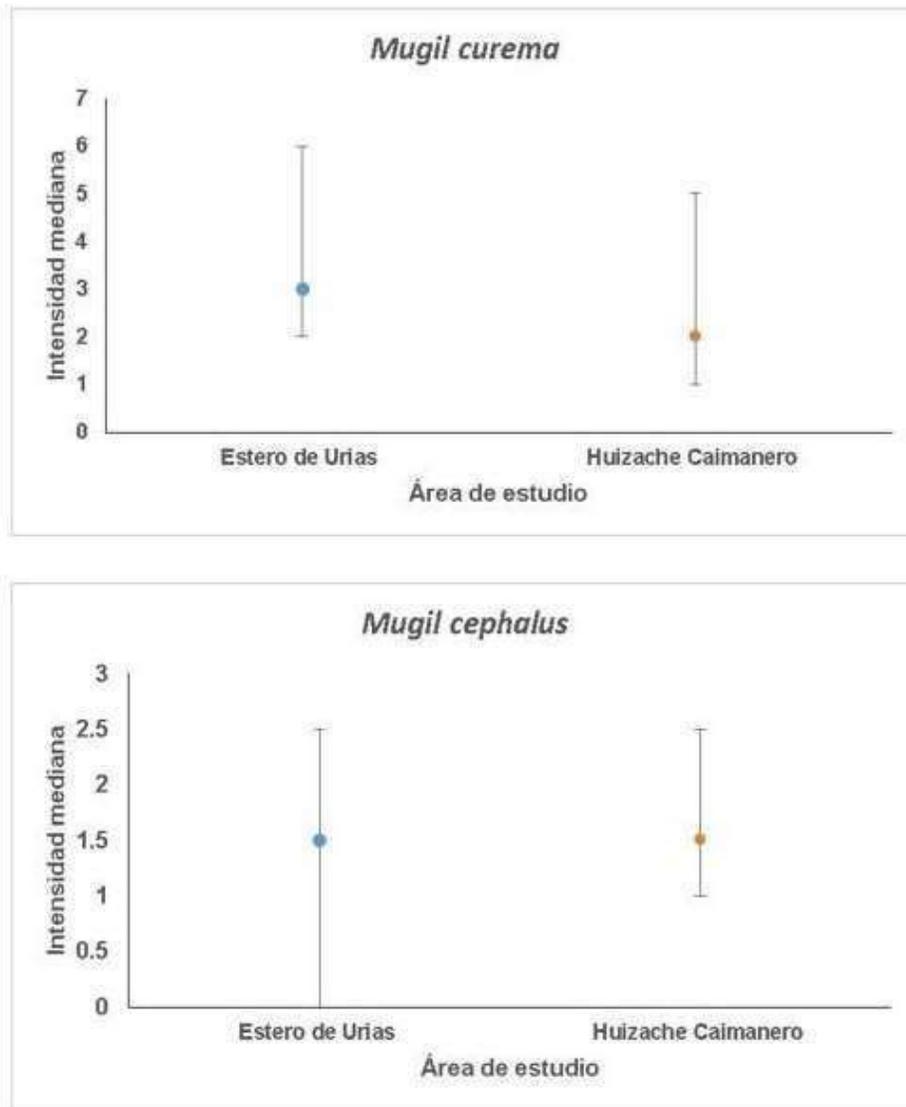


Figura 11. Intensidad mediana de *E. lizae* en *Mugil curema* y *Mugil cephalus* en la laguna Estero de Urías y Huizache-Caimanero. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

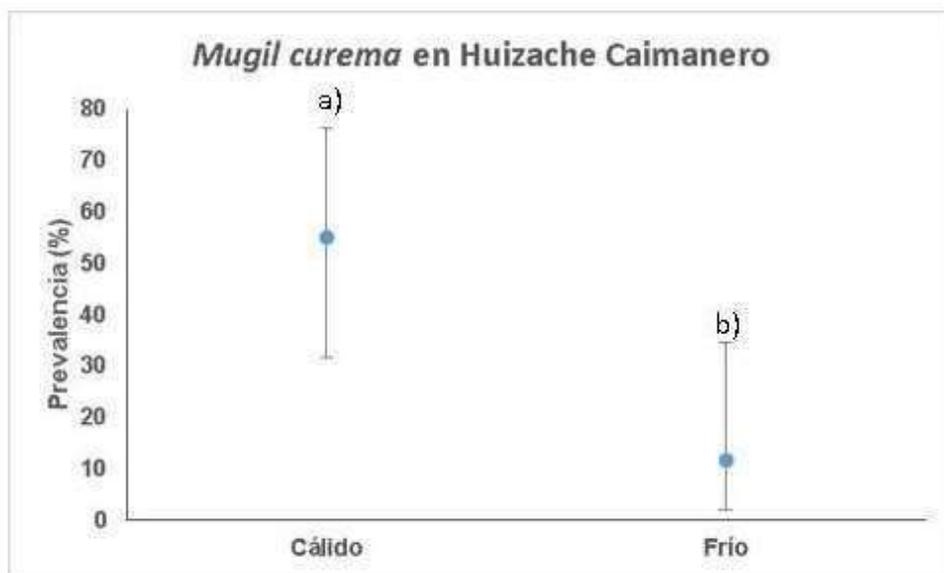
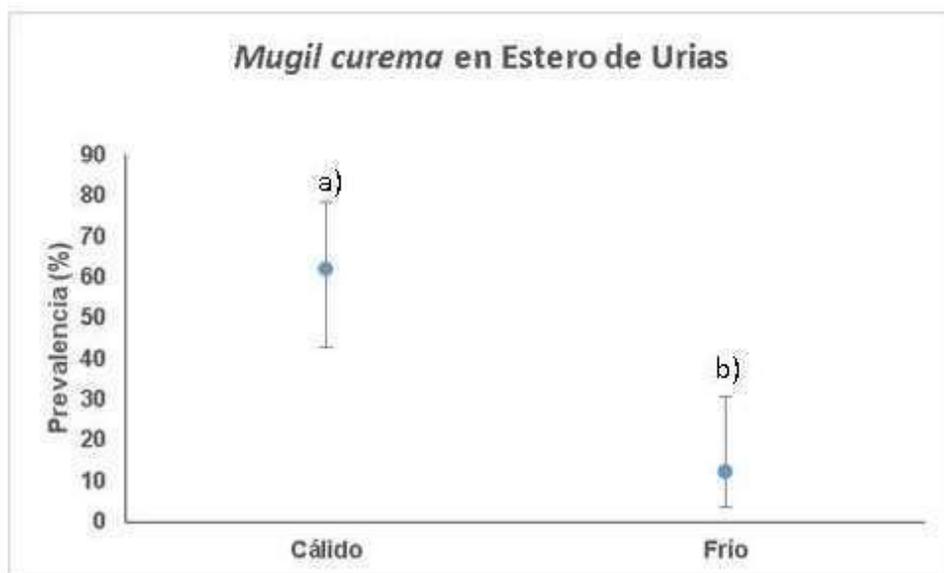


Figura 12. Prevalencia de *E. lizae* en *Mugil curema* en La laguna Estero de Urías y Huizache-Caimanero. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%

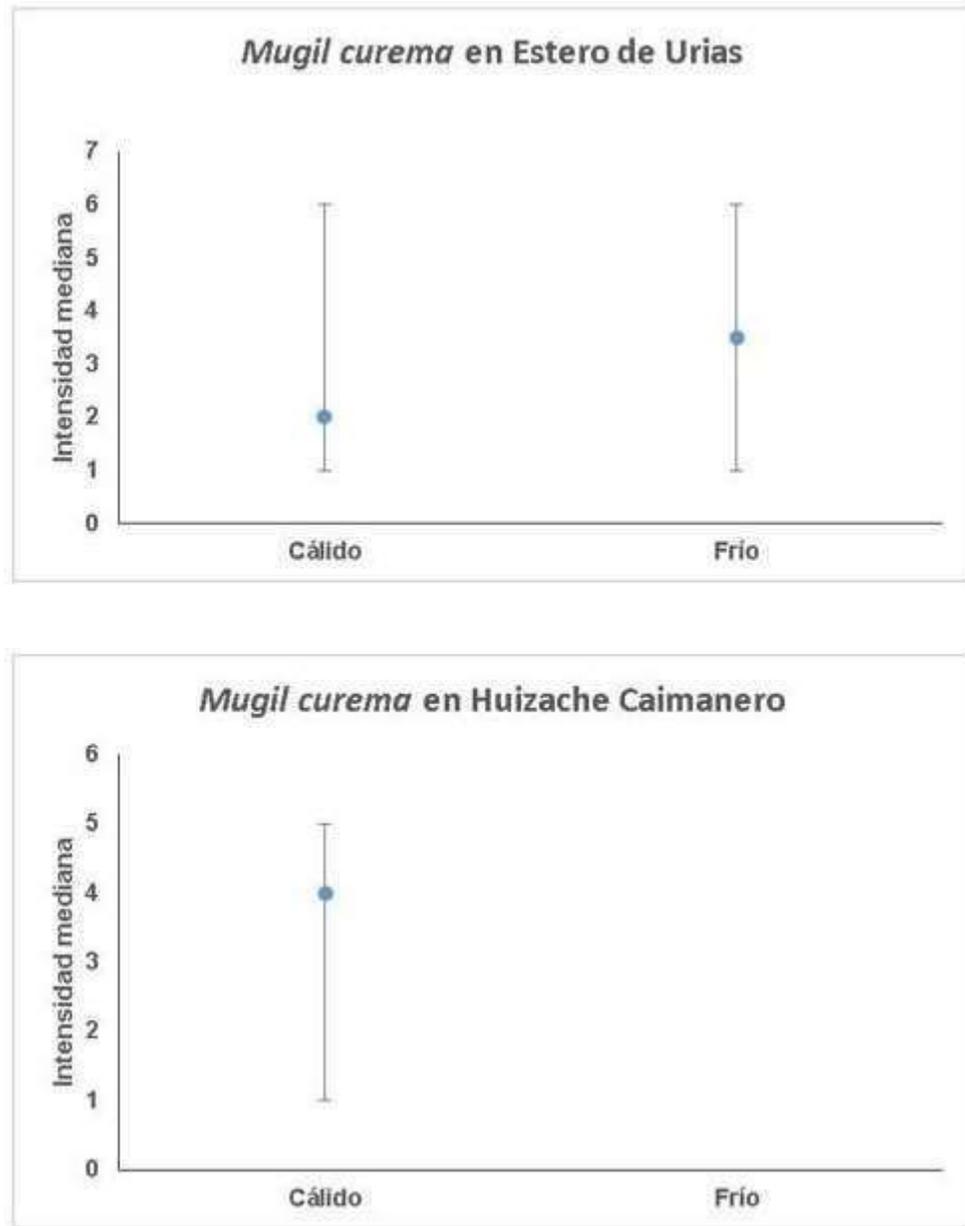


Figura 13. Intensidad mediana de *E. lizae* en *Mugil curema* en La laguna Estero de Urías y Huizache-Caimanero. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

8.5. Variación morfológica intraespecífica de *E. lizae*

8.5.1 Variación en el tamaño de *E. lizae*

En la Tabla V se especifica el número de especímenes de *E. lizae*, por localidad, hospedero y fecha de recolecta, a los cuales se les midió la longitud corporal. El análisis de Spearman indicó que la longitud corporal de *E. lizae* no se correlacionó significativamente con la longitud y peso de los peces. Esto se determinó para *M. curema* y *M. cephalus* por sitio de muestreo y también agrupando todos los datos sin importar el sitio.

Tabla V. Número de especímenes de *E. lizae* usados en el análisis morfométrico.

	Junio	Agosto	Septiembre	Diciembre	Enero
<i>Mugil curema</i>					
EU	22	26	41	2	
HC	30				11
<i>Mugil cephalus</i>					
EU					
HC	4		19		

Las comparaciones de la longitud corporal de *E. lizae* realizadas entre las épocas climáticas, localidad y especie de pez indicaron que no hay diferencias significativas (Tabla VI). Cabe aclarar que para probar el efecto de la época climática y la localidad solamente se usaron los datos de *M. curema*, comparando junio (época cálida) contra enero (época fría) en Huizache-Caimanero, junio en Estero de Urías contra junio en Huizache-Caimanero (para descartar una posible influencia del tiempo) y todos los datos de Estero de Urías contra todos los datos de Huizache-Caimanero. Para probar el efecto de la especie de pez solamente se tomaron en cuenta los datos de Huizache-Caimanero, ya que en Estero de Urías no se obtuvieron datos para *M. cephalus*.

Tabla VI. Resultados de la prueba de *t* para comparar la longitud de *E. lizae* entre muestras.

Comparaciones	<i>t</i>	P
Cálido vs Frío	1.5865	0.1235
Estero Urías vs Huizache-Caimanero (junio)	0.77021	0.4414
Estero Urías vs Huizache-Caimanero (todo)	0.54525	0.5856
<i>M. curema</i> vs <i>M. cephalus</i>	0.87991	0.3777

8.5.2 Análisis de morfometría geométrica

En la Tabla VII se especifica el número de especímenes de *E. lizae*, por localidad, hospedero y fecha de recolecta, a los cuales se les midió la longitud de los tres segmentos endopodales y garra de las antenas derecha e izquierda. Estas mediciones se emplearon en los análisis de morfometría geométrica.

Tabla VII. Número de antenas medidas de *E. lizae*, por localidad, hospedero y fecha de recolecta

	Mayo (Cálido)	Junio (Cálido)	Agosto (Cálido)	Septiembre (Cálido)	Enero (Frío)
<i>Mugil curema</i>					
EU	7	1	10	34	1
HC		9	3	1	8
<i>Mugil cephalus</i>					
EU					
HC		2	2	5	

8.5.3 Error de digitalización

El error de digitalización cuantificó un 0.06% de la variación total de la forma ($F_{1, 18}=4.4139$, $P=0.993$), mientras que el 99% restante corresponde a variación biológica en la antena (Tabla VIII).

Tabla VIII. Error de digitalización

	Df	SS	MS	Rsq	F	Z	Pr(>F)
Rep	1	0.00089	0.000887	0.00061	0.011	-2.2643	0.993
Residuales	18	1.4443	0.080239	0.99939			
Total	20	1.44519					

8.5.4 Variación en la forma de la antena (PCA)

El PCA específico para los sitios de muestreo reveló que los dos primeros componentes explicaron el 66.86% de la variación en la forma de las antenas (Figura 14). No se identificaron morfotipos en este análisis.

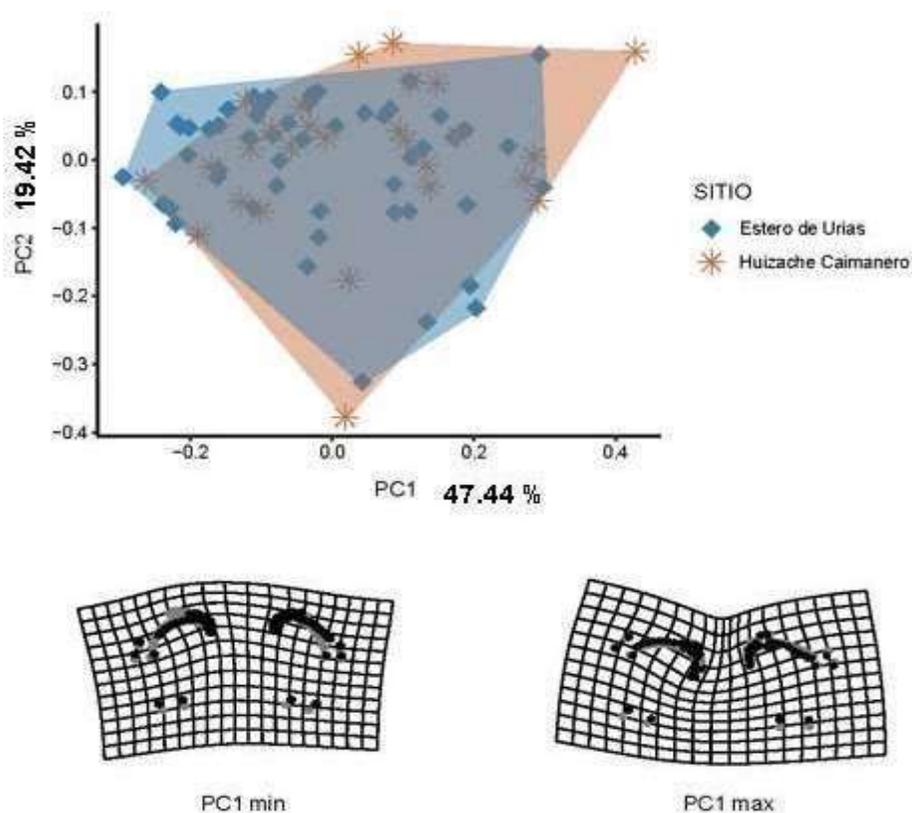


Figura 14. PCA para visualizar la variación morfológica de las antenas en Estero de Uriás y Huizache-Caimanero.

8.5.5 Variación de la forma de las antenas de acuerdo al sitio

En cuanto a los efectos de Estero de Urías y Huizache-Caimanero, nuestros resultados indican que no tuvieron ninguna influencia en las variaciones tanto en el tamaño como en la forma. Sin embargo, al aplicar el modelo Procrustes ANOVA, encontramos efectos significativos en el tamaño centroide y en el segmento uno. La mayor variación en la forma se atribuyó al segmento TC, representando un 21.26 % del total (Tabla IX).

Tabla IX. Modelo de ANOVA de Procrustes evaluando los efectos de las variables TC y segmentos respecto a los sitios de muestreo en las antenas derechas e izquierdas de *E. lizae*.

	Df	SS	MS	Rsq	F	Z	Pr(>F)
TC	1	0.8964	0.89638	0.2126	21.6647	4.7238	0.001*
Segmento 1	1	0.1422	0.14216	0.03372	3.4358	2.4086	0.01*
I1	1	0.0482	0.04817	0.01143	1.1643	0.5245	0.295
TC:S1	1	0.0265	0.02651	0.00629	0.6408	-0.3539	0.637
Residuales	75	3.1031	0.04137	0.73598			
Total	79	4.2163					
TC	1	0.8964	0.89638	0.2126	20.7688	4.6576	0.001*
Segmento 2	1	0.0327	0.0327	0.00775	0.7576	-0.1916	0.576
I2	1	0.025	0.02498	0.00592	0.5787	-0.5912	0.718
TC:S2	1	0.0253	0.02531	0.006	0.5864	-0.4627	0.67
Residuales	75	3.237	0.04316	0.76772			
Total	79	4.2163					
TC	1	0.8964	0.89638	0.2126	20.99	4.6749	0.001*
Segmento 3	1	0.0354	0.03539	0.00839	0.8288	0.0205	0.492
I3	1	0.0374	0.03738	0.00887	0.8753	0.0425	0.476
TC:S3	1	0.0443	0.04432	0.01051	1.0378	0.3926	0.348
Residuales	75	3.2029	0.0427	0.75963			
Total	79	4.2163					

**Efecto significativo alfa <0.01, *Efecto significativo alfa <0.05.

En la Figura 15, el gráfico de caja visualiza las dimensiones del tamaño centroide de las antenas. Los puntos en el gráfico resaltan valores extremos, indicando datos que no se ajustan de la tendencia general. La figura revela claramente que las antenas en Estero de Urías son significativamente más grandes que las de Huizache-Caimanero.

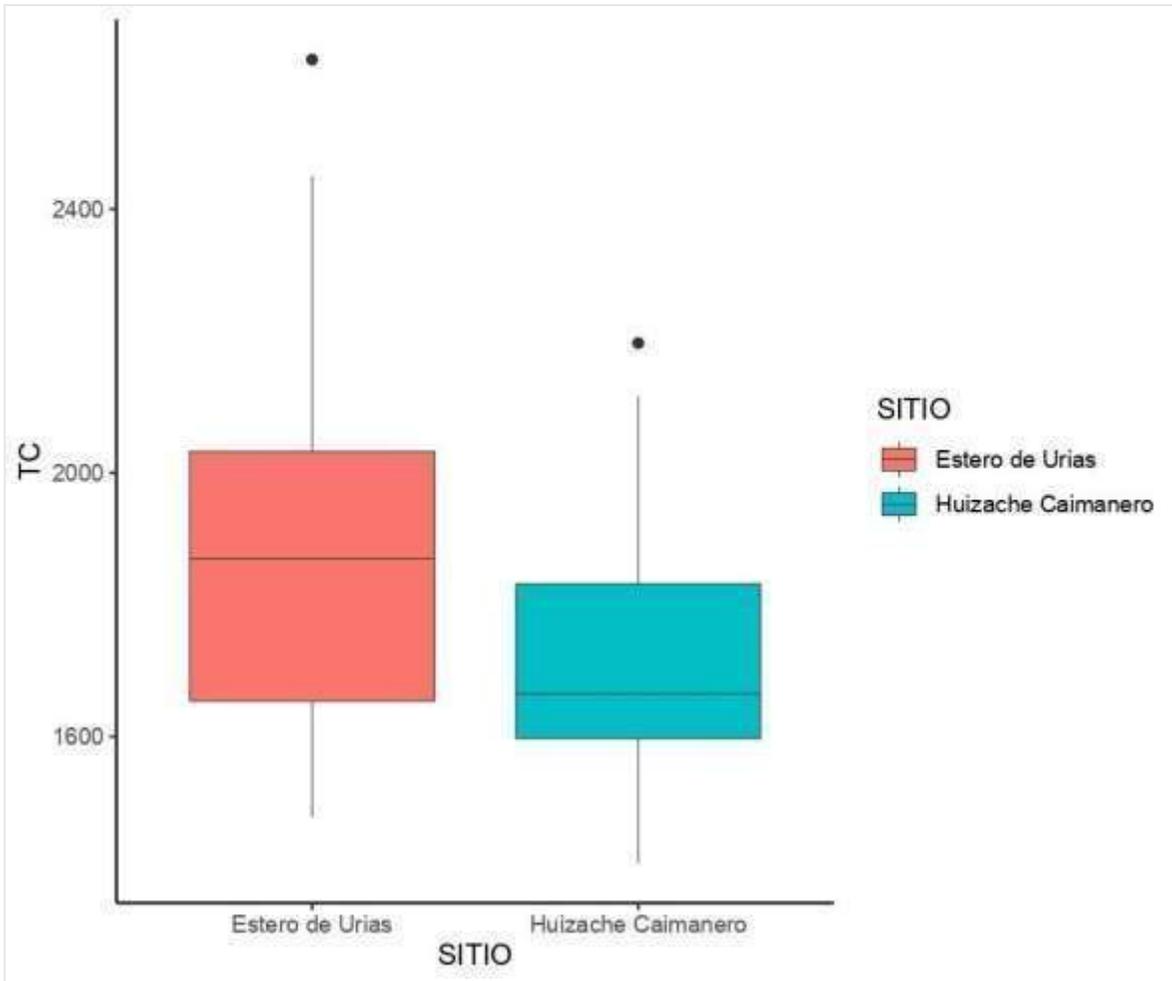


Figura 15. Gráficos de caja representando en tamaño de las antenas de Estero de Urías y Huizache-Caimanero

8.5.6 Dirección y magnitud de los vectores que describen la variación de la forma de antenas

Se encontró que la variación más significativa en la forma de las antenas, tanto en el lado derecho como en el izquierdo, ocurrió en la parte proximal del primer segmento endopodal, específicamente en los puntos de referencia 1, 2, 12 y 13. Esta variación fue consistente en individuos de ambas especies hospederas y en ambos sitios de estudio, independientemente de la época climática (Figura 16).

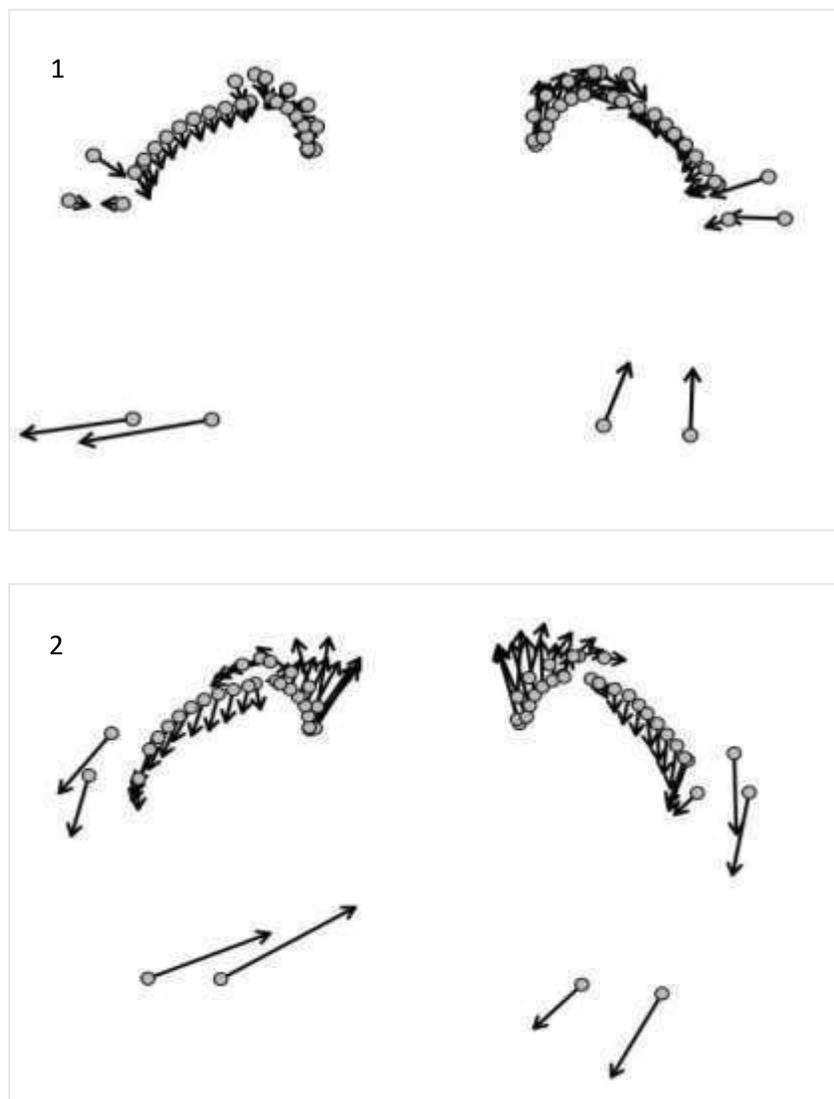


Figura 16. Vector de cambio en la forma de las antenas de *E. lizae*, mostrando variaciones en la forma, 1) Estero de Urías 2) Huizache-Caimanero.

8.5.7 Asimetría Fluctuante

La prueba de simetría bilateral revela diferencias significativas en los niveles de AF entre los lados izquierdo y derecho respecto a Estero de Urías (Tabla X). La mayor fuente de variación en la forma se atribuye al lado (89.22%), mientras que por individuo solo se explica el 7.61% de la variación, y una interacción relativamente menor entre los individuos y el lado (3.15%). Además, los resultados del ANOVA de Procrustes sobre el componente AF de la varianza de la forma señalan que no existen diferencias significativas entre los lados, por lo que se descarta la presencia de AF en las antenas (Tabla XI).

Tabla X. Prueba de simetría bilateral para calcular asimetría fluctuante de Estero de Urías

	GI	SC	SM	R2	F	Z	P>F
Individuo	38	1.0479	0.0748	0.0761	2.4151	1.7415	0.033*
Lado	1	12.2748	12.2748	0.8922	396.0672	3.5913	0.001*
Ind:lado	38	0.4339	0.0310	0.0315			
Total	77	13.7566					

Tabla XI. Resultados del modelo ANOVA Procrustes para probar el efecto del lado en la variación de asimetría fluctuante en Estero de Urías

	GI	SC	SM	R2	F	Z	P>F
Lado	1	0.0193	0.0193	0.0223	0.2967	-1.2342	0.901
Ind:lado	38	0.8484	0.6526	0.9776			
Total	39	0.8677					

La prueba de simetría bilateral revela diferencias significativas en los niveles AF entre los lados izquierdo y derecho en relación a Huizache-Caimanero (Tabla XII). La principal fuente de variación en la forma se atribuye principalmente al lado (80.13%), seguido de la interacción entre el lado y el individuo (16.31%), con una contribución comparativamente menor proveniente del individuo (3.55%). Los resultados del ANOVA de Procrustes aplicado al componente AF de la variabilidad de la forma indican que no hay diferencias significativas en la variabilidad morfológica de la antena, por lo tanto no existe AF en esta estructura (Tabla XIII).

Tabla XII. Prueba de simetría bilateral para calcular asimetría fluctuante de Huizache-Caimanero

	GI	SC	SM	R2	F	Z	P>F
Individuo	40	0.5246	0.0375	0.0355	0.2181	-2.7815	0.998
Lado	1	11.8167	11.8167	0.8013	68.7716	3.9448	0.001*
Ind:lado	40	2.4056	0.1718	0.1631			
Total	81	14.7468					

Tabla XIII. Resultados del modelo ANOVA Procrustes para probar el efecto del lado en la variación de asimetría fluctuante en Huizache-Caimanero

	GI	SC	SM	R2	F	Z	P>F
Lado	1	0.3674	0.3674	0.0763	1.0749	0.4894	0.312
Ind:lado	40	4.4437	0.3418	0.9236			
Total	41	4.8111					

8.5.8 Distancias Procrustes entre las antenas de *Ergasilus lizae*

Las comparaciones entre los sitios de muestreo indicaron la mayor distancia (0.0851). Sin embargo, no hay diferencias significativas, por lo tanto no hay morfotipos.

9. DISCUSIÓN

9.1 Descripción morfológica de *Ergasilus lizae*

El género *Ergasilus* fue propuesto por von Nordmann 1832. Los especímenes examinados se identificaron como pertenecientes a este género por poseer los caracteres diagnósticos descritos por Hewitt (1978) y Boxshall y Montú (1997) Pata 4 con exópodo de 2 segmentos y endópodo de 3 segmentos, anténula de 6 segmentos, antena con una sola garra, maxilas reducidas y maxilípedos ausentes en las hembras. Los especímenes encontrados se clasifican como *Ergasilus lizae* de acuerdo a la redesccripción morfológica hecha por Kabata (1992). Sin embargo, *E. lizae* del presente estudio tiene el cefalotórax notablemente constreñido; el segundo segmento de la anténula con 12 setas y el sexto segmento con 7 setas; y la pata 5 tiene una seta lateral.

De todas las especies de *Ergasilus* registradas en *M. cephalus* y *M. curema* (Tablas I y II), *E. lizae* tiene una mayor similitud morfológica con *E. atafonensis* descrita por Roberts (1969). Comparte el endopodito con 3 segmentos en la pata 1, así como las proporciones de los segmentos y la posición de los procesos sensoriales antenales, el número de elementos constantes de las patas 1 a 5 y la forma del cuerpo. Lo que las hace diferentes es que el primer segmento de la antena tiene una estructura lobulada en *E. atafonensis*; sin embargo, *E. lizae* no presenta esa estructura morfológica. *Ergasilus atafonensis* se ha registrado también en *Mugil trichodon* y *Mugil platanus* de Brasil (Amado y Rocha, 1995).

Kabata (1992) redescibió *E. lizae* porque, a pesar de conocerse desde hace más de un siglo, nunca había sido descrita adecuadamente, lo cual complicaba el proceso de identificación. Por ejemplo, Byrnes (1986) la confundió con *E. australiensis*.

Ergasilus lizae se ha reportado en las especies *M. cephalus* en Boca del Río, Veracruz; Mazatlán, Sinaloa y San Blas, Nayarit; *Liza aurata* en Turquía; *Mugil platanus* en Río de Janeiro, Brasil; y *Odontesthes argentinensis* en Uruguay. (Causey,1960; Ben Hassen y Raibaut,1981; Özer y Kirca,2013; Knoff et al. 1994; Soyly et al. 2013; Vettorazzi, 2016).

9.2 Identificación molecular

La separación observada en el árbol filogenético entre las secuencias COI de *E. lizae* del presente estudio y las secuencias COI de *E. lizae* descargadas de BOLD se debe posiblemente a la identificación incorrecta de *E. lizae* referenciada en BOLD (Sean Locke, comunicación personal). Las secuencias de *E. lizae* disponibles en BOLD fueron obtenidas por el Dr. Sean Locke con base en ergasíidos encontrados en peces de agua dulce (*Fundulus diaphanus*) de Canadá; sin embargo, de acuerdo con el Dr. Locke, cabe la posibilidad de que la identificación de la especie haya sido incorrecta. Además, de acuerdo con Jiménez-García y Suarez-Morales (2017), *E. lizae* parece infectar solo a peces marinos, con preferencia por mugílidos. Entonces, tomando en cuenta las características morfológicas, especie hospedera y hábitat, las secuencias COI obtenidas en este estudio pertenecen a *E. lizae*.

9.3 Prevalencia e intensidad de la infección

La localidad no fue un factor determinante en los niveles de infección de *E. lizae*. Por otro lado, la época climática sí influyó en su dinámica poblacional, teniendo aumentos en la prevalencia en la época cálida en comparación con la fría. Similarmente, Cloutman (1977) observaron que la prevalencia de *Ergasilus centrarchidae* fue más alta durante el verano, lo se atribuyó al hecho de que el verano parece ser la época del año más estresante para el hospedador. Johnson y Johnson y Albright (1991) reportan que la temperatura es un factor crucial y un regulador clave de los tiempos de desarrollo de los copépodos en todas sus etapas, incluyendo las etapas planctónica y parásita. Pike y Wadsworth (1999) señalan que los copépodos en aguas más cálidas se desarrollan más rápidamente hasta la etapa de copépodos infecciosos, pero sólo pueden sobrevivir por un corto período de tiempo ya que consumen sus reservas de energía más rápidamente.

Por el contrario, en ambientes más fríos las larvas de los copépodos tienen un período de desarrollo más largo y pueden ser capaces de transportarse distancias más largas por las corrientes oceánicas, dependiendo de las condiciones hidrográficas locales, pero también enfrentan un mayor riesgo de muerte (Asplin *et al.* 2021)

9.4 Variación morfológica intraespecífica de *Ergasilus lizae*

En el presente estudio la presencia de *E. lizae* en *M. curema* y *M. cephalus* no se relacionó significativamente con el tamaño y peso de los peces. Otros estudios han observado una correlación directa entre la superficie de los filamentos branquiales del hospedero y el número de ectoparásitos; y el aumento de parásitos con la talla y edad del hospedero (Hudson *et al.* 1994; Cedrick *et al.* 1998). Posiblemente, la falta de relación en el presente estudio se debe a que el intervalo del tamaño de los peces no fue muy amplio.

Los estudios morfométricos geométricos basados en puntos de referencia han sido ampliamente utilizados para medir variaciones de forma entre individuos y poblaciones de crustáceos (Savage y Hogarth, 1999; Richard *et al.*, 2003; Vilisics *et al.* 2006; Frota *et al.*, 2019; Godet *et al.*, 2012; Lajus *et al.*, 2015; Ottaviano y Scapini, 2010; Lezcano *et al.*, 2015) y parásitos monogéneos (Pečínková *et al.* 2005 y Pečínková *et al.* 2007; Llopis-Belenguer *et al.* 2015; Rodríguez-González *et al.* 2020). Sin embargo, hasta donde se sabe, el presente estudio es el primero en utilizar este enfoque para documentar la integración morfológica total entre las antenas derechas e izquierda en un copépodo parásito. La escasez de estudios en morfometría geométrica contrasta con la importancia de este enfoque en la innovación de la variación de la forma inter e intraespecífica que puede ser muy valiosa para la delimitación de especies, así como en la evaluación de modularidad e integración morfológica entre las partes de las antenas. Nuestra investigación proporciona una visión detallada de las variaciones de forma entre estas antenas y modela tanto la forma morfológica como el tamaño en relación con los sitios de muestreo.

La metodología empleada en este estudio, con la utilización de 31 puntos de referencia, se ha demostrado altamente efectiva para evaluar las variaciones morfológicas en las antenas. En términos generales, los vectores de cambio de forma exhibieron variaciones notables en el primer segmento endopodal y las primeras articulaciones de las antenas. Cabe recordar que estas antenas son el principal órgano de fijación de los ergasílicos. Similarmente, Rodríguez-González *et al.* (2015) señalaron que en los monogéneos los ganchos de fijación presentan variaciones en su tamaño y forma para adaptarse a las características del microambiente proporcionadas por el hospedador, como lo sugirieron Šimková *et al.* (2001) y Sarabeev *et al.* (2013).

La variación en la forma de la antena de *E. lizae* se explica principalmente por el tamaño centroide (21.6%). Las variables sitios no tuvieron un efecto significativo en la forma y el tamaño lo cual indica que no influyen en la morfología. Esta variación parece ser resultado de una combinación de factores, como la variación genética y las respuestas plásticas a condiciones ambientales (Endler, 1986; Pigliucci, 2001; Futuyama, 2009). No obstante, en este estudio, no podemos descartar por completo la posibilidad de que parte de esta variación fenotípica en nuestra muestra sea de origen genético, lo que sugiere que no toda la variación revelada en esta investigación está necesariamente vinculada a influencias ambientales.

Los bajos niveles de asimetría fluctuante observados en las antenas de *E. lizae* podrían atribuirse a la aparente insensibilidad de estos parásitos al estrés ambiental. Este fenómeno podría explicarse por la relación simbiótica entre *E. lizae* y su hospedero, donde este último les proporciona protección y estabilidad en el entorno. La presencia de un hospedero protector podría actuar como un amortiguador, mitigando los efectos negativos del estrés ambiental directamente sobre los parásitos, lo que resultaría en una menor variabilidad asimétrica en sus características morfológicas, como se observa en las antenas.

10. CONCLUSIÓN

- ✓ Se confirmó la presencia de la especie *Ergasilus lizae* en *Mugil cephalus* y *M. curema*.
- ✓ La incidencia más significativa de infecciones se detecta predominantemente durante la temporada cálida, coincidiendo con las prevalencias más elevadas de *Ergasilus lizae*.
- ✓ El tamaño de *Ergasilus lizae* no presentó variación significativa entre localidad, época, hospedero y tamaño de hospedero.
- ✓ La separación observada en el árbol filogenético de *Ergasilus lizae* del presente estudio en comparación con *E. lizae* presente en el BOLD se debe a la identificación incorrecta de la especie utilizada como referencia.
- ✓ En el análisis de morfometría geométrica, se comprobó la presencia de variabilidad en las antenas. No obstante, cabe destacar que dicha variabilidad no mostró asociación con la localidad, el hospedero ni la época, sugiriendo un patrón de diversidad independiente de estos factores.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, D. C., & Otárola-Castillo, E. 2013. geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4: 393-399.
- Adams, D.C., Collyer, M.L., y Kaliontzopoulou, A. 2019. Geomorph: Software for Geometric Morphometric Analyses. *R package version 3.1.0*. <https://cran.r-project.org/package=geomorphs>.
- Amado, M. M., y Rocha, C. E. F. 1995. Tres novas especies de coeéeeoes parasitas o genero *Ergasilus* (Poecilostomatoida, Ergasilidae) coletadas em filamentos branquiais oz peixes mugllledeos oo Brasil. *Nauplius*, 3: 33-48.
- Arnold, S. J. 1983. Morphology, performance and fitness. *American Zoologist*, 23:2, 347-361.
- Ben Hassen, O. K., y Raibaut, A. 1981. Experimental realization of the life cycle of *Ergasilus lizae* Kroyer, 1853, parasitic copepoda of the fish Mugilidae. First results of infestation. Arch. *Les Archives de l'Institut Pasteur de Tunis*, 3: 423 – 430
- Behrends G, Korshenko A. y Viitasalo M. 1997. Morphological aberrations in females of the genus *Acartia* (Copepoda, Calanoida) in the Baltic Sea. *Crustaceana*, 70: 594-607.
- Behrends Kadiene E, Ouddane B, Gong H-Y, Hwang J-S, y Souissi S. 2022. Multigenerational study of life history traits, bioaccumulation, and molecular responses of *Pseudodiaptomus annandalei* to cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 230: 113171.
- Beltrán-Velarde, M.A. 2007. Metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn) en músculo y hepatopáncreas de peneidos de importancia comercial en siete sistemas lagunares del estado de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autonoma de Sinaloa, Facultad de ciencias del Mar. 45 p
- Bookstein, F. L. 1996. Biometrics, biomathematics and the morphometric synthesis. *Bulletin of Mathematical Biology*, 58, 313-365.
- Boxshall, G. A., & Montú, M. A. 1997. Copepods parasitic on Brazilian coastal fishes: a handbook. *Nauplius*, 1: 1-225.
- Brand, G. W., 1981. Responses of a calanoid copepod to existence in saline waters. *Hydrobiologia*, 81: 145-149.
- Bucklin, A., Hopcroft, R. R., Kosobokova, K. N., Nigro, L. M., Ortman, B. D., Jennings, R. M., & Sweetman, C. J. 2010. DNA barcoding of Arctic Ocean holozooplankton for species identification and recognition. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57: 40-48.
- Byrnes, T. 1986. Some ergasilids (Copepoda) parasitic on four species of Australian bream, *Acanthopagrus* spp., *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 37: 81-93.
- Cardoso-Mohedano G, Páez-Osuna F, Amezcua-Martínez F, Ruiz Fernández AC, Ramírez-Reséndiz G, Sánchez-Cabeza J. 2016^a. Combined

environmental stress from shrimp farm and dredging releases in a subtropical coastal lagoon (SE Gulf of California). *Mar Pollut Bull* 104:83–91. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.02.008

- Cardoso-Mohedano, J. G., Bernardello, R., Sanchez-Cabeza, J. A., Páez-Osuna, F., Ruiz-Fernández, A. C., Molino-Minero-Re, E., & Cruzado, A. 2016^b. Reducing nutrient impacts from shrimp effluents in a subtropical coastal lagoon. *Science of the Total Environment*, 571: 388-397.
- Causey, D. 1960. Parasitic Copepoda from Mexican coastal fishes. *Bulletin of Marine Science*, 3:323-337.
- Cavalcanti, E. T. S., Pavanelli, G. C., Chellappa, S., & Takemoto, R. M. 2005. Ocorrência de *Ergasilus versicolor* e *E. lizae* (Copepoda: Ergasilidae) na tainha, *Mugil curema* (Osteichthyes: Mugilidae) em Ponta Negra, Natal, Rio Grande do Norte. *Arquivo de Ciências do Mar*. Fortaleza, v. 38. n. 1-2, p.131-134.
- Cedrik, M; S. Morand y Galzin.R. 1998. Parasite diversity/ host age and size relationship in three coral-reef fishes from French Polynesia. *International Journal of Parasitology*, 28: 1965-1708.
- Cloutman, D. G., y Becker, D. A. 1977. Some ecological aspects of *Ergasilus centrarchidarum* Wright (Crustacea: Copepoda) on largemouth and spotted bass in Lake Fort Smith, Arkansas. *Journal of Parasitology*, 372-376.
- Collyer, M. L., & Adams, D. C. 2018. RRPP: An r package for fitting linear models to high-dimensional data using residual randomization. *Methods in Ecology and Evolution*, 7:1772-1779.
- Collyer, M.L., Adams, D.C. 2019. RRPP: Linear Model Evaluation with Randomized Residuals in a Permutation Procedure. *R Package Version 0.4.0*. <https://CRAN.R-project.org/package=RRPP>.
- De la Lanza, E. G. y Garcia-Calderon, J. L. 1991 Sistema lagunar Huizache y Caimanero, Sin. Un estudio socio ambiental, pesquero y acuicola. *Hidrobiologica* 1: 1–35.
- Elgmork K., y Halvorsen, G. 1988. Intraspecific morphological variation in a freshwater copepod (Crustacea) in relation to geographic distribution and environment. *Canadian Journal of Zoology*, 76: 751-762.
- Endler, J. A. 1986. Natural selection in the wild. *Princeton University Press*.
- Falkenberg, J. M., Lima, V. M. D., Vieira, G. H., y Lacerda, A. C. F. 2022. Metazoan parasites of white mullet *Mugil curema* Valenciennes, 1836 (Mugiliformes: Mugilidae) and new records of occurrence in the western Atlantic, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94:1-18. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200496>
- Frota, G. P., Cabrini, T. M., y Cardoso, R. S. 2019. Fluctuating asymmetry of two crustacean species on fourteen sandy beaches of Rio de Janeiro State. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 223:138-146.
- Futuyma, D. J., & Agrawal, A. A. 2009. Evolutionary history and species interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 43: 18043-18044.

- García, E. 1989. Modificaciones al sistema de clasificación climatológica de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. U.N.A.M. *Instituto de Geografía*. México, D.F. 249 p
- Gil-Manrique, B., Nateras-Ramírez, O., Martínez-Salcido, A. I., Ruelas-Inzunza, J., Páez-Osuna, F., y Amezcua, F. 2017. Cadmium and lead concentrations in hepatic and muscle tissue of demersal fish from three lagoon systems (SE Gulf of California). *Environmental Science and Pollution Research*, 24:12927-12937.
- Godet, J. P., Demuynck, S., Waterlot, C., Lemièrre, S., Souty-Grosset, C., Douay, F., y Pruvot, C. 2012. Fluctuating asymmetry analysis on *Porcellio scaber* (Crustacea, Isopoda) populations living under metals-contaminated woody habitats. *Ecological Indicators*, 23:130-139.
- Goodall, C. 1991. Procrustes methods in the statistical analysis of shape. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 53: 285-339.
- Hart R.C. y Bychek EA. 2011. Body size in freshwater planktonic crustaceans: an overview of extrinsic determinants and modifying influences of biotic interactions. *Hydrobiologia*, 668: 61-108.
- Hewitt G.C. 1978: *Abergasilus amplexus* gen. et sp. nov. (Ergasilidae; parasitic Copepoda) from fishes in Lake Ellesmere, New Zealand. *N.Z. J. Mar. Freshwater Res*, 12: 173–177.
- Ho, J. S. 2001. Why do symbiotic copepods matter?. *Hydrobiologia*, 453: 1-7.
- Hudson, P.L., C.A. Bowen and R. M. Stedman. 1994. New records of *Ergasilus* (Copepoda: Ergasilidae) in the Laurentian Great Lakes, including a lakewide review of records and host associations. *Revista canadiense de zoología*, 72: 1002-1009.
- Huys, R., Boxshall, G.A., 1991. Copepod Evolution. *Ray Society*. London.
- INEGI. Estudio hidrológico del Estado de Sinaloa. *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática*, Mexico, 88 pp
- Jaward, F. M., Alegria, H. A., Galindo Reyes, J. G., y Hoare, A. 2012. Levels of PAHs in the waters, sediments, and shrimps of Estero de Urías, an estuary in Mexico, and their toxicological effects. *The Scientific World Journal*.
- Jiménez-García, M. I., y Suárez-Morales, E. 2017. Complementary description of *Ergasilus arthrosis* Roberts, 1969 (Copepoda: Poecilostomatoida: Ergasilidae), a new parasite of cichlid teleosts in southeast Mexico. *Systematic parasitology*, 94:81-90.
- Johnson, S. C., & Albright, L. J. 1991. Development, growth, and survival of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) under laboratory conditions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 71: 425-436.
- Kabata, Z. 1992. Copepoda parasitic on Australian fishes, XV. Family Ergasilidae (Poecilostomatoida). *Journal of natural History*, 1: 47-66.
- Kim, J., Kim, J., Lee, W., y Karanovic, I. 2021. The first insight into the patterns of size and shape variation of a microcerberid isopod. *Water*, 4: 515.
- Klingenberg, C.P. 2002. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. *Gene*, 287: 3–10.

- Klingenberg, C. P. 2003. A developmental perspective on developmental instability: theory, models and mechanisms. *Developmental instability: causes and consequences*, 1:14-34.
- Klingenberg, C. P. 2010. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics*, 11: 623-635.
- Klingenberg, C.P., 2015. Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods, and applications. *Symmetry* 7: 843– 934.
- Klompmaker, A. A., y Boxshall, G. A. 2015. Fossil crustaceans as parasites and hosts. *Advances in Parasitology*, 90: 233–289.
- Korshenko, A., Vtasalo, M., y Behrends, G. 1997. Morphological aberrations in females of the genus *Acartia* (Copepoda, Calanoida) in the Baltic Sea. *Crustaceana*, 5: 594-607.
- Knoff, M., Luque, J. L., y Takemoto, R. M. 1994. Parasitic copepods on *Mugil platanus* Günther (Osteichthyes: Mugilidae) from the coast of the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 1: 45-56.
- Kroyer, H. 1863. Bidrag til Kundskab om Snyltekrebsene. *Naturhist. Tidssk. Ser,2*: 75-426
- Lane-Medeiros, L., Moraes, S. A., Alencar, C. E., Rocha, M. A., & Freire, F. A. (2021). Body shape variations help to diminish taxonomy uncertainty in juvenile swimming crab *Callinectes Stimpson*, 1860. *Zoologischer Anzeiger*, 295: 89-98.
- Lankford, R. R. 1977. Coastal lagoons of Mexico their origin and classification. In *Estuarine processes* (pp. 182-215). [Academic Press Books](#)
- Lajus, D., Sukhikh, N., y Alekseev, V. 2015. Cryptic or pseudocryptic: can morphological methods inform copepod taxonomy? An analysis of publications and a case study of the *Eurytemora affinis* species complex. *Ecology and Evolution*, 12: 2374-2385.
- Lezcano, A. H., Rojas-Quiroga, M. L., Liberoff, A. L., y van der Molen, S. 2015. Marine pollution effects on the southern surf crab *Ovalipes trimaculatus* (Crustacea: Brachyura: Polybiidae) in Patagonia Argentina. *Marine Pollution Bulletin*, 2: 524–529. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.038>
- Lester , R.J.G. and Roubal L, F.R. 1999. Phylum Arthropoda. Chapter # 13:475-510. IN: WOO, P.T.K. Fish diseases and disorders. *Protozoan and metazoan infections*. Vol. 1. Cabi publishing.
- Losos, J. B. 2008. Phylogenetic niche conservatism, phylogenetic signal and the relationship between phylogenetic relatedness and ecological similarity among species. *Ecology letters*, 10: 995-1003.
- Llopis-Belenguer, C., Balbuena, J. A., Galvan-Femenia, I., & Rodríguez-González, A. 2015. Phenotypic buffering in a monogenean: canalization and developmental stability in shape and size of the haptor anchors of *Ligophorus cephalii* (Monogenea: Dactylogyridae). *Plos one*, 10-11, e0142365.
- Marchiori, D., Papies, E. K., & Klein, O. 2014. The portion size effect on food intake. An anchoring and adjustment process?. *Appetite*, 81: 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.06.018>
- Marín-Enríquez, E., Charruau, P., & Félix-Salazar, L. A. 2023. Discovery of a suburban wetland refuge for a depleted American crocodile (*Crocodylus acutus*) population in northwestern Mexico, using a commercial Unmanned

- Aerial Vehicle. *Tropical Conservation Science*, 16: 19400829231209848.
- Martínez-Salcido, A. I., Ruelas-Inzunza, J., Gil-Manrique, B., Nateras-Ramírez, O., y Amezcua, F. 2018. Mercury levels in fish for human consumption from the southeast Gulf of California: tissue distribution and health risk assessment. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 74: 273-283.
 - Miracle, M. R. 2015. Clase Maxillopoda: Copepoda. Valencia, España. Revista *IDE-SEA*. 95:1- 19.
 - Morales-Serna FN, Gómez S, y Pérez-Ponce de León G. 2012. Parasitic copepods reported from Mexico. *Zootaxa*, 3234: 43-68.
 - Nordmann, A. von. 1832. Mikrographische Beiträge zur Naturgeschichte der wirbellosen Thiere. Zweites Heft. Mit zehn Kupfertafeln, G. Reimer, Berlin. XVIII:1-150, plates I-X., available online at <https://archive.org/details/mikrographische00nordgoog>
 - Ottaviano, O., y Scapini, F. 2010. Can fluctuating asymmetry in *Talitrus saltator* (Montagu, 1808) (Crustacea, Amphipoda) populations be used as a bioindicator of stress on sandy beach ecosystems? *Oceanología*, 52: 259–280
 - Özer, A., y Kirca, D. Y. 2013. Parasite fauna of golden grey mullet *Liza aurata* (Risso, 1810) collected from Lower Kızılırmak Delta in Samsun, Turkey. *Helminthologia*, 50:269-280.
 - Pečínková, M., Matějusková, I., Koubková, B., Gelnar, M. 2005. Classification and occurrence of abnormally developed *Paradiplozoon homoion* (Monogenea, Diplozoinae) parasitising gudgeon *Gobio gobio*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 1: 63–68. <https://doi.org/10.3354/dao064063>
 - Pečínková, M., Vøllestad, L.A., Koubková, B., Huml, J., Jurajda, P., Gelnar, M. 2007. The relationship between developmental instability of gudgeon *Gobio gobio* and abundance or morphology of its ectoparasite *Paradiplozoon homoion* (Monogenea). *Journal of Fish Biology*, 5:1358–1370. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01599>.
 - Páez-Osuna, F., Y. Montaña-Ley y H. Bojórquez-Leyva, 1990. Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 6: 1932
 - Pike, A. W., & Wadsworth, S. L. 1999. Sealice on salmonids: their biology and control. *Advances in parasitology*, 44: 233-337.
 - Pigliucci, M. 2001. Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture. *Johns Hopkins University Press*.
 - Pritchard, D.W. 1967. What is an estuary: physical viewpoint. 3-5. En: Lauff, G.H. Ed. Estuaries. Conference on Estuaries Papers Jekyll Island., Washington: *American Association for the Advancement of Science*
 - RAMSAR, 2007. Laguna Huizache-Caimanero | Servicio de Información sobre Sitios Ramsar. RAMSAR. Recuperado 11 de enero de 2022, de <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1689>

- Raffard A, Santoul F, Cucherousset J, y Blanchet S. 2019. The community and ecosystem consequences of intraspecific diversity: a meta-analysis. *Biological Reviews*, 94: 648-661
- R Core Team, 2017. In: R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. <https://www.R-project.org/>
- Reiczigel J, Marozzi M, Fabian I, Rozsa L. 2019. Biostatistics for parasitologists — a primer to Quantitative Parasitology, *Trends in Parasitology*, 4: 277-281.
- Reyes, G. G. 2020. Genotoxicity by Paks In Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) and Its Impact on The Aquaculture of Two Coastal Ecosystems of The Gulf of California, Mexico. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2:4.
- Richard, S., Jamet, J. L., y Bogé, G. 2003. Fluctuating asymmetry in *Paracalanus sp.*(Copepoda) in bays of Toulon area (NW mediterranean sea, France). In *EGS-AGU-EUG Joint Assembly* (p. 2228)
- Roberts, 1969 (Copepoda: Poecilostomatoida: Ergasilidae), a new parasite of cichlid teleosts in southeast Mexico. *Systematic Parasitology*, 94: 81–90.
- Rodríguez-González, A., May-Tec, A., Herrera-Silveira, J., Puch-Hau, C., Quintanilla-Mena, M., Villa-fuerte, J., Velázquez-Abunader, I., Aguirre-Macedo, M., Vidal-Martínez, V. 2020. Fluctuating asymmetry of sclerotized structures of *Haliotrematoides spp.* (Monogenea: Dactylogyridae) as bioindicators of aquatic contamination. *Ecological Indicators*, 117:106548. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106548>
- Rohlf, F.J. 1999. Shape statistics: Procrustes superimpositions and tangent spaces. *Journal of Classification*. 16: 197-223
- Savage, A., y Hogarth, P. J. 1999. An analysis of temperature-induced fluctuating asymmetry in *Asellus aquaticus* (Linn.). *Hydrobiologia*, 411: 139-143.
- Sarabeev, VL, Rubtsova, N., Yang, T. y Balbuena, JA, 2013. Revisión taxonómica de las especies del Atlántico y Pacífico de *Ligophorus* (Monogenea, Dactylogyridae) a partir de salmonetes (Teleostei, Mugilidae) con la propuesta de un nuevo género y descripción de cuatro nuevas especies. *Vestnik Zoologii, vol. supl. 28, pág. 1-110* .
- Siu, E. y del Valle, I. 1986. Comparacion de condiciones hidrograficas durante 1977 y 1985, del sistema Huizache-Caimanero, Sinaloa. *Ciencias del Mar UAS*, 2:27–31.
- Skinner, R. 1975. Parasites of the striped mullet, *Mugil cephalus*, from Biscayne Bay, Florida, with descriptions of a new genus and three new species of trematodes. *Bulletin of Marine Science*, 23: 318-345.
- Sodr , E. D. O., y Bozelli, R. L. 2019. How planktonic microcrustaceans respond to environment and affect ecosystem: a functional trait perspective. *International Aquatic Research*, 3: 207-223
- Soyly, E.,  olak, S.  ., Erdođan, F., Erdođan, M., y Tektas, N. 2013. Microhabitat distribution of *Pseudodactylogyryrus anguillae* (Monogenea), *Ergasilus gibbus* and *Ergasilus lizae* (Copepoda) on the gills of european eels

- (*Anguilla anguilla*, L.) *Acta zoologica bulgarica*, 2: 251-257
- Soto, L. R. 1969. Mecanismo hidrológico del sistema de lagunas litorales Huizache-Caimanero y su influencia sobre la producción camaronera. *Universidad Autónoma de Baja California, Mexico*, 1-75.
 - Soto-Jiménez M, Páez-Osuna F 2001 Cd, Cu, Pb, and Zn in lagoonal sediments from Mazatlán harbor (SE Gulf of California): bioavailability and geochemical fractioning. *Bull Environ Contam Toxicol* 3:350–356. doi:10.1007/s00128-001-0012-3
 - Suárez-Morales, E., Mercado-Salas, N. F., y Morales-Ramírez, Á. 2011. Morphological variability and distribution of the exotic Asian Mesocyclops thermocyclopoides (Copepoda: Cyclopoida): in the Neotropical region. *Zoologia (Curitiba)*, 5: 673-679.
 - Suárez-Morales, E., & Santana-Piñeros, A. M. 2008. A new species of Ergasilus (Copepoda: Cyclopoida: Ergasilidae) from coastal fishes of the Mexican Pacific. *Folia Parasitologica*, 3: 224.
 - Santacruz, A., Morales-Serna, F. N., Leal-Cardín, M., Barluenga, M., y Pérez-Ponce de León, G. 2020. *Acusicola margulisae* n. sp. (Copepoda: Ergasilidae) from freshwater fishes in a Nicaraguan crater lake based on morphological and molecular evidence. *Systematic Parasitology*, 97:165-177
 - Simková, A., Desdevises, Y., Gelnar, M., & Morand, S. 2001. Morphometric correlates of host specificity in Dactylogyrus species (Monogenea) parasites of European Cyprinid fish. *Parasitology*, 2: 169-177.
 - Söderman, F., Van Dongen, S., Pakkasmaa, S., & Merilä, J. 2007. Environmental stress increases skeletal fluctuating asymmetry in the moor frog *Rana arvalis*. *Oecologia*, 151:593-604.
 - Trokovic, N., Herczeg, G., Ghani, N. I. A., Shikano, T., & Merilä, J. 2012. High levels of fluctuating asymmetry in isolated stickleback populations. *BMC Evolutionary Biology*, 12: 1-9.
 - Van Valen, L. 1962. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 16:125- 42.
 - Vettorazzi, R. 2016. Estudio taxonómico de la parasitofauna de *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes, 1835) de las Lagunas de Rocha y Garzón (Uruguay). Tesina. Universidad de la republica de Uruguay, Facultad de ciencias. 72 p
 - Vilisics, F., Sólymos, P., y Hornung, E. 2005. Measuring fluctuating asymmetry of the terrestrial isopod *Trachelipus rathkii* (Crustacea: Isopoda, Oniscidea). *European Journal of Soil Biology*, 3-4: 85-90.
 - Walter, TC; Boxshall, G. 2023. Base de datos del mundo de los copépodos. *Ergasilus lizae* Krøyer, 1863. Consultado en: <http://www.marinespecies.org/copepoda/aphia.php?p=taxdetails&id=128826> el 19 de enero de 2024.
 - Zelditch, M., Swiderski, D., y Sheets, H. D. 2012. Geometric morphometrics for biologists a primer. *Academic Press*

- Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., 2021. Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer (3rd Edition). *Elsevier Academic Press*, San Diego, California, USA.