

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

## TESIS

Estructura poblacional y aspectos reproductivos del casco de mula (*Larkinia grandis*) (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas, México.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD  
Y CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS  
TROPICALES**

PRESENTA

**Lic. Biol. Mar. y M.I.C. Juan Antonio Toledo  
González**



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

marzo de 2026

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y ARTES  
DE CHIAPAS**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**TESIS**

**Estructura poblacional y aspectos reproductivos del casco de mula (*Larkinia grandis*) (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas, México.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN DE  
ECOSISTEMAS TROPICALES**

PRESENTA

**Lic. Biól. Mar. y M.I.C. Juan Antonio Toledo González**

**Director**

Dr. Emilio Ismael Romero Berny  
Instituto de Ciencias Biológicas  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

**Co-Director**

Dr. Miguel Ángel Peralta Meixueiro  
Instituto de Ciencias Biológicas  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

**Asesores**

Dr. Jesús Manuel López Vila  
Departamento Conservación de la Biodiversidad  
El Colegio de la Frontera Sur

Dra. Marian Alejandra Camacho Mondragón  
Departamento de Académico de ingeniería en Pesquerías  
Universidad Autónoma de Baja California Sur





# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

## SECRETARÍA ACADÉMICA

Dirección de Investigación y Posgrado

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 25 de marzo de 2026

Oficio No. SA/DIP/0422/2026

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Juan Antonio Toledo González

CVU: 1177920

Candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Biodiversidad y

Conservación de Ecosistemas Tropicales

Instituto de Ciencias Biológicas

UNICACH

Presente

Con fundamento en la **opinión favorable** emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Estructura poblacional y aspectos reproductivos del casco de mula (*Larkinia grandis*) (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas, México** y como Director de tesis el Dr. Emilio Ismael Romero Berny (CVU: 248336) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento, así como entregar en esta Dirección una copia de la *Constancia de Entrega de Documento Recepcional* que expide el Centro Universitario de Información y Documentación (CUID) de esta Casa de estudios, en sustitución al ejemplar empastado.

ATENTAMENTE  
"POR LA CULTURA DE MI RAZA"

Dra. Dulce Karol Ramírez López  
DIRECTORA



C.c.p. Dra. Alma Gabriela Verdugo Valdez, Directora del Instituto de Ciencias Biológicas, UNICACH. Para su conocimiento.  
Dr. José Antonio De Fuentes Vicente, Coordinador del Posgrado, Instituto de Ciencias Biológicas, UNICACH. Para su conocimiento.

Archivo/minutario.

EPL/DKRL/igp/gtr



2026, Año de Margarita Maza  
Año de Jaime Sabines



Ciudad Universitaria, Libramiento Norte  
Poniente 1150, Col. Lajas Maciel  
C.P. 29039. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México  
Tel: (961) 6170440 Ext. 4360  
investigacionyposgrado@unicach.mx

## **DEDICATORIA**

**A mi madre Anita y a mi padre Joel, por enseñarme que la constancia y el amor son raíces firmes que sostienen cualquier sueño.**

**A mi hermano Luis, por su complicidad y apoyo silencioso que siempre me acompañó.**

**A Luz María, mi compañera de vida, por caminar conmigo entre dudas y certezas, y recordarme que la ciencia también se nutre de ternura.**

**A mi familia González, por ser un abrazo colectivo que me impulsa a seguir.**

**A los pescadores que compartieron su sabiduría, especialmente don Javier, porque en sus manos y palabras descubrí que el conocimiento se teje entre tradición y esperanza.**

**Y, finalmente, a mi abuelita Angelita, que aunque ya no está conmigo, sigue presente en cada pensamiento. Ella sembró en mí la semilla de la admiración y el respeto hacia la naturaleza, y este trabajo es también fruto de esa herencia que permanece viva en mi corazón.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**El presente trabajo no habría sido posible sin el respaldo de diversas instituciones y personas que contribuyeron de manera significativa en cada etapa de su desarrollo.**

**Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, al Centro de Investigaciones Costeras, y al Instituto de Ciencias Biológicas por las instalaciones y apoyo académico, a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación, por el apoyo institucional brindado.**

**A mi comité de tesis: Dr. Emilio Romero Berny, Dr. Jesús Manuel López Vila, Dra. Marian Camacho Mondragón y Dr. Miguel Ángel Peralta, por sus valiosas orientaciones, críticas constructivas y acompañamiento constante.**

**Al Instituto Politécnico Nacional, en especial al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, agradezco profundamente al Dr. Marcial Arellano Martínez, Dra. Patricia Ceballos Vázquez y Mtra. Alma Rivera, por su generosa colaboración y aportaciones académicas.**

**A mis colegas: Biol. Ervin Arias Ramón, Mtro. Pedro Luis Córdoba Argüello, Biol. Cristina Celaya, Biol. Guadalupe Vázquez Medina, Dr. Salvador, Dr. Víctor Duran, Dr. Javier Toledo, Mtro. César, Inge Víctor, Mtro. Sergio Siliceo, Mtro. Jhonatan, Ing. Miguel, Biol. Eliza, Mtra. Mireya y Mtra. Yuridia, quienes con su apoyo, consejos y compañía hicieron más enriquecedor este proceso.**

**A mi pareja, Biol. Luz María Burguete Flores, por su paciencia, comprensión y estímulo constante, te agradezco profundamente.**

**A mi familia: mi madre Anita, mi padre Joel, mi hermano Luis, mis mascotas (Dante y Nebula) y a toda la familia González, cuyo cariño y respaldo incondicional fueron fundamentales.**

**A los pescadores que colaboraron en el trabajo de campo, en especial a don Javier, por compartir su experiencia y conocimiento práctico del entorno.**

**Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de este proyecto.**

***“Un mar inmenso,  
olas que se levantan,  
y yo pequeño.”***

**Matsuo Bashō (1644–1694)**

# ÍNDICE GENERAL

I.	RESUMEN GENERAL .....	5
II.	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	7
III.	CAPÍTULO I: Abundancia estacional y relación peso-talla de <i>Larkinia grandis</i> (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) (Bivalvia: Arcidae) en la costa sureste del Pacífico mexicano .....	12
IV.	CAPÍTULO II: Desarrollo gonadal y ciclo reproductivo de <i>Larkinia grandis</i> (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) (Bivalvia: Arcidae) en una laguna costera del Pacífico sur de México .....	34
V.	CONCLUSIONES GENERALES.....	51
VI.	REFERENCIAS GENERALES .....	55

## I. RESUMEN GENERAL

*Larkinia grandis* (Broderip & G.B. Sowerby I, 1829) es un molusco bivalvo de importancia ecológica y pesquera en ecosistemas marino-costeros tropicales del Pacífico sur mexicano. La presión extractiva y la ausencia de medidas de manejo han generado preocupación sobre la sostenibilidad de sus poblaciones. En este contexto, se analizó la dinámica poblacional y reproductiva de la especie en la laguna costera Mar Muerto (Oaxaca–Chiapas, México), con el objetivo de aportar información biológica que apoye estrategias de conservación y manejo. Los muestreos se realizaron mensualmente entre mayo de 2022 y abril de 2023, registrando parámetros poblacionales, morfométricos, ambientales y reproductivos. Se evaluó la abundancia, estructura de tallas, proporción sexual, relaciones longitud–peso, índice de condición corporal de Fulton y fases de desarrollo gonádico mediante análisis histológicos. La abundancia mostró fluctuaciones significativas ( $p < 0.05$ ), con mayores densidades en la estación seca. La población estuvo compuesta principalmente por adultos y la proporción sexual global fue cercana a 1:1, aunque en tallas grandes se observaron desviaciones que sugieren posible hermafroditismo protándrico. Las relaciones entre peso húmedo y dimensiones de la concha presentaron alometría negativa, típica de bivalvos infaunales que destinan energía a la reproducción más que al crecimiento estructural. El índice de condición corporal varió significativamente, con máximos en julio, reflejando cambios energéticos asociados a la estacionalidad y al ciclo reproductivo. El análisis de componentes principales explicó el 65.2% de la varianza total, destacando pH, transparencia, profundidad y temperatura como variables más influyentes. Las correlaciones de Spearman mostraron que la abundancia y el índice de condición se relacionaron negativamente con la profundidad y la transparencia, y positivamente con el pH, lo que sugiere preferencia por zonas someras, turbias y ligeramente alcalinas. El estudio histológico identificó seis fases gonadales: inmaduro, desarrollo, maduración, desove, post-desove y reposo. El desove ocurrió principalmente entre febrero y mayo, con eventos adicionales en julio y diciembre, coincidiendo con la temporada seca. La madurez gonadal se mantuvo durante todo el año, indicando un ciclo reproductivo prolongado. La talla media de primera madurez sexual en hembras fue de 91.76 mm. Los resultados confirman que *L. grandis* presenta un ciclo reproductivo influido por la estacionalidad ambiental y una estrategia adaptativa basada en crecimiento lento y desoves prolongados. Se recomienda establecer tallas mínimas de captura y vedas estacionales como medidas de manejo orientadas a garantizar la sustentabilidad de la pesquería y la conservación de las poblaciones naturales en sistemas lagunares tropicales del Pacífico mexicano

**Palabras clave:** Bivalvia, casco de mula, ciclo gonadal, madurez sexual, índice de Fulton, variables ambientales.

## II. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los moluscos constituyen uno de los grupos más diversos de los invertebrados, presentes en prácticamente todos los ambientes marinos, dulceacuícolas y terrestres húmedos. Dentro del filo Mollusca, la clase Bivalvia agrupa organismos caracterizados por un cuerpo blando comprimido entre dos valvas calcáreas articuladas, sin cabeza diferenciada y con branquias especializadas para la respiración y alimentación mediante filtración (o bombeo de partículas suspendidas). Las acciones del pie, la masa visceral y el manto completan la anatomía típica (Ruppert y Barnes, 2004).

La diversidad de bivalvos en ecosistemas costeros del Pacífico mexicano es alta (4643 especies en ambientes marino), incluyendo múltiples especies de las familias Arcidae, Mytilidae, Ostreidae, Veneridae, entre otras, muchas de ellas explotadas por pesquerías artesanales. De manera particular en el litoral del Pacífico mexicano se han estimado 2576 especies (Castillo-Rodríguez, 2014). Debido a que los moluscos pueden ubicarse a distintos niveles tróficos, con gremios de filtradores, herbívoros y carnívoros cumplen importantes funciones en el ecosistema a través de la transferencia energética hacia los niveles tróficos superiores (Fernández y Jiménez, 2006; Capote, 2021).

Sistemáticamente, los bivalvos se agrupan en diversos órdenes y familias; entre ellas, la familia Arcidae destaca por su importancia pesquera y ecológica. Esta familia incluye géneros como *Anadara* y *Larkinia* —algunos taxones previamente asignados a *Anadara* han sido objeto de revisión y reasignación—, entre otros (WoRMS, 2025). Dentro de este grupo se encuentra *Larkinia grandis* (Broderip & G.B. Sowerby, 1829), conocida comúnmente como “concha pata de burro” o “casco de mula”, entre otros nombres locales. su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino. Animalia

Filo. Mollusca

Clase. Bivalvia

Subclase. Autobranchia

Infraclase. Pteriomorphia

Orden. Arcida

Familia. Arcidae

Género. *Larkinia*

*Larkinia grandis* (Broderip & G. B. Sowerby I, 1829)

*Larkinia grandis* es aprovechada en comunidades costeras del Pacífico como recurso pesquero artesanal. Aunque no siempre aparece separada en los registros oficiales de la Carta Nacional Pesquera de México (2025-2), sí figura entre los moluscos de la familia Arcidae en distintas regiones. En informes regionales, especies como *L. grandis* y *Anadara tuberculosa* tienen importancia comercial, particularmente en los estados costeros principalmente en el Golfo de California (Zamora-García et al., 2023).

En Perú, por ejemplo, se han implementado regulaciones para su manejo: se ha fijado una talla mínima de captura de 60 mm de longitud valvar para *L. grandis*, y se establecen vedas extractivas durante períodos reproductivos (Robles et al., 2025). Pero en México, de acuerdo a la Carta Nacional Pesquera (2025-2), *L. grandis* se captura sin talla mínima oficial ni modalidad de veda específica. Esto plantea riesgos de sobreexplotación si no se considera su biología reproductiva (Vázquez-Lara et al., 2025).

El valor económico es local, ya que, en zonas rurales costeras, su venta constituye un ingreso adicional importante para pescadores artesanales. Como recurso alimenticio, *L. grandis* aporta proteínas y minerales, siendo consumida fresca, en mercados locales y en autoconsumo como parte de dietas tradicionales (Sotelo-González et al., 2020). En Chiapas, su consumo fresco se asocia a su venta local por parte de vendedores ambulantes en palapas y restaurantes de las principales playas de la entidad.

*Larkinia grandis* se distribuye desde Baja California (o noroeste de México) hacia el sur hasta Perú (Fisher et al., 1995; Aji y Widyastuti, 2019) y habita principalmente en zonas costeras del Pacífico, asociada a manglares, bancos de arena, sustratos blandos con presencia de materia orgánica y pastos marinos.

A pesar de que la caracterización del proceso reproductivo es importante para establecer políticas públicas de manejo pesquero sustentable, la mayoría de los moluscos de importancia comercial incluido los árcidos carecen de estos tipos de estudios en la mayoría de las zonas en donde se explotan (Baqueiro-Cárdenas y Aldana-Aranda, 2003). Los bivalvos en general, presentan ciclos reproductivos que se adaptan a condiciones ambientales: temperatura, salinidad, disponibilidad de alimento, fotoperiodo, etc. Pueden tener reproducción continua, estacional o con pulsos de desove. Las fases gonádicas suelen dividirse en reposo, desarrollo, madurez, desove/emisión de gametos, y post-desove o recuperación (Martínez-Guzmán, 2008).

En el caso de *L. grandis*, especie de importancia pesquera en el Pacífico mexicano, se han identificado cinco fases gonádicas claras: desarrollo, madurez, desove, post-desove y reposo. El estudio realizado en el Golfo de California reveló que los machos presentan gametogénesis asincrónica, mientras que las hembras muestran gametogénesis sincrónica, con desoves en lotes. Además, se observó la presencia de células marrones durante la fase post-desove, lo que sugiere un proceso activo de reabsorción de restos celulares, que se reutilizan para nuevos ciclos reproductivos (Sotelo-González et al., 2021).

*Larkinia grandis*, exhibe una morfología robusta con valvas desiguales: la izquierda suele ser más convexa y la derecha más aplanada, además de presentar un ligamento largo auxiliar, típico del grupo (Tito et al., 2022). En poblaciones del sureste del Golfo de California, se ha documentado una amplia variación en el tamaño de las conchas (SL), con longitudes que oscilan entre 44.57 mm y 142.00 mm, alturas (SH) de 31.15 mm a 85.50 mm, y anchos (SW) de 32.03 mm a 76.56 mm, lo que indica una dominancia de ejemplares adultos y permite comprender mejor el crecimiento de esta especie. Las relaciones alométricas entre las dimensiones de la concha y el peso corporal (BW) han demostrado ser útiles para estimar biomasa y potencial de cosecha; en particular, la relación entre BW y SW mostró un ajuste fuerte ( $R^2 \approx 0.934$ ), lo que sugiere que el ancho de la concha es un buen predictor del peso corporal en individuos

adultos. Además, *L. grandis* presenta adaptaciones morfológicas notables: sus conchas calcáreas ofrecen protección frente a condiciones ambientales variables, y su forma y grosor pueden modificarse según la exposición al oleaje, la sedimentación o la presencia de manglares, lo que refleja una plasticidad ecológica relevante para su supervivencia y aprovechamiento (Sotelo-González et al., 2020).

A pesar de ser un organismo de importancia pesquera, el bivalvo *L. grandis* aún presenta una limitada presencia en la investigación científica. A nivel nacional, destacan los estudios realizados en Costa Rica por Cruz (1986, 1987a, 1987b), quienes abordaron aspectos como la relación peso-carne, características poblacionales, ciclos reproductivos, tamaño y madurez. En la misma región, Vega et al. (1994) evaluaron la estructura poblacional y el rendimiento de la especie. En Colombia, Riascos et al. (2004) se enfocaron en su morfología y biología; mientras que, en El Salvador, Pérez-García (2007) estudió la madurez gonádica durante la temporada de lluvias. En Perú, Tito et al. (2022) analizaron el ciclo reproductivo tanto a nivel macroscópico como microscópico. Más recientemente, Robles et al. (2025) desarrollaron un estudio innovador sobre larvicultura y reproducción inducida en sistemas controlados, con miras a un aprovechamiento sustentable de la especie.

En México, los únicos trabajos sobre *L. grandis* han sido realizados por Sotelo-González et al. (2019, 2020, 2021), quienes han abordado desde sus adaptaciones fisiológicas y su relevancia cultural, hasta la relación peso-concha y el ciclo reproductivo en el Golfo de California. No obstante, a pesar de estos esfuerzos por conservar y comprender este recurso pesquero, persiste un vacío de información específica sobre la especie en el Pacífico Mexicano. Aunque en Chiapas es un recurso aprovechado por pesquerías artesanales locales, los aspectos sobre su biología son prácticamente desconocidos.

Ante esta carencia informativa en la entidad, la presente tesis se propuso contribuir al conocimiento científico de *L. grandis* en esta región mediante el análisis de sus características reproductivas, morfológicas y ecológicas, con el fin de generar

información útil para su manejo sustentable y su integración en estrategias de conservación regional. Por lo tanto, se planteó como objetivo general analizar la dinámica poblacional y reproductiva de *L. grandis* en el sistema lagunar costero de Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, mediante la evaluación de su abundancia temporal, estructura de tallas, proporción sexual, relaciones morfométricas, índice de condición corporal e indicadores reproductivos. Para su cumplimiento, se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Evaluar la variación temporal de la abundancia y la estructura de tallas de *L. grandis* durante un ciclo anual.
- 2.- Caracterizar las relaciones longitud–peso, el índice de condición corporal de Fulton, el tipo de crecimiento y el estado corporal de los organismos.
- 3.- Analizar la relación entre las variables fisicoquímicas del agua y la abundancia e índice de condición corporal de la especie.
4. Analizar las fases de desarrollo gonádico, la talla de primera madurez y el ciclo reproductivo anual de *L. grandis*.

Para alcanzar los objetivos planteados, la tesis se organizó en dos capítulos principales, además de la introducción y conclusiones generales:

I. Capítulo I. Abundancia estacional y relación peso-talla de *Larkinia grandis* (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) (Bivalvia: Arcidae) en la costa sureste del Pacífico mexicano: Se estimó la abundancia mensual de *L. grandis* y su correlación con cinco variables fisicoquímicas del agua, así como la estructura de tallas, proporción sexual, relaciones morfométricas y factor de condición corporal de los organismos en el sistema lagunar Mar Muerto.

II. Capítulo II. Desarrollo gonadal y ciclo reproductivo de *Larkinia grandis* (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) (Bivalvia: Arcidae) en una laguna costera del Pacífico sur de México: Se caracterizó el desarrollo gonadal de *L. grandis*, estableciendo la talla de primera madurez y se describió el ciclo reproductivo anual para *L. grandis* en el sistema lagunar Mar Muerto.

### III. CAPÍTULO I

#### Abundancia estacional y relación peso-talla de *Larkinia grandis* (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) (Bivalvia: Arcidae) en la costa sureste del Pacífico mexicano

Juan A. Toledo-González<sup>1\*</sup>(<https://orcid.org/0000-0003-0230-5847> ),

Emilio I. Romero-Berny<sup>1</sup>(<https://orcid.org/0000-0001-9138-5193>),

Miguel A. Peralta-Meixueiro<sup>2</sup>(<https://orcid.org/0000-0002-2100-7821>),

Marian A. Camacho-Mondragón<sup>3</sup>(<https://orcid.org/%200000-0002-3340-0444>),

Jesús M. López-Vila<sup>4</sup>(<https://orcid.org/0000-0001-9256-0221>),

Luz M. Burguete-Flores<sup>1</sup>(<https://orcid.org/0009-0002-2217-6632> )

1. Laboratorio Interdisciplinario de Ecología Costera, Centro de Investigaciones Costeras, Universidad Autónoma de Ciencias de Artes de Chiapas, Calle Juan José Calzada Y Av. Prolongación, 30500 Tonalá, Chiapas; [b.m.jtoledo@gmail.com](mailto:b.m.jtoledo@gmail.com)(Correspondencia\*), [emilio.romero@unicach.mx](mailto:emilio.romero@unicach.mx), [pluzsky@gmail.com](mailto:pluzsky@gmail.com)
2. Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Ciencias y Artes de Chiapas, Norte Poniente 1000 S/N, 29018 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; [miguel.peralta@unicach.mx](mailto:miguel.peralta@unicach.mx)
3. Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur KM 5.5., C.P. 23080 La Paz, Baja California Sur, México; [hyma06@htomail.com](mailto:hyma06@htomail.com)
4. Departamento Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur, Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, C.P. 29290 San Cristóbal de las Casas. Chiapas, México; [jesus.lopez@ecosur.mx](mailto:jesus.lopez@ecosur.mx)

#### RESUMEN

Se analizó la dinámica poblacional y reproductiva de *Larkinia grandis* (Broderip & G.B. Sowerby I, 1829) en la laguna Mar Muerto, Chiapas, México, con el objetivo de evaluar su variación temporal, estructura de tallas, proporción sexual por tallas, relaciones morfométricas, índice de condición corporal y su relación con variables ambientales.

Los muestreos se realizaron mensualmente de mayo de 2022 a abril de 2023. La densidad y estructura poblacional mostraron fluctuaciones significativas a lo largo del año ( $p < 0.05$ ), con mayores abundancias durante la estación seca. La proporción sexual fue significativamente asimétrica en tallas de 110–114 mm, sugiriendo un posible hermafroditismo protándrico. Las relaciones morfométricas entre peso y dimensiones de la concha evidenciaron un crecimiento alométrico negativo, típico de bivalvos infaunales. El índice de condición de Fulton varió significativamente entre meses ( $p < 0.05$ ), con valores máximos en julio. El análisis de componentes principales (PCA) explicó el 65.2% de la varianza total con los dos primeros ejes (PC1 y PC2), destacando al pH, transparencia, profundidad y temperatura como las variables más influyentes. Las correlaciones de Spearman mostraron que la abundancia y la condición corporal se asocian negativamente con la profundidad y la transparencia, y positivamente con el pH. Estos resultados evidencian la influencia de factores ambientales sobre la ecología poblacional de *L. grandis* y aportan información clave para su manejo y conservación en sistemas lagunares tropicales del Pacífico mexicano.

**Palabras clave:**

Chiapas, Dinámica poblacional, índice de Fulton, relaciones morfométricas, variables ambientales, Variación temporal, Bivalvia

**ABSTRACT**

The population and reproductive dynamics of *Larkinia grandis* (Broderip & G.B. Sowerby I, 1829) were analyzed in the Mar Muerto Lagoon, Chiapas, Mexico, to assess temporal variation, size structure, sex ratio, morphometric relationships, body condition index, and their relationship with environmental variables. Monthly sampling was conducted from May 2022 to April 2023. Density and population structure showed significant fluctuations throughout the year ( $p < 0.05$ ), with higher abundances during the dry season. The sex ratio was significantly asymmetric at 110–114 mm shell length, suggesting possible protandric hermaphroditism. Morphometric relationships between body weight and shell dimensions revealed negative allometric growth, characteristic of infaunal bivalves. Fulton's condition index varied significantly among months ( $p <$

0.05), peaking in July. The principal component analysis (PCA) explained 65.2% of the total variance with the first two axes (PC1 and PC2), identifying pH, transparency, depth, and temperature as the most influential variables. Spearman correlations indicated that abundance and condition were negatively related to depth and transparency, and positively to pH. These findings highlight the strong environmental modulation of *L. grandis* population ecology and provide valuable baseline information for the sustainable management and conservation of this commercially important species in tropical coastal lagoons of the Mexican Pacific.

**Key words:** Chiapas, population dynamics, Fulton's index, morphometric relationships, environmental variables, temporal variation.

## INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras tropicales representan un ecosistema prioritario por los bienes y servicios que proporcionan, principalmente a pesquerías artesanales de peces, crustáceos y moluscos, al proveer sitios de crianza, alimentación y crecimiento para especies de interés comercial (Pérez-Ruzafa y Marcos, 2012). En el Pacífico sur de México, en los estados de Chiapas y Oaxaca, se ha reportado el aprovechamiento de 31 especies de bivalvos que resultan de interés pesquero, tanto con fines comerciales como para autoconsumo, entre los que destacan los de la familia Arcidae (Ríos-Jara et al., 2008).

En la costa del Pacífico Oriental Tropical, desde México hasta Perú, se han reportado unas nueve especies de ácidos de interés pesquero, de las cuales *Anadara tuberculosa* y *Larkinia grandis*, se encuentran en ambientes intermareales y aguas sublitorales someras, habitando bancos de arena y fondos fangosos, generalmente cercanos a manglares (Fischer et al., 1995). *Larkinia grandis*, es uno de los ácidos de mayor tamaño, ampliamente aprovechados a lo largo de su área de distribución (Riascos et al., 2004). En México, la principal producción pesquera de este bivalvo ocurre en el sur del Golfo de California, de acuerdo a volúmenes reportados por grupos locales de pescadores; sin embargo, estos registros suelen estar subestimados y no

son específicos para *L. grandis*, al incluir a otros árcidos capturados (p. ej. *A. tuberculosa* y *Larkinia multicostata*) (Sotelo-González et al., 2020).

En general, se considera que la explotación de *L. grandis* han aumentado en el Pacífico mexicano, alcanzando niveles que superan el aprovechamiento máximo sustentable, sin que se hayan establecido mecanismos regulatorios para su captura (DOF, 2023). Se conoce que los sistemas de pesca no regulada o escasas restricciones, pueden afectar los patrones de abundancia y la estructura de tallas, los cuales pueden reflejar condiciones de sobreexplotación (Vega et al., 2021).

La distribución y abundancia de los árcidos en lagunas costeras, está influida por variables hidrológicas con una marcada fluctuación estacional, como la salinidad, cuyo aumento o disminución puede condicionar su mortalidad o densidad (Silva & Bonilla, 2001; Mendoza et al., 2017). Por otro lado, las relaciones entre las dimensiones de la concha y el peso corporal permiten modelar aspectos del desarrollo y crecimiento (Cruz, 1986; Sotelo-González et al., 2020). En México, es notable la falta de estudios referentes a los aspectos básicos sobre biología y ecología de *L. grandis* en muchas de las regiones en donde se aprovecha; existen pocos estudios realizados en el sur del Golfo de California, sobre relaciones biométricas (Sotelo-González et al., 2021), madurez gonádica (Sotelo-González et al., 2020), distribución, densidad y biomasa (Zamora-García et al., 2023).

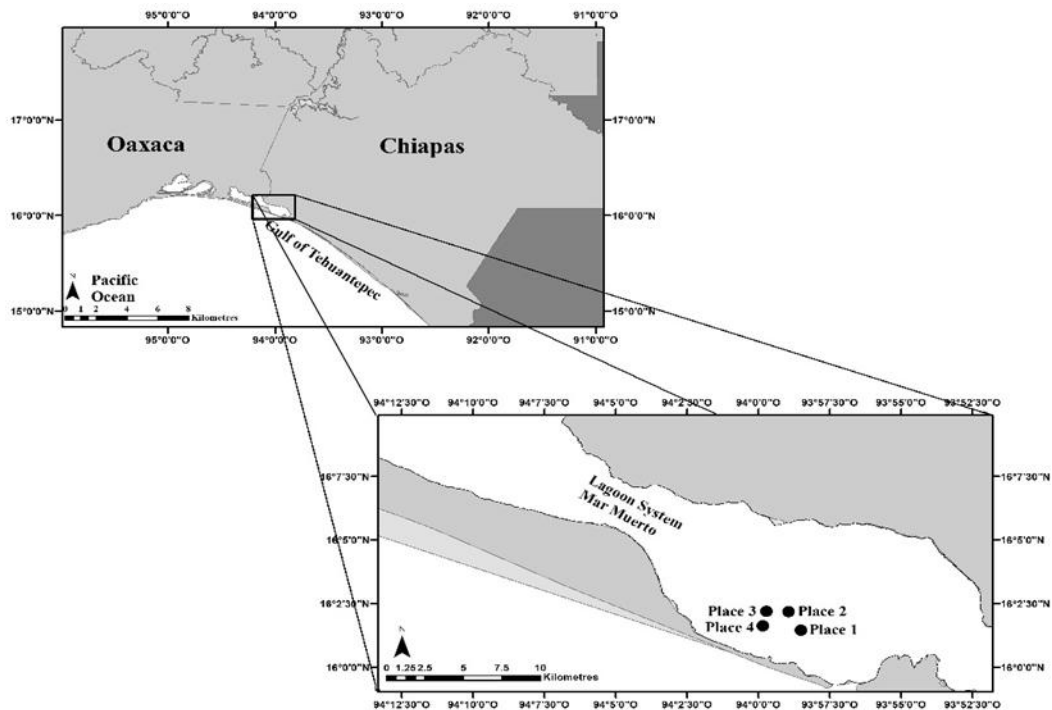
Considerando el desconocimiento acerca de aspectos ecológicos de *L. grandis* en el Pacífico sur de México, este estudio tuvo como objetivo analizar la variación temporal y su relación con algunas variables hidrológicas durante un ciclo anual, así como sus relaciones morfométricas en la laguna Mar Muerto, en la costa de Chiapas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Área de estudio.** El estudio se llevó a cabo en el sistema lagunar Mar Muerto (SLMM; 15° 58' y 16° 17' N, 93° 50' y 94° 25'O) ubicado en el Golfo de Tehuantepec, entre de los estados de Oaxaca y Chiapas, México. Este sistema lagunar tiene una longitud de 60 km y un ancho máximo de 12 km. Se conecta con el Océano Pacífico a través de la boca de Tonalá, situada al sureste del sistema, la cual permanece abierta de manera

permanente y tiene un ancho de 1.3 km, creando un subsistema con condiciones marinas. En general, la laguna es muy somera, con el 49.5% de su superficie presentando profundidades menores a 1 m y solo el 2.3% alcanzando más de 5 m (Tapia-García et al., 2011). Este sistema experimenta un tipo de marea mixta semidiurna (Tovilla-Hernández y Vázquez-Lule, 2009) el clima de la región es cálido-subhúmedo con lluvias en verano (mayo-octubre), 1095 mm de precipitación anual y temperatura promedio de 28.5 °C (García, 2004).

**Trabajo de campo.** La medición de parámetros ambientales y la recolección de organismos se realizaron en sitios de captura artesanal de moluscos en el SLMM. Se establecieron 4 sitios de muestreo circulares (Sitio 1: 16°01.460 N; 93° 58.510 O, Sitio 2: 16°02.190 N; 93°58.944 O, Sitio 3: 16°02.202 N; 93° 59.725 O, Sitio 4: 16° 01.627 N; 93° 59.849 O), cada uno con un diámetro de 10 m y dividido en dos unidades de muestreo (n=8). Durante las salidas de campo, se midieron las siguientes variables ambientales en cada sitio: temperatura del agua (°C), pH y salinidad (ppm), utilizando un multiparámetro HANNA. Además, se registraron medidas de profundidad (cm) y transparencia (cm) con la ayuda de un disco de Secchi (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de los 4 sitios de captura de *L. grandis* dentro del sistema lagunar Mar muerto, Chiapas, México

**Recolecta y preparación de muestras.** Para evaluar la abundancia numérica, se contabilizaron todos los organismos de *L. grandis* dentro de los sitios de muestreo, una vez al mes desde mayo de 2022 hasta abril de 2023. Después del conteo, se recolectaron un máximo de 15 ejemplares por mes, considerando un número de muestra promedio utilizados en estudios biométricos de bivalvos (Morales, 2015; Markaide et al., 2026). En los meses en los que se obtuvo un número menor a 15, se recolectaron todos los organismos encontrados. Estos fueron colocados en un contenedor para su transporte al Laboratorio Interdisciplinario de Ecología Costera, donde fueron procesados. Se utilizó un malacómetro manual tipo L para medir la longitud, altura y anchura de la concha (cm). El peso total, peso de la concha y el peso húmedo (g) se determinaron con una balanza digital de precisión de 0.01 g. Posteriormente, los organismos sin concha fueron fijados en formalina al 10%. Se realizó un corte longitudinal del tejido gonadal, seguido de un lavado con agua

destilada para eliminar el exceso del fijador, y finalmente, los tejidos fueron colocados en alcohol al 70% para su deshidratación, para determinar el sexo de los ejemplares (Sotelo-González et al., 2021).

### **Análisis estadísticos.**

**Estructura poblacional y abundancia.** Se aplicó una prueba de chi cuadrada ( $X^2$ ) para determinar posibles diferencias en la proporción de hembras y machos por categoría de talla (5mm). Para detectar posibles diferencias en la abundancia de organismos entre los meses muestreados, se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis, al no cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se aplicó la prueba de Dunn como análisis post hoc para identificar entre qué pares de meses se presentaron diferencias significativas (Sokal y Rohlf, 2012).

**Relaciones morfométricas.** se evaluaron las relaciones entre las dimensiones de la concha y el peso de *L. grandis* ( $n = 198$ ) mediante la regresión potencial  $W = aL^b$ , donde **W** representa el peso total (PT), o peso de la concha (PC) o peso húmedo de la carne (PH); **L** corresponde a la longitud total (LT), o la altura (A) o el grosor (G) en milímetros; **a** es la intersección; **b** es la pendiente. Cuando **b=3** en relaciones con unidades de medida diferentes, se indica un crecimiento isométrico entre el peso y las dimensiones de la concha. Las relaciones morfométricas entre las variables se estimaron ajustando una función lineal a los datos mediante el método de mínimos cuadrados, utilizando la fórmula  $\text{Log} Y = \text{Log} a + b \text{Log} X$  (Ricker, 1973). Aquí, **Log Y** y **Log X** representan el logaritmo de PT, PC o PH y el logaritmo de LT, A o G, respectivamente; **a** es la intersección (coeficiente de crecimiento inicial); **b** es la pendiente (tasa de crecimiento relativo de las variables). El grado de asociación entre las variables se determinó mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), y se calcularon los límites de confianza de **b** y el nivel de correlación (**r**). Para evaluar si el valor de **b** obtenido en la regresión lineal se desviaba significativamente del valor isométrico (**b=1**) o presentaba alometría (negativa si **b<1**, positiva si **b>1**), se aplicó una prueba **t de Student** ( $H_0: b=1$ ) con un nivel de confianza del 95%. La prueba se

calculó mediante la ecuación  $t = (b - 1) / Sb$ , donde  $t$  es el valor de la prueba,  $b$  es la pendiente y  $Sb$  es el error estándar de la pendiente (Vasconcelos et al., 2018). Finalmente, se realizaron análisis de regresión para examinar las relaciones morfométricas entre las variables LT-G, LT-A, LT-PT, LT-PC, G-A, G-PT, G-PC, A-PT, A-PC, PT-PC, PH-LT, PH-G, PH-A, PH-PT y PH-PC utilizando datos transformados logarítmicamente.

Para evaluar la relación entre la longitud del organismo y su peso, se empleó el **índice de condición de Fulton (K)**. Este índice refleja variaciones que pueden ser grandes o pequeñas, progresivas o cíclicas, y está directamente asociado con el crecimiento y la madurez sexual del organismo (Rodríguez-Gutiérrez, 1992). Posteriormente se hizo una comparación de medias del índice de Fulton entre meses (Kruskal-Wallis) y una prueba de post-hoc de Tukey para observar diferencias significativas. El índice se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$K = \frac{Ps}{L^3} \times 10^6$$

Donde:

- **K**: Índice de condición de Fulton.
- **Ps**: Peso húmedo sin concha (en gramos).
- **L**: Longitud del organismo (en milímetros).

**VARIABLES AMBIENTALES VS CONDICIÓN VS ABUNDANCIA.** Para ordenar los meses muestreados en función de las variables ambientales se utilizó un análisis de componentes principales (PCA), posterior a la normalización de los datos. Posteriormente se calcularon coeficientes de relación de Spearman para estimar la fortaleza de las relaciones individuales entre la abundancia y el índice de condición con la salinidad, temperatura, pH, profundidad y transparencia. Todos los análisis se realizaron siguiendo rutinas en los programas PAST 4.16 y PRIMER v6 (Hammer, Harper y Ryan, 2001; Anderson y Clark, 2008).

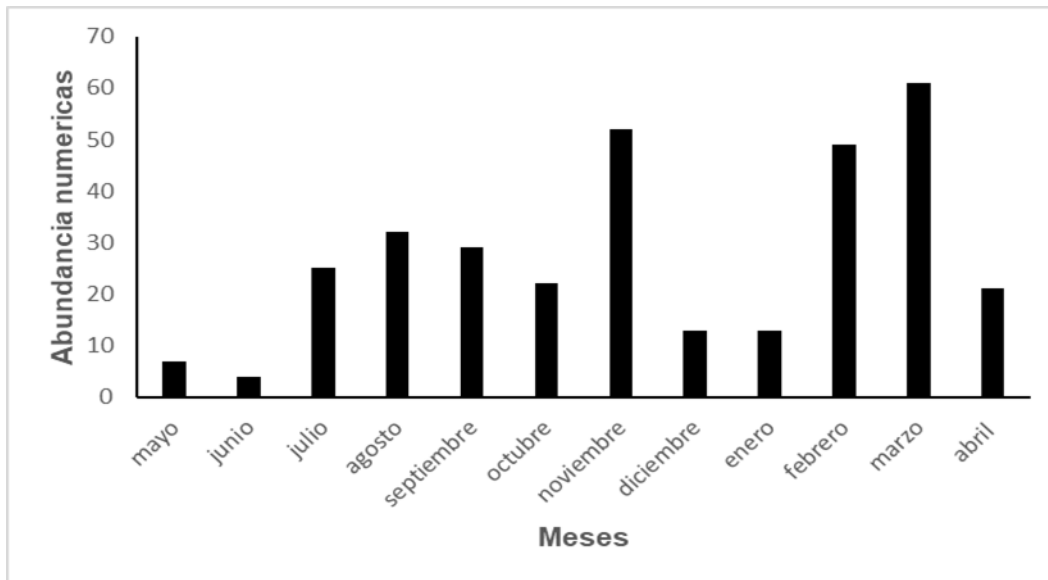
## RESULTADOS

**Estructura poblacional y abundancia.** De un total de 189 organismos de *L. grandis*, se obtuvieron diferencias significativas entre el número de hembras y machos en la categoría de talla de 110-114 mm, presentando una proporción sexual de 1H:14M ( $X^2 = 11.26$ ,  $p < 0.05$ ) (Tabla 1). Las abundancias numéricas entre meses mostraron diferencias significativas ( $X^2 = 19.96$ ,  $p < 0.05$ ) (Figura 2). Los pares de meses con diferencias significativas según la prueba de Dunn fueron: mayo-noviembre, mayo-febrero, mayo-marzo, junio-julio junio-noviembre, junio-febrero, junio-marzo, septiembre-noviembre, noviembre-diciembre y noviembre-enero ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 1.** Proporción de sexos por tallas (longitud total) en el Sistema lagunar Mar Muerto, Chiapas. Valores significativos  $p \geq 0.05$ .

Tallas	Hembras	Machos	Proporción sexual	$X^2$	$p$
42-46	3	1	3:1	1	0.32
46-50	1	0	0	1	0.32
50-54	0	0	0	0	0
54-58	1	0	0	1	0.32
58-62	0	1	0	1	0.32
62-66	1	5	1:5	2.67	0.10
66-70	3	3	1:1	0	1
70-74	6	0	0	6	0.01
74-78	3	1	3:1	1	0.32
78-82	1	1	1:1	0	1
82-86	2	2	1:1	0	1
86-90	3	1	3:1	1	0.32
90-94	3	5	3:5	0.5	0.48
94-98	4	4	1:1	0	1
98-102	3	3	1:1	0	1
102-106	9	6	1.5:1	0.6	0.44
106-110	6	4	1.5:1	0.4	0.53
110-114	1	14	1:14	11.26	0.04*
114-118	3	10	3:10	3.76	0.05
118-122	1	1	1:1	0	1
122-126	1	2	1:2	0.33	0.56

126-130	0	0	0	0	0
130-134	1	0	0	1	0.32



**Figura 2.** Abundancia numérica por mes de *L. grandis* en el sistema lagunar Mar Muerto.

**Relaciones morfométricas.** De los ejemplares analizados, las dimensiones presentaron los siguientes intervalos: Longitud Total (LT) de 3.40 a 13.20 cm, Grosor(G) de 2.3 a 9.3 cm y Altura (A) de 3.1 a 9.9 cm. En cuanto al peso, los valores oscilaron entre 18 y 783.4 g para el Peso Total (PT) y entre 2.6 y 100.93 g para el Peso Carne (PC) (Tabla 2). Las relaciones entre PT-LT, G y A, mostraron alometría negativa, mientras que las relaciones entre peso Carne (Ph) y PC presentaron alometría positiva. Las interacciones más fuertes se observaron en: LT-PT ( $r^2 = 0.983$ ,  $b = -0.30953$ , alometría negativa), PH-LT ( $r^2 = 0.9729$ ,  $b = 0.98765$ , alometría positiva) y LT-A ( $r^2 = 0.9728$ ,  $b = -0.1247$ , alometría negativa). Las pruebas de t de Student revelaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en todas las relaciones entre el peso y las dimensiones de la concha de *L. grandis*. Todas las relaciones fueron lineales, con coeficientes de determinación ( $r^2$ ) superiores a 0.872. Del total de variables analizadas, predominaron las relaciones positivas (8) sobre las negativas (7) (Tabla 3). Los valores del índice de condición de Fulton mostraron variaciones significativas entre meses ( $p < 0.05$ ), con el valor más alto registrado en julio (0.06114) y el más bajo en junio

(0.00038). Los análisis de comparaciones pareadas revelaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los siguientes pares de meses: diciembre-mayo, enero-septiembre, enero-octubre, diciembre-mayo, enero-diciembre, abril-diciembre y enero-febrero (Figura 3).

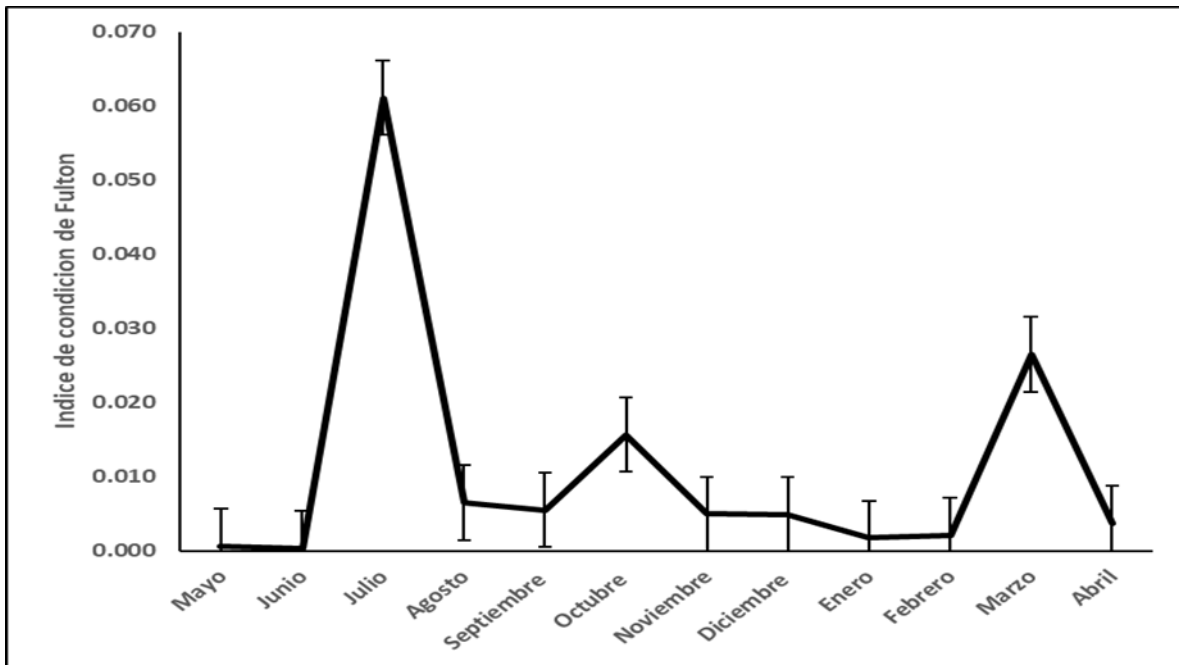
**Tabla 2.** Valores promedio descriptivos de las morfometrias de *L. grandis* por mes en el sistema lagunar Mar Muerto (2022-2023).

Parametro	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
	2022					2023						
<b>Longitud Total (cm)</b>	71.50	41.90	180.90	176.22	103.80	161.60	178.40	159.70	126.50	165.30	172.50	197.5
Media	10.21	10.48	9.05	8.81	7.98	8.08	8.92	7.26	10.54	8.27	8.63	9.88
Desviación estandar	0.93	0.70	2.41	2.30	2.58	2.03	2.40	2.15	1.50	2.40	1.86	2.03
Mínimo	8.90	9.90	4.50	4.30	4.20	6	4.40	4.40	6.50	3.40	5	5
Máximo	11.40	11.50	11.80	12.60	12	12.30	12.30	11.40	11.80	12.40	11	13.20
<b>Grosor (cm)</b>	51.30	31	127.40	127.30	75.50	116.40	128.90	117.10	92.50	118.80	126	142.70
Media	7.33	7.75	6.37	6.37	5.81	5.82	6.45	5.32	7.71	5.94	6.30	7.14
Desviación estandar	0.93	0.79	1.71	1.72	1.84	1.32	1.71	1.58	0.98	1.73	1.48	1.29
Mínimo	6.20	7.10	2.70	3.10	3.10	4.40	3	3.60	5.20	2.30	3.30	3.38
Máximo	8.90	8.90	8.60	9.30	8.30	8.30	8.50	8	8.90	8.10	8.90	9
<b>Altura (cm)</b>	57.10	57.10	146.10	141.80	84.60	131.10	140.30	131.10	100.30	134	140.30	157.1
Media	8.16	8.03	7.31	7.09	6.51	6.56	7.02	5.96	8.36	6.70	7.02	7.86
Desviación estándar	0.81	0.60	1.84	1.67	2.02	1.38	1.73	1.53	0.99	1.68	1.31	1.33
Mínimo	7	8.90	3.70	3.80	3.60	5	3.60	4	5.70	3.10	4.20	4.4
Máximo	9.30	7.60	9.50	9.90	9.90	9.20	9.50	8.50	9.50	9	9	9.70
<b>Peso Total (g)</b>	3114.78	1744.23	6702.38	6423.98	3607.60	4729.80	6762.20	3863	6133.40	5556.20	5769.40	8200.6
Media	444.97	436.23	335.12	321.20	277.51	236.49	338.11	175.59	511.12	277.81	288.47	410.03

Desviación estándar	132.05	95.10	194.11	205.08	225.35	171.90	204.58	144.01	156.05	188.18	159.28	199.31
Mínimo	270.01	378.61	37.25	32.59	36.20	85.60	31.40	39.80	131.80	18	47.60	55.40
Máximo	607.77	577.28	603.83	675	666.20	621.20	663.80	466.40	718.20	613	538.80	783.4
<b>Peso Húmedo (g)</b>	440.15	228.80	890.07	844.10	423.10	676	855.80	506.60	819.60	718.20	792.20	956.6
Media	62.88	57.20	44.50	42.21	32.55	33.80	42.79	23.03	68.30	35.91	39.61	47.83
Desviación estándar	20.97	10.42	25.59	26.04	26.32	23.97	24.92	17.19	20.54	22.48	21.09	21.73
Mínimo	40.94	50.78	5.66	9.11	4.60	11.20	5.40	5.80	19	2.60	7.20	7.6
Máximo	93.24	72.78	83.29	100.93	75.80	85.80	85.80	67.80	91.20	9.20	85.40	83.8
<b>Peso Concha</b>	2439.71	1273.54	5062.85	4818.77	2665.40	3642.00	4954.60	3269.00	4652.60	4212.80	4302.40	6412.40
Media	348.53	318.39	253.14	240.94	205.03	182.10	247.73	148.59	387.72	210.64	215.12	320.62
Desviación estándar	130.48	61.61	151.65	170.89	166.20	133.02	150.03	124.56	120.65	143.26	120.20	151.17
Mínimo	197.74	275.87	27.01	4.16	27.60	67.80	22.60	31.00	100.80	13.60	35.20	42.60
Máximo	582.31	407.86	536.77	588.11	488.40	482.40	482.80	403.00	565.40	91.20	412.80	597.00

**Tabla 3.** Relaciones de las características morfométricas de *L. grandis* en el sistema lagunar Mar Muerto. LT (longitud total de la concha), G (grosor de la concha), A (altura de la concha), PT (peso total), PC (peso de la concha), PH (Peso húmedo de la carne).

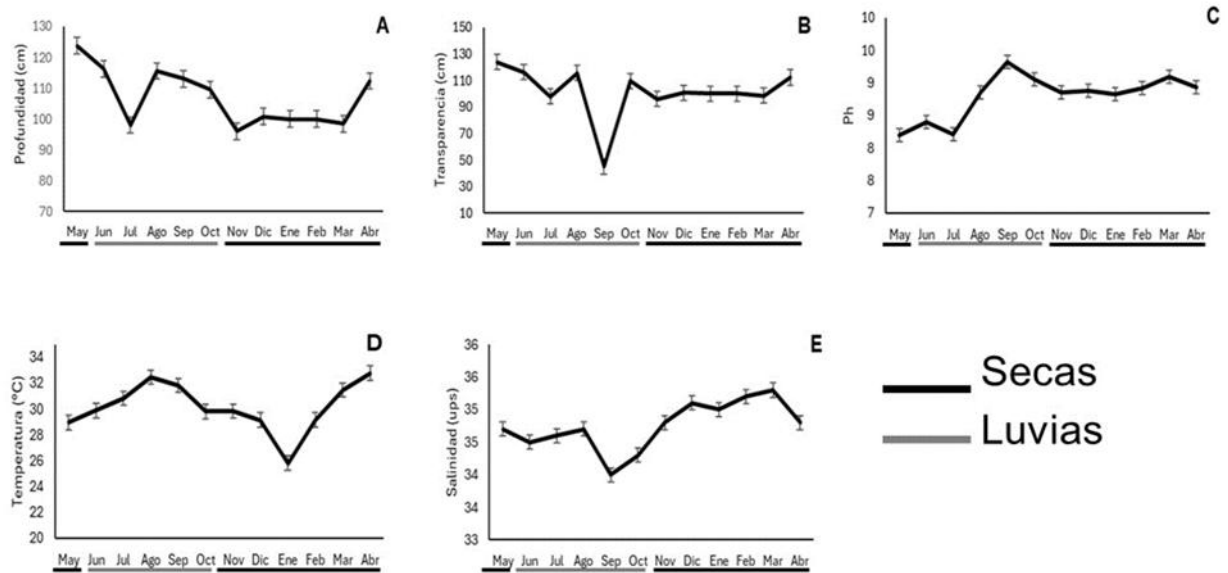
RELACIÓN	Ecuación	r <sup>2</sup>	b±e.e. (CI 95%)	Prueba t-Student	Tipo de crecimiento
LT-G	LogLT=0.98258-0.1247LogG	0.9615	-0.1247±0.013131(-0.1528, -0.09725)	69.929***	-Alométrico
LT-A	LogLT=0.87857+0.021211LogA	0.9728	0.021211±0.0098032(0.0001044, 0.04091)	83.754***	+Alométrico
LT-PT	Log LT=2.9021-0.30953LogPT	0.983	-0.30953±0.025 (-0.356, -0.258)	106.94***	-Alométrico
LT-PC	LogLT=2.989-0.51448LogPC	0.9509	-0.51448±0.04532 (-0.6387, -0.3377)	61.636***	-Alométrico
G-A	LogG=0.87231+0.14986LogA	0.963	0.14986±0.0097144 (0.1274, 0.1724)	71.409***	+Alométrico
G-PT	LogG=0.64886-0.16433LogPT	0.8807	-0.16433±0.013568(-0.2085, -0.09528)	38.031***	-Alométrico
G-PC	LogG=2.9876-0.092403LogPC	0.954	- 0.092403±0.037273(0.02081,0.06444)	63.741***	-Alométrico
A-PT	LogA=0.72819-0.26274LogPT	0.8764	-0.26274±0.016449 (-0.3135, -0.1811)	37.287***	-Alométrico
A-PC	LogA=3.3563-0.54845LogPC	0.9514	-0.54845±0.04564 (-0.6706, 0.3668)	61.941***	-Alométrico
PT-PC	LogPT=4.3442+0.754LogPC	0.9643	0.754±0.021245 (0.5935, 0.9309)	72.784***	+Alométrico
PH-LT	LogPH=0.3574+0.38765LogLT	0.97299	0.38765±0.0093565(0.3717, 0.4031)	59.005***	+Alométrico
PH-G	LogPH=0.35443+0.2513LogG	0.96288	0.2513±0.010963(0.2323, 0.2713)	49.941***	+Alométrico
PH-A	LogPH=0.31693+0.35739LogA	0.9686	0.35739±0.0089759(0.3427, 0.3714)	54.542***	+Alométrico
PH-PT	LogPH=0.22201+0.010723LogPT	0.87232	0.010723±0.01373(-0.008213, 0.03016)	24.978***	+Alométrico
PH-PC	LogPH=1.0525+0.66793LogPC	0.93482	0.66793±0.044115(0.6163, 0.729)	36.854***	+Alométrico



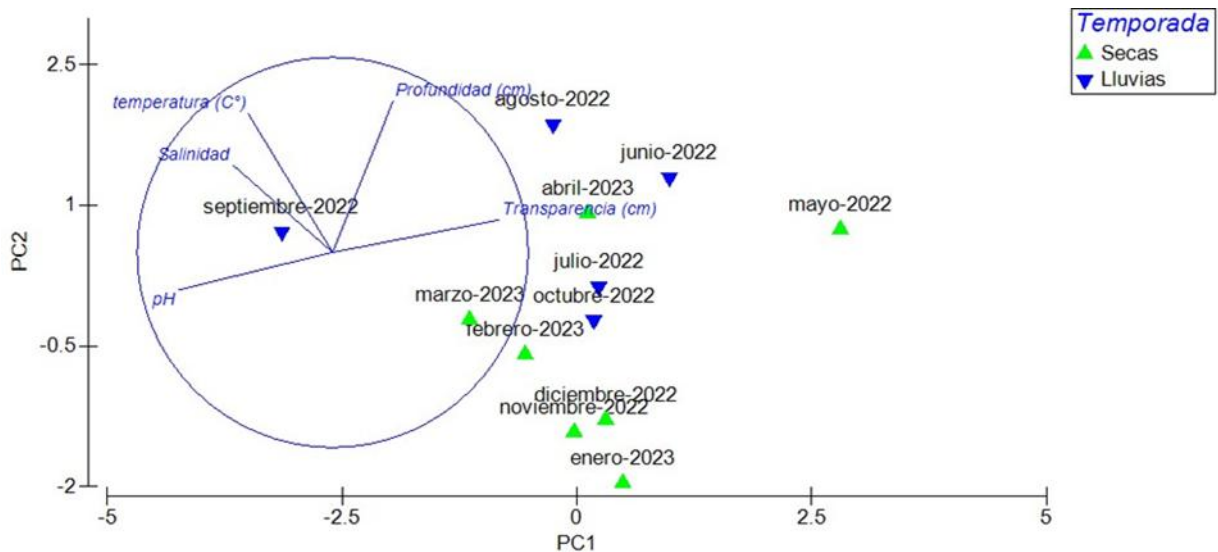
**Figura 3.** Variación mensual de las medias del factor de condición de *L. grandis* en el sistema lagunar Mar Muerto.

**Variables ambientales vs condición vs abundancia.** De acuerdo con los parámetros físico-químicos evaluados, la mayor profundidad y transparencia se registraron en mayo, con un valor promedio de  $123.75 \pm 36.70$  cm. El pH más alto se observó en marzo ( $9.09 \pm 0.08$ ), mientras que la temperatura máxima se registró en abril ( $32.76 \pm 0.64$  °C). Por último, la salinidad alcanzó su valor más alto en marzo ( $35.30 \pm 0.32$  UPS) (Figura 4). El Análisis de Componentes Principales (PCA) reveló dos agrupaciones, aunque no con marcada estacionalidad. Se observó cierto gradiente en la ordenación de meses, ya que la mayoría de la temporada seca se ubicó en una posición opuesta a los de lluvias. El primer grupo estuvo conformado por julio-2022, octubre-2022, diciembre-2022, enero-2023, marzo-2023, noviembre-2023 y diciembre-2023, mientras que el segundo grupo incluyó junio-2022, agosto-2022 y abril-2023. Los meses de mayo-2022 y septiembre-2022 quedaron aislados, mostrando una influencia de las variables transparencia (carga de -0.620 en el eje PC1) y pH (carga de 0.575 en el eje PC1), así como de la profundidad (carga de 0.662, en el eje PC2). Las variables profundidad y temperatura fueron las principales explicadoras del eje PC2,

mientras que el eje PC1 estuvo determinado por el Ph y la transparencia. El PCA explicó un 65.2% de la varianza total, con contribuciones del 37.8% para el eje PC1 y 27.3% para el eje PC2 (Figura 5).

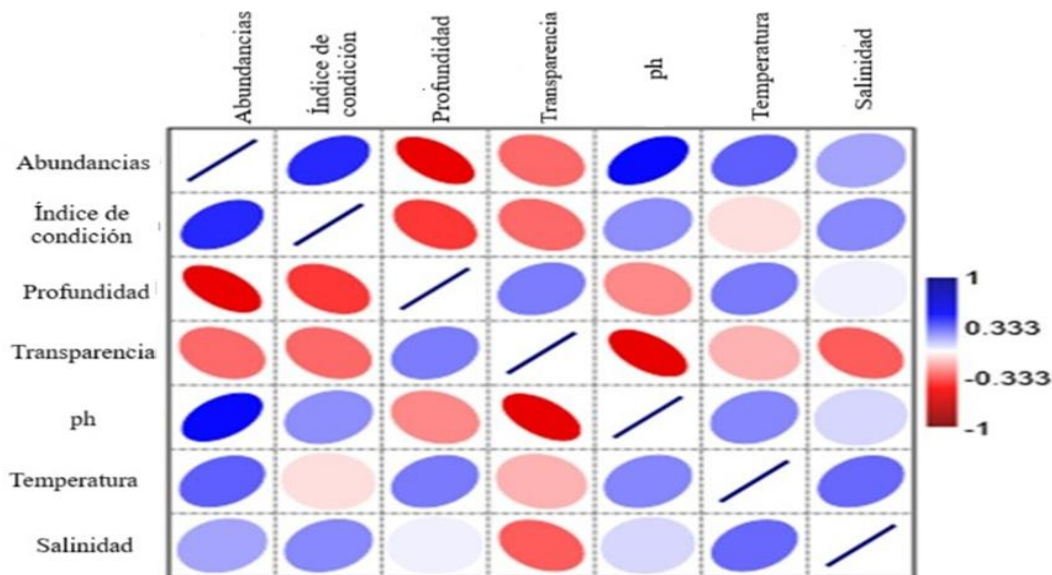


**Figura 4.** Media y error estándar de los parámetros físico-químicos del agua en el área de muestreo en el Sistema lagunar Mar Muerto, Chiapas. A) Profundidad, B) Transparencia, C) pH, D) Temperatura y E) Salinidad.



**Figura 5.** Análisis de componentes principales (PCA) ordenando variables ambientales por temporada en el sistema lagunar Mar Muerto.

Los coeficientes de correlación de Spearman revelaron relaciones significativas ( $p < 0.05$ ) entre la abundancia de *L. grandis* y las variables ambientales analizadas. Se observó una correlación negativa con la profundidad (-0.59825) y la transparencia (-0.64035), mientras que con el pH (0.50788) mostró una correlación positiva. En cuanto al índice de condición, este presentó asociaciones significativas ( $p < 0.05$ ) con la profundidad (-0.51489) y la transparencia (-0.65499), mostrando en ambos casos una correlación negativa (Figura 6).



**Figura 6.** Mapa de calor de correlación (Spearman) entre las abundancias, índice de condición y las variables ambientales de *Larkinia grandis* en el sistema lagunar Mar Muerto.

## DISCUSIÓN

A diferencia de *A. tuberculosa*, ampliamente estudiada, *L. grandis* cuenta con menos reportes sobre su densidad y dinámica temporal en sistemas estuarinos. En general, *A. tuberculosa* alcanza densidades superiores a *A. similis* y *L. grandis*, las principales especies de ácidos explotadas en el Pacífico oriental. En la laguna Mar Muerto, la densidad de *L. grandis* fue menor a la registrada en Altata-Ensenada del Pabellón, Golfo de California (Zamora-García et al., 2023). Esta diferencia coincide con lo señalado por Mackenzie (2001), quien relaciono la densidad de ácidos con la

composición del sedimento: máximas en fondos fangosos limoso-arcillosos y mínimas en sustratos arenosos o con grava (Silva-Benavides & Bonilla, 2015).

Además del sustrato, la abundancia de árcidos se ve influenciada por la cobertura de manglar, la calidad del agua, eventos climáticos y la temporalidad (Vega, 1994; Silva & Bonilla, 2001; Guilbert, 2007; Ordinola et al., 2019). En el estudio, *L. grandis* presentó variaciones significativas entre meses ( $p < 0.05$ ), con picos en noviembre, febrero y marzo (Figura 2), un patrón semejante al observado en otros bivalvos lagunares de Chiapas (Toledo-González et al., 2024). Factores como temperatura y salinidad parecen determinantes; de hecho, Mendoza et al., (2017) demostraron que *Anadara* spp. presenta baja mortalidad entre 15 y 33 UPS (Unidades Prácticas de Salinidad), intervalo congruente con los valores que favorecieron mayores abundancias en Mar Muerto. En esta última, las mayores temperaturas y salinidades se observaron durante la estación seca, coincidiendo con los meses de marzo y abril. En este periodo, la abundancia de *L. grandis* alcanzó uno de sus máximos en marzo, pero descendió abruptamente en abril, lo que podría relacionarse con el estrés térmico. La sensibilidad de los bivalvos a la reducción de salinidad durante lluvias intensas o eventos hidrometeorológicos extremos, como El Niño, ha sido documentada por Ordinola et al. (2020), quienes asociaron estos descensos con mortalidad masiva de organismos, incluso en áreas con sustratos idóneos. Esta vulnerabilidad se explica por una disminución en la capacidad de filtración bajo condiciones de salinidad reducida (Mendoza et al., 2017). Por otro lado, el efecto de la sobreexplotación sin un manejo adecuado en varias regiones del Pacífico oriental se ha reflejado en cambios en la estructura de tallas y disminución en la densidad media (Mora & Moreno, 2003; Félix-Pico et al., 2009; Silva-Benavides & Bonilla, 2015; Vega et al., 2021). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de monitorear no solo las condiciones ambientales, sino también la presión pesquera, para garantizar la sostenibilidad de las poblaciones.

En *L. grandis*, la proporción sexual mostró una asimetría significativa en tallas de 110–114 mm ( $X^2 = 11.26$ ,  $p = 0.04$ ), con una relación hembras: machos de 1:14. Este patrón sugiere un posible hermafroditismo potándrico, ya descrito en otros Arcidos como *A. tuberculosa*, *A. antiquata*, *A. granosa* y *A. similis* (Pérez-Medina, 2005; Afati, 2007;

Lucero-Rincón et al., 2013; Manjarres-Villamil et al., 2013; Panta-Vélez et al., 2020; Lucero-Rincón et al., 2021). Aunque no se observaron individuos hermafroditas, existen reportes previos en *L. grandis* (Aguirre-Rubí, 2017). Estos antecedentes sugieren que los cambios sexuales asociados al tamaño podrían estar más extendidos en la familia, lo que requiere confirmación mediante estudios histológicos.

Las relaciones morfométricas de *L. grandis* en Mar Muerto mostraron un patrón de crecimiento alométrico negativo, principalmente entre peso carne (PC) y dimensiones de la concha (LT, G, A). La prueba t de Student ( $H_0: b = 1$ ) confirmó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), con alometría negativa cuando  $b < 1$  y positiva cuando  $b > 1$ , lo que permitió distinguir entre relaciones estructurales y funcionales. Este patrón coincide con lo descrito por Gaspar et al. (2001) para bivalvos infaunales que, al permanecer enterrados, invierten menos energía en crecimiento estructural y más en funciones fisiológicas y reproductivas.

En Mar Muerto, la pendiente PH–G (2.3021) fue menor a la reportada por Cruz (1986) para la misma especie y a la estimada en *Anadara demiri* ( $b = 3.188$ ; Morello et al., 2004). En el Golfo de California, Sotelo-González et al. (2020) hallaron valores de 2.60–2.62 en PT–PH y A–PT, también con alometría negativa, aunque frente a  $b=3$ . A pesar de diferencias metodológicas y de estructura poblacional, ambos estudios coinciden en que PH–PV es la relación más sólida ( $r^2 > 0.93$ ), lo que convierte al grosor en un predictor confiable de biomasa útil para el monitoreo pesquero. La predominancia de relaciones negativas entre dimensiones y positivas entre peso y altura o grosor reflejan una morfología adaptada al ambiente lagunar y una posible inversión energética hacia la reproducción. Esto subraya la importancia de estudios regionales y de largo plazo que integren la ontogenia y la variabilidad ambiental en estrategias de conservación.

El PCA mostró una dinámica ambiental compleja en Mar Muerto, con dos agrupamientos de meses y sin una estacionalidad marcada. Sin embargo, el traslape existente puede deberse a cierta homogeneidad ambiental debido a la constante entrada de agua marina por la cercanía de la bocabarra. A pesar de lo anterior se evidenció un gradiente entre la estación seca y la de lluvias, destacando como

variables más influyentes el pH, la transparencia, la profundidad y la temperatura; mayo y septiembre representaron condiciones transicionales. Estos resultados coinciden con lo señalado por Tapia-García et al. (2011) y Romero-Berny et al., (2020) quienes también describen la influencia de dichos factores físico-químicos en la variabilidad ambiental del sistema, aportando evidencia de que la dinámica observada responde a patrones previamente documentados.

Las correlaciones de Spearman indicaron que *L. grandis* se concentra en ambientes someros, turbios y con pH ligeramente alcalino. Esto coincide con lo descrito para otros ácidos como *A. tuberculosa*, asociados a planicies lodosas de manglar (MacKenzie, 2001; Stern-Pirlot & Wolff, 2006). La turbidez favorece la disponibilidad de detrito orgánico, recurso explotado por ácidos filtradores; en *A. granosa* se ha documentado incluso la digestión de celulosa de manglar (Yurimoto et al., 2016). La correlación positiva con pH concuerda con estudios que muestran deterioro en la calcificación y fisiología de *A. granosa* bajo valores <7.8, mientras que condiciones neutro-alcalinas mantienen mejor desempeño (Nithiyaa et al., 2021). En *A. tuberculosa*, valores ácidos reducen la filtración (Wong et al., 1997).

El índice de condición también mostró correlaciones negativas con profundidad y transparencia, lo que indica que los individuos alcanzan mejor estado corporal en aguas someras y turbias, probablemente por mayor disponibilidad de alimento. Resultados similares se han reportado en *A. tuberculosa*, con variaciones significativas entre temporadas (Panta-Vélez et al., 2020). Que estas variables afecten tanto la abundancia como la condición sugiere que constituyen factores ambientales limitantes clave para la especie en Mar Muerto.

Los resultados de este estudio refuerzan la idea de que las especies bentónicas infaunales, como *L. grandis*, dependen fuertemente de la interacción entre factores ambientales y biológicos. De manera general, variables como la profundidad, la transparencia y el pH condicionan la distribución, abundancia y estado fisiológico de la población, mientras que la composición del sustrato y la presencia de manglares definen los microhábitats disponibles. En consecuencia, alteraciones del hábitat por

dragados, eutrofización o eventos extremos podrían modificar la estructura poblacional, reduciendo densidad y condición corporal.

El conocimiento generado aquí constituye una base ecológica sólida para orientar programas de conservación y manejo pesquero en la laguna Mar Muerto y otros sistemas estuarinos tropicales. La integración de análisis morfométricos, parámetros de condición y relaciones con variables ambientales resulta esencial para establecer estrategias de aprovechamiento sustentable y asegurar la persistencia de esta especie de importancia económica y ecológica en el Pacífico sur mexicano.

## REFERENCIAS

Autor, A., Markaide, P., Arranz, K., Prieto, D. & Navarro, E. 2025. The implication of size scaling of physiological rates on growth allometry of bivalve mollusks: a comparative study in mixed populations of two congeneric clam species. *Hydrobiologia*, 853: 121–143.

Afiati, N. 2007. Hermaphroditism in *Anadara granosa* (L.) and *Anadara antiquata* (L.) (Bivalvia: Arcidae) from Central Java. *Journal of Coastal Development*, 10(3): 171–179.

Aguirre-Rubi, J.R. 2017. Contribution to the development of biomonitoring programme for the assessment of chemical pollution and ecosystem health disturbance in mangrove-lined Caribbean coastal systems using bivalves as biomonitors and sentinels. Doctoral Thesis, Universidad del País Vasco, Plentzia.

Anderson, M.J., Gorley, R.N. & Clarke, K.R. 2008. *PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-E Ltd., Plymouth, UK.

Cruz, R.A. 1986. Caracteres generales, edad y crecimiento de *Anadara grandis* (Pelecypoda: Arcidae). *Uniciencia*, 3(1): 25–29.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2023. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización a la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, 21 de julio 2023.

Dunn, O.J. 1964. Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, 6(3): 241–252.

Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K.E. & Niem, V.H. 1995. *Guía para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico Centro-Oriental, Vol. I, Plantas e invertebrados*. FAO, Roma.

García, E. (2004) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Ciudad de México: Instituto de Geografía-UNAM.

Guilbert, E. 2007. Distribución y abundancia de *Anadara tuberculosa* en manglares del Pacífico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 55(3): 845–856.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9 pp.

Lucero-Rincón, C.H., Cantera, J.R., Gil-Agudelo, D.L., Muñoz, O., Zapata, L.A., Cortes, N., Gualteros, W.O. & Manjarres, A. 2013. Dinámica poblacional de bivalvos en manglares del Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(2): 321–334.

Lucero-Rincón, C.H., Cantera, J.R. & Gil-Agudelo, D.L. 2021. Hermafroditismo en los bivalvos *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* Sowerby 1883 (Arcidae) en los manglares del Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(1): 163–170.

Manjarrés-Villamil, A.E., Lucero-Rincón, C.H., Gualteros, W.O., Cantera-Kintz, J.R. & Gil-Agudelo, D.L. 2013. Abundancia y madurez sexual de *Anadara similis* en el manglar de Luisico, Bahía Málaga, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 42(2): 215–231.

Mendoza, O., Pretell, K., Diringer, B., Avellan, R., Zapata, Z., Marchan, A., Cedeño, V., Peralta, T., Ordinola, A. & Mialhe, E. 2017. Respuesta fisiológica y molecular de *Anadara tuberculosa* (Arcoida: Arcidae) al estrés de salinidad. *Revista de Biología Tropical*, 65(3): 1142–1151.

Morales Bohórquez, J. G. 2014. Extracción de *Anadara grandis* (Broderip & Sowerby, 1829) en el Estero Ayalán del Recinto Puerto El Morro de la provincia del Guayas. Tesis de Biología Marina, Universidad Estatal Península de Santa Elena, 92 pp.

Ordinola, E., Alemán, S., Montero, P., Robles, J. & Guevara, M. 2019. Distribución y abundancia de *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* en los manglares de Tumbes, Perú. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 49(2): 214–233.

Panta-Vélez, R.P., Bermúdez-Medranda, A., Mero, P., Arrieche, D. & Acosta-Balbas, V. 2020. Reproductive cycle of *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) (Bivalvia: Arcidae) in mangrove system of the Chone River estuary, Ecuador. *Advances in Environmental Biology*, 14(2): 1–11.

Pérez-Medina, R. 2005. Biología reproductiva de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en el Estero de Santo Domingo, B.C.S. Master's Thesis, CICIMAR, Instituto Politécnico Nacional, Baja California Sur. [<http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14383>]. Revisado: 14 de julio de 2025.

Pérez-Ruzafa, A. & Marcos, C. 2012. Fisheries in coastal lagoons: An assumed but poorly researched aspect of the ecology and functioning of coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 110: 15–31.

Riascos, V.J.M., Pérez, A.M. & Navarrete, A.M. 2004. Observaciones sobre la biología reproductiva de la "Sangara", *Anadara grandis* (Bivalvia Arcidae). *Boletín Científico Museo de Historia Natural Universidad de Caldas*, 8: 37–45.

Ricker, W.E. 1973. Linear regressions in fishery research. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30(3): 409–434.

Ríos-Jara, E., Navarro-Caravantes, C.M., Sarmiento Nafate, S., Galván-Villa, C.M. & López-Uriarte, E. 2008. Bivalvos y gasterópodos (Mollusca) de importancia comercial y potencial de las costas de Chiapas y Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, 12(35): 3–20.

Rodríguez-Gutiérrez, M. 1992. *Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces*. A.G.T. Editor, México.

Silva, A. & Bonilla, R. 2001. Abundancia y morfometría de *Anadara tuberculosa* y *A. similis* (Mollusca: Bivalvia) en el manglar de Purruja, Golfo Dulce Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(2): 315–320.

Silva-Benavides, A.M. & Bonilla-Carrión, R. 2015. Estructura de la población y distribución de *Anadara tuberculosa* Sowerby (1833) (Mollusca: Bivalvia) en los manglares de Golfito y Playa Blanca de Puerto Jiménez, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(2): 361–372.

Sokal, R.R. & Rohlf, J. 2012. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. W.H. Freeman and Company, New York.

Sotelo-González, M.I., García-Ulloa, M., Gongora-Gómez, A.M., Salcido-Guevara, L.A., Arzola-González, J.F., Sepúlveda, C.H. & Sánchez-Cárdenas, R. 2021. Gonadal development and sexuality of *Larkinia grandis* (Arcida: Arcidae) inhabiting southeastern Gulf of California. *Zoologia*, 38: e56529.

Sotelo-González, M.I., Sepúlveda, C.H., Sánchez-Cárdenas, R., Salcido-Guevara, L.A., García-Ulloa, M., Góngora-Gómez, A.M. & Hernández-Sepúlveda, M.A. 2020. Shell dimension–weight relationships in the blood cockle *Larkinia grandis* (Bivalvia: Arcidae) on the southeastern coast of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 46(3): 185–192.

Tapia-García, M., García-Abad, M.C., Penagos-García, F.E., Moreno-Ruiz, J.L., Juárez-Hernández, L.G., Ramírez-Gutiérrez, J.M. & Herrera-Olayo, D. 2011. Subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Lacandonia*, 5(5): 97–112.

Tovilla-Hernández, C. & Vázquez-Lule, A.D. 2009. Caracterización del sitio de manglar Mar Muerto. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO, México D.F., pp. 45–60.

Toledo-González, J.A., Romero-Berny, E.I., López-Vila, J.M. & Cancino-Hernández, D. 2024. Composición y distribución espacio-temporal de macroinvertebrados marinos en

la bocabarra del sistema lagunar Boca del Cielo, Chiapas, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 12(1): 45–62

Vasconcelos, P., Moura, P., Pereira, F., Pereira, A.M. & Gaspar, M.B. 2018. Morphometric relationships and relative growth of 20 uncommon bivalve species from the Algarve coast (southern Portugal). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(3): 463–474.

Vázquez-Lara, A.M., Paredes-Trujillo, A. & Mendoza-Carranza, M. 2026. Bivalvos de las costas del Pacífico oriental: importancia pesquera, vacíos de información y estudio de caso de las pesquerías *Larkinia grandis* en Chiapas, México. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 8(14): 1–15.

Vega, A.J. 1994. Estructura de población, rendimiento y épocas reproductivas de *Anadara* spp. (Bivalvia: Arcidae) en la Reserva Forestal Térraba-Sierpe, Puntarenas, Costa Rica, con recomendaciones para su manejo. Master's Thesis, Universidad de Costa Rica, San José.

Vega, A.J., Robles, Y.A., Alvarado, O. & Cedeño Mitre, C. 2021. Estructura de tallas, distribución y abundancia de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en dos sistemas de manglar del Pacífico de Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 69(2): 422–433. DOI: 10.15517/rbt.v69i2.43934.

Zamora-García, O.G., Ramírez-Félix, E.A., Stavrinaky-Suárez, A., Rosales-Rodríguez de la Cruz, M., Carrillo-Colin, L.D., Ortega-Lizárraga, G.G. & Chávez-Herrera, D. 2023. Distribución, densidad y biomasa de especies de moluscos bivalvos de importancia comercial en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México. *SIRBAA*, EDF-México, 11

## IV. CAPÍTULO II

**Desarrollo gonadal y ciclo reproductivo de *Larkinia grandis* (Broderip & G.P. Sowerby I, 1829) (Bivalvia: Arciadae) en una laguna costera del Pacífico sur de México**

**Gonadal development and reproductive cycle of *Larkinia grandis* (Bivalvia: Arciidae) in a coastal lagoon of the southern Pacific of México**

Juan A. Toledo-González <sup>a, b</sup>, Emilio I. Romero-Bermy <sup>b</sup>, Miguel A. Peralta-Meixueiro <sup>c</sup>, Marian A. Camacho-Mondragón <sup>d</sup>, Jesús M. López-Vila <sup>e</sup> y Luz M. Burguete-Flores <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Programa de Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; <sup>b</sup>Centro de Investigaciones Costeras, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tonalá, Chiapas, México; <sup>c</sup>Centro de Investigaciones en Biodiversidad Tropical, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; <sup>d</sup>Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México. <sup>e</sup>Departamento Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas. Chiapas, México.

### **Resumen**

Se describieron las fases de desarrollo gonádico y el ciclo reproductivo de *Larkinia grandis* (Broderip & G.B. Sowerby I, 1829) en la laguna costera Mar Muerto, Chiapas, México, con el fin de aportar información biológica para su manejo y conservación. Los organismos se recolectaron mensualmente de mayo de 2022 a abril de 2023 y se analizaron mediante técnicas histológicas convencionales. Se identificaron cinco fases gonadales: desarrollo, maduración, desove, post-desove y reposo; además, se obtuvieron organismos inmaduros, lo que evidencia la presencia de individuos en distintos estados reproductivos dentro de la población de *L. grandis*. La población presentó una proporción sexual global de 1.1 hembras por macho, sin diferencias

significativas respecto a la proporción 1:1 ( $\chi^2$ ,  $p > 0.05$ ). La fase de desove se observó principalmente entre febrero y mayo, además de julio y diciembre, coincidiendo con la temporada seca. La madurez gonadal se mantuvo durante todo el año, lo que sugiere un ciclo reproductivo prolongado con periodos de máxima actividad durante la época seca. La talla media de primera madurez sexual en hembras fue de 91.76 mm de longitud ( $r^2 = 0.99$ ). Los resultados indican que *L. grandis* posee un ciclo reproductivo no continuo, influenciado por la estacionalidad ambiental, y que requiere medidas locales de manejo, como el establecimiento de vedas locales y tallas mínimas de captura, para asegurar la sustentabilidad del recurso.

**Palabras clave:** Chiapas, ciclo gonadal, madurez sexual, proporción sexual, talla de primera madurez, Mar Muerto.

### **Abstract**

The gonadal development stages and reproductive cycle of *Larkinia grandis* (Broderip & G.B. Sowerby I, 1829) were described in the Mar Muerto coastal lagoon, Chiapas, Mexico, to provide biological information for management and conservation purposes. Monthly samples were collected from May 2022 to April 2023 and analyzed using standard histological techniques. Six gonadal phases were identified: immature, developing, maturing, spawning, post-spawning, and resting. The overall sex ratio was 1.1 females per male, showing no significant deviation from a 1:1 proportion ( $\chi^2$ ,  $p > 0.05$ ). Spawning occurred mainly from February to May, and in July and December, coinciding with the dry season. Gonadal maturity persisted year-round, suggesting a prolonged reproductive cycle with peak activity during dry months. The mean size at first sexual maturity in females was 91.76 mm shell length ( $r^2 = 0.99$ ). These findings indicate that *L. grandis* exhibits a non-continuous reproductive cycle influenced by environmental seasonality, highlighting the need for local management measures—such as size limits and closed seasons—to promote sustainable exploitation of this economically important bivalve.

**Key words:** Chiapas, gonadal cycle, sexual maturity, sex ratio, size at first maturity. Mar Muerto.

## Introducción

*Larkinia grandis* (Broderip y G.B. Sowerby I 1829), es un molusco bivalvo perteneciente a la familia Arcidae, dentro del phylum Mollusca y la clase Bivalvia. Esta especie se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico, desde la Laguna Ballena en Baja California, México, hasta Sechura, Perú (Alamo y Valdivieso 1997; Keen 1971; Coan y Valentich-Scott 2012). Comúnmente conocida como “concha pata de burro”, “berberecho de manglar”, “pianguas”, “sangara”, y en las costas de Chiapas como “Casco de mula”, *L. grandis* es una almeja que habita principalmente en zonas de manglares, particularmente en áreas dominadas por *Rhizophora mangle*, donde se encuentra sumergida en el fango. Sin embargo, también se ha reportado en aguas poco profundas, especialmente en bancos de arena (Keen 1971; Fisher et al. 1995; Tito et al., 2022).

Hasta la fecha, se han realizado pocos estudios sobre *L. grandis*. Uno de los primeros se llevó a cabo en Costa Rica, donde se evaluó la relación entre el peso y la carne, así como aspectos poblacionales, el ciclo reproductivo, el tamaño y la madurez sexual de la especie (Cruz 1986, Cruz 1987a;1987b). Estos estudios determinaron que *L. grandis* alcanza la madurez y desova por primera vez cuando mide entre 21 y 24 mm de longitud. En Colombia, se han realizado investigaciones centradas principalmente en la morfología y biología de este organismo (Riascos et al. 2004). En el Salvador, se ha estudiado la madurez gonádica durante la temporada de lluvias, identificando los diferentes estadios de madurez sexual en los meses muestreados (Pérez-García 2007). En México, la información sobre *L. grandis* es casi inexistente, sin embargo, el interés en esta especie ha crecido, en parte debido a sus sorprendentes adaptaciones fisiológicas y su importancia cultural (Sotelo-González et al 2019). Como resultado, se han realizado dos estudios recientes: unos sobre la relación peso-concha (Sotelo-González et al. 2020) y otro sobre su ciclo reproductivo (Sotelo-Gonzalez et al. 2021), destacando en este último que *L. grandis* desova en lotes a lo largo de un ciclo anual. El estudio más reciente, realizado por Tito et al. (2022), concluyen que tanto la fase virginal como la de reposo de *L. grandis* son diferenciables macroscópicamente a través de la ausencia o presencia de hendiduras en la parte externa del cuerpo.

Además, se señala que *L. grandis* es un desovador asincrónico, ya que se pueden encontrar gametos en diferentes estados de desarrollo en un mismo individuo.

De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera de México 2023, *L. grandis*, se captura junto con otros Arcídeos, tales como: *Anadara tuberculosa* y *Larkinia multicosata* (G.B. Sowerby I 1833). Sin embargo, al no considerarse adecuadamente las características biológicas de estas especies, no existe una veda específica que prevenga su sobreexplotación. Además, el interés en estos productos marinos ha crecido en los últimos años, impulsado por actividades como la artesanía y el consumo humano (Sotelo-González et al. 2021). Otro de los problemas es la falta de una talla mínima establecida para la extracción de estas especies, lo que puede deberse a la escasa información disponible sobre estos organismos. Para una gestión pesquera efectiva en México, es necesario realizar evaluaciones por localidad, considerando la dinámica de las poblaciones y sus ciclos reproductivos, lo que permitirá determinar volúmenes de captura, tallas mínimas y periodos de explotación. No obstante, en la práctica, esto resulta un desafío debido a la gran diversidad de especies y hábitats en el país (Baquero-Cárdenas y Aldana-Aranda 2003; Lucero-Rincón et al 2013).

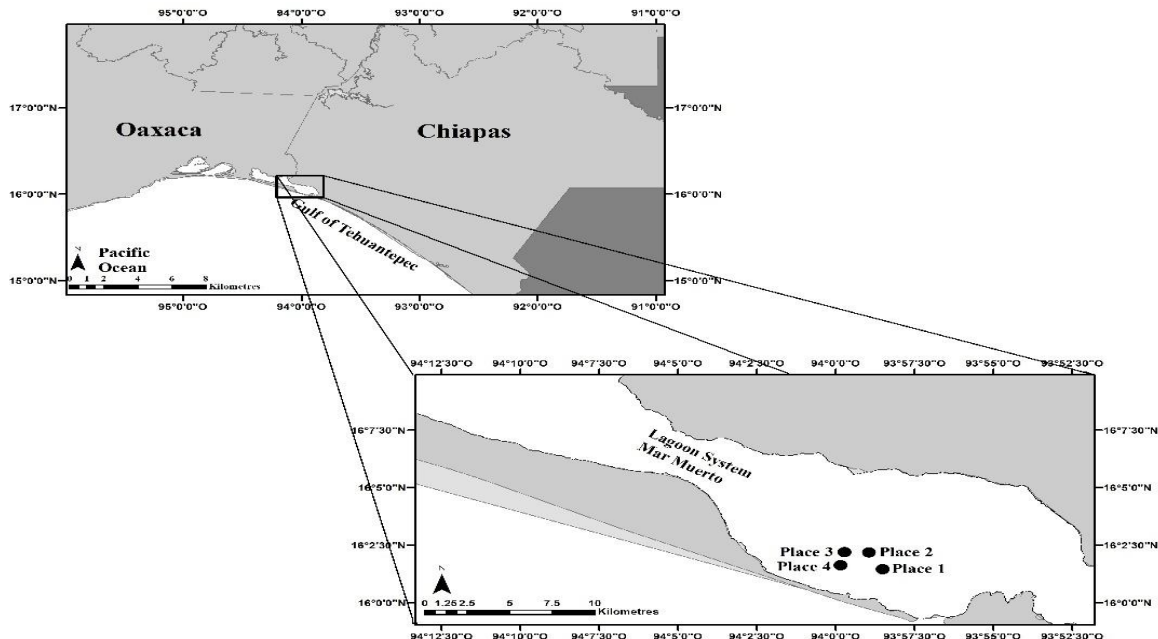
Los ciclos reproductivos de las especies marinas son un aspecto fundamental para la comprensión de su ecología y para la implementación de medidas manejo y conservación (Karray et al. 2015; Bricelj et al. 2017). *Larkinia grandis*, es un molusco de relevancia en el Pacífico sur de México, por lo que en el presente estudio se este trabajo tiene como objeto de estudio analizar las fases de desarrollo gonádico, la talla de primera madurez y el ciclo reproductivo anual de *L. grandis* en una laguna costera del Pacífico sur de México.

## **Materiales y métodos**

**Área de estudio.** El sistema Lagunar Mar Muerto (SLMM; 15° 58' y 16° 17' N, 93° 50' y 94° 25'O) se localiza en el Golfo de Tehuantepec, formando parte de los estados de Oaxaca y Chiapas, México. Tiene una longitud de 12 km en su parte más ancha y 60 km de largo; se conecta con el Océano Pacífico por medio de la boca de Tonalá, al sureste del sistema; esta boca permanentemente abierta presenta un ancho de 1.3 km, creando un subsistema de condiciones marinas. En general, la laguna es muy

somera, ya que el 49.5% de su superficie tiene profundidades menores a 1 m y solo el 2.3% alcanza más de 5 m, presentando un tipo de marea mixto semidiurno (Tovilla-Hernández y Vázquez-Lule 2009; Tapia-García et al. 2011). El clima de la región es cálido-subhúmedo con lluvias en verano (mayo-octubre), 1095 mm de precipitación anual y temperatura promedio de 28.5 °C (García, 2004).

**Recolecta y preparación de muestras.** La recolecta de organismos se llevó a cabo en la zona de captura artesanal de moluscos en el SLMM (Figura 1), en el periodo de mayo de 2022 a abril de 2023. Mensualmente se recolectó un número máximo de 15 ejemplares por mes, considerando un número de muestra promedio utilizados en estudios biométricos de bivalvos (Morales, 2015; Markaide et al., 2026), y en el caso de los meses en los que se obtuvo un número menor a 15, se recolectó la totalidad de los organismos encontrados. Se utilizó un malacómetro manual tipo L (cm) para obtener la longitud (cm), altura (cm) y anchura (cm) de la concha y se utilizó una balanza digital con precisión de 0.01 g, para medir el peso completo (g), peso de las valvas (g) y peso sin concha (g) de los organismos frescos. Estos fueron fijados en formalina al 10 % durante 24 horas, y posteriormente se obtuvo el tejido gonadal mediante un corte longitudinal, el cual se fijó en alcohol al 70% (Sotelo-González et al. 2021). Cada sección gonadal obtenida, pasó por una secuencia de deshidratación en soluciones crecientes de alcohol, seguida de un aclaramiento (sustituto de xilol) e inclusión en Paraplast, de acuerdo con la técnica descrita por Buesa y Peshkov (2009). Se obtuvieron cortes de 4 µm de espesor y se tiñeron con Hematoxilina-eosina para determinar el sexo y las fases de desarrollo gonadal de acuerdo con la técnica histológica convencional (Humason, 1972).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de los 4 sitios de captura de *L. grandis* dentro del sistema lagunar Mar muerto, Chiapas, México.

**Caracterización de las fases de desarrollo gonádico.** Para la descripción de las fases de desarrollo gonádico de hembras y machos, se realizó una observación microscópica de las gónadas considerando las etapas definidas por Sotelo-González et al. (2021): desarrollo, maduración, desove, post-desove y reposo. Adicionalmente, para este estudio se incluyó la etapa de inmadurez, al haberse recolectado organismos de tallas pequeñas.

#### **Análisis de datos.**

**Proporción sexual.** Para calcular la proporción sexual mensual, se dividió el número total de hembras entre el número total de machos. Se evaluaron las diferencias en las proporciones sexuales mensuales mediante la aplicación de pruebas de chi-cuadrada ( $X^2$ ) con la corrección de continuidad de Yates (Álvarez-Dagnino et al. 2017; Sotelo-González et al. 2021).

**Ciclo reproductivo y época de reproducción.** Tras identificar las fases del desarrollo gonadal, se estimó la frecuencia relativa mensual de cada etapa. El periodo reproductivo se estableció en los meses donde se registró la fase de Desove en los organismos.

**Talla de primera madurez.** La talla de primera madurez sexual se estimó a partir de la frecuencia relativa y acumulada de hembras maduras, agrupadas en intervalos de 4 mm; el intervalo en el que se alcanzó el 50% de hembras maduras se definió como la talla de primera madurez siguiendo el criterio de Arellano-Martínez et al. (2004). Para una estimación más precisa se aplicó un modelo logístico de la proporción de hembras maduras en función de la talla:

$$P(L) = \frac{1}{1 + e^{-r(L-L50)}}$$

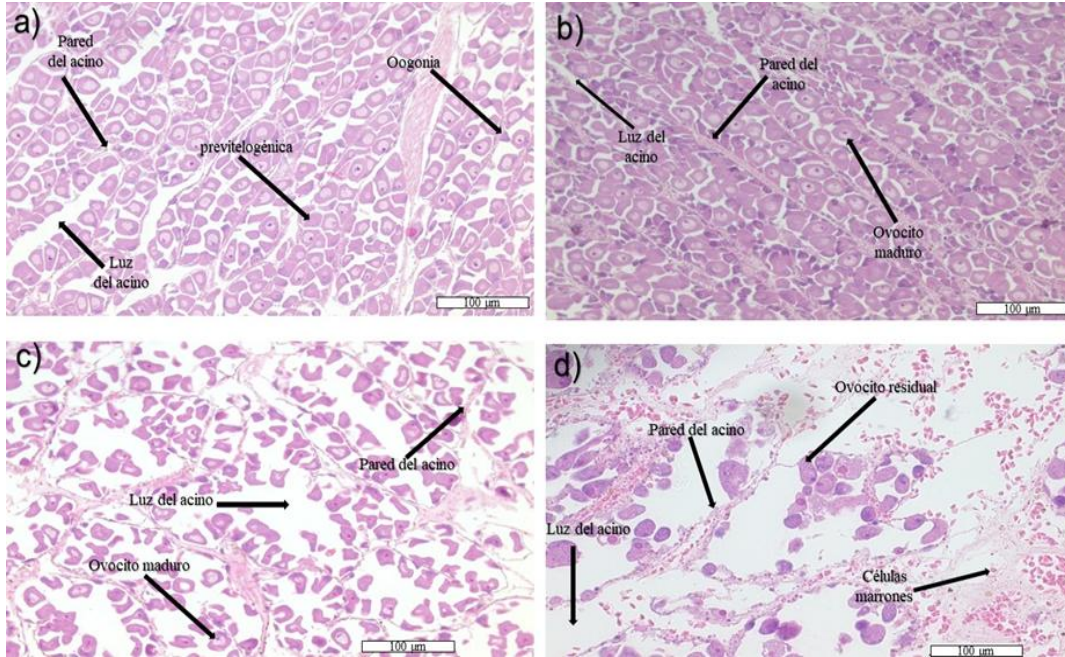
donde P(L) es la proporción de hembras maduras a la talla L, r la pendiente de la curva y L50 la talla en la que el 50% de las hembras alcanzan la madurez.

## Resultados

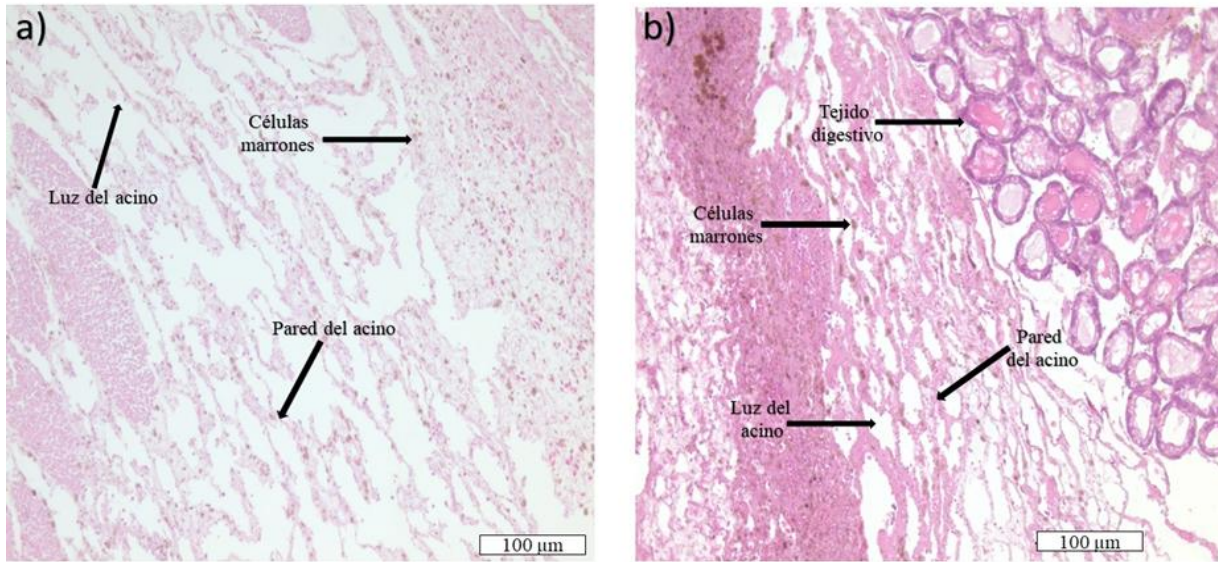
**Proporción sexual.** En el análisis de 189 individuos, se determinó que un 47.02% correspondieron a machos y un 52.98% a hembras. La proporción sexual global fue de 1.1 hembras por cada macho. A pesar de una ligera inclinación hacia las hembras, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $\chi^2$ ,  $P > 0.05$ ) cumpliendo con la proporción esperada 1:1. Solo en diciembre (3.6H:1.0M) y enero (0.2H:1.0542424M) se observaron diferencias significativas en la proporción de sexos ( $\chi^2$ ,  $P < 0.05$ ).

**Ciclo gonádico.** Se identificaron cinco etapas gonadales en machos y hembras: Desarrollo, Maduración, Desove, Post-desove y Reposo. Además, este estudio categorizó gónadas inmaduras en organismos de menor tamaño (3.4-7.1 mm). Durante las fases de desarrollo y maduración, los acinos presentaron una forma elíptica, aumentando progresivamente de tamaño y llenándose de ovocitos o espermatozoides. En las etapas de Desove y Post-desove, los acinos pierden su forma elíptica y adoptan una forma ovoide hasta volverse irregulares, con una disminución notable de gametos. En la fase de Reposo, los acinos recuperan su estructura inicial,

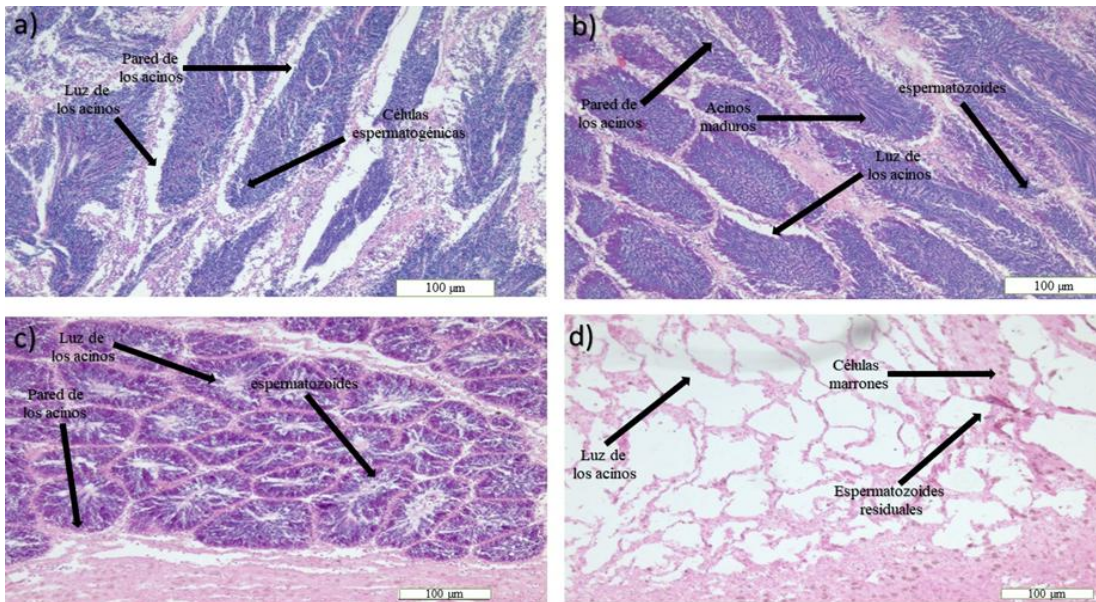
reiniciando el ciclo gonádico (Figura 2 y 3), las gónadas inmaduras se distinguen por acinos con paredes engrosadas y sin una forma definida (Figura 4), para más detalles sobre las fases gonadales de ambos sexos, consulte la Tabla 1.



**Figura 2.** Fases de desarrollo gonádico en hembras de *L. grandis*, a) Desarrollo, b) Madurez, c) Desove, d) Post-desove. Escala 100 µm.



**Figura 3.** Fases de desarrollo gonádico en machos de *L. grandis*, a) Desarrollo, b) Madurez, c) Desove, d) Post-desove. Escala 100 µm.

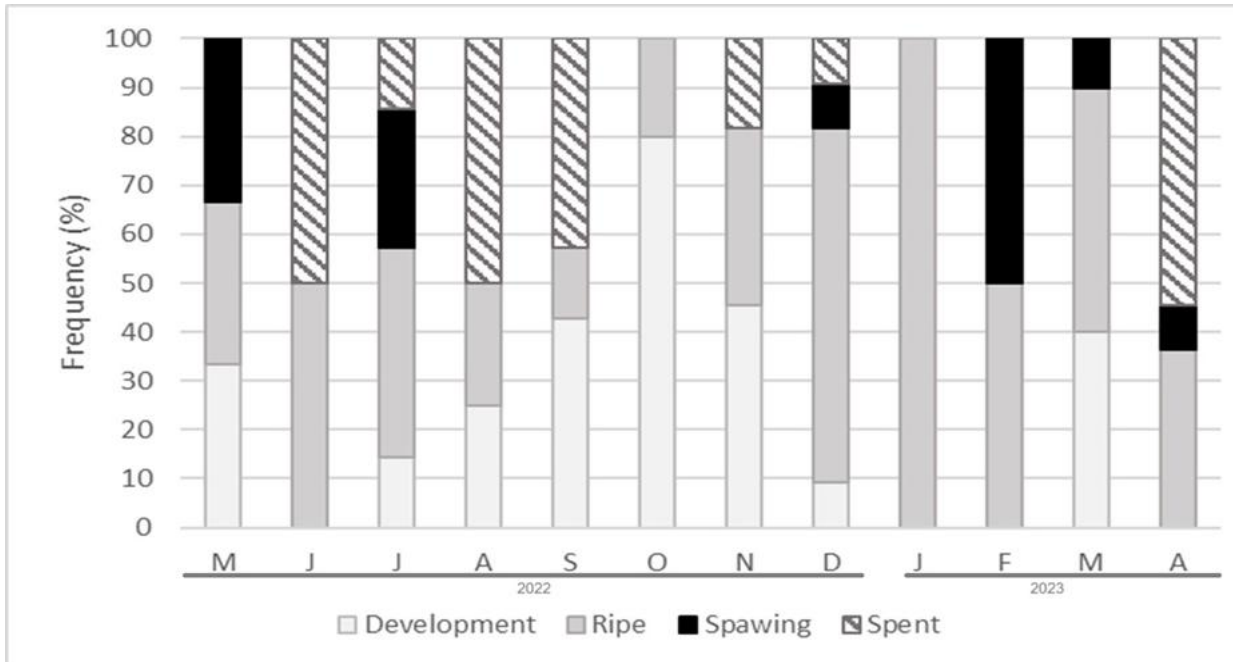


**Figura 4.** Fases de desarrollo gonádico de *L. grandis*, a) Reposo, b) Inmaduro. Escala 100 µm.

**Tabla 1.** Descripción de las 5 fases gonadales de *L. grandis*, además de la descripción de organismos inmaduros con base a Sotelo-González (2021).

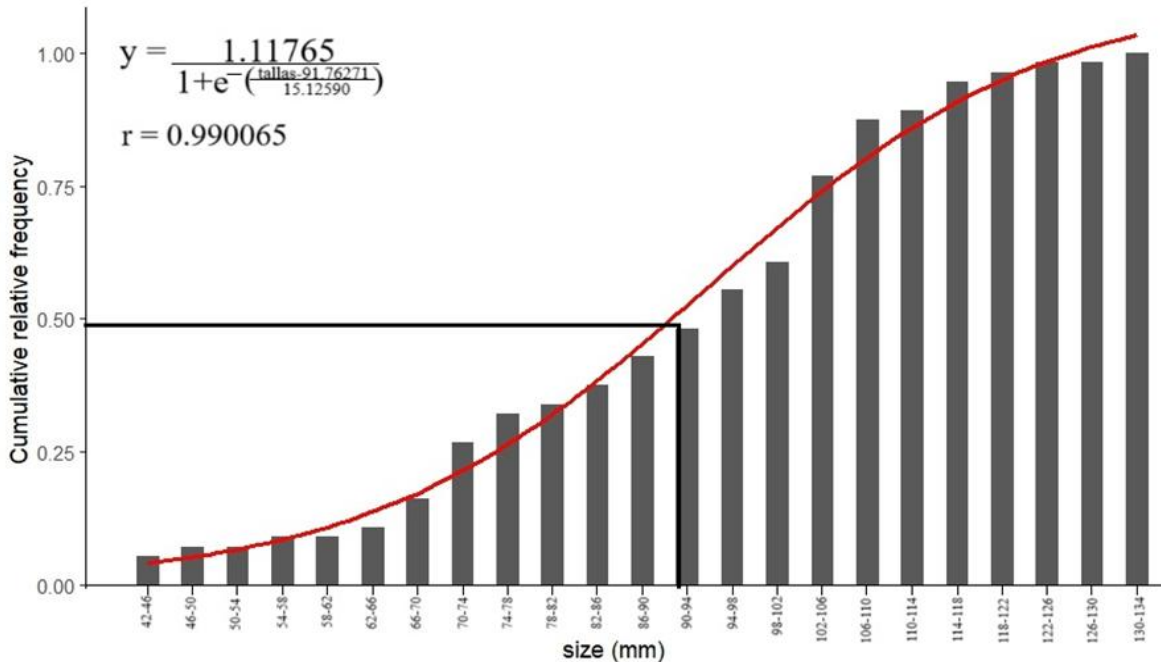
Fases	Hembras	Machos
<b>Desarrollo</b>	Se observan ovocitos previtelogenicos y oogonias, además de espacios vacíos entre los acinos (Figura 2a).	Las células espermatogénicas se van uniendo a la pared de los acinos o epitelio germinal, se van reduciendo los tejidos conectivos (figura 3a).
<b>Madurez</b>	Se encuentran completamente llenos de ovocitos los acinos. Las paredes de los acinos son delgadas y no hay espacios vacíos entre estos además de pocos ovocitos inmaduros adheridos a la pared de los acinos (figura 2b).	Se observan los acinos totalmente llenos de espermatozoides. el tejido gonádico ha alcanzado su máximo desarrollo y apenas se aprecian luces en los acinos (figura 3b).
<b>Desove</b>	Pocos ovocitos adheridos a la pared de los acinos, se observan luces entre los acinos y están parcialmente vacías (figura 2c).	Los espermatozoides se pueden observar dispersos dentro de los acinos, se empiezan a observar luces en los acinos. (figura 3c).
<b>Post-desove</b>	Se observa abundancia de células marrones. Las paredes de los acinos son más gruesas. Lo ovocitos residuales empiezan a reabsorberse (figura 2d).	Se encuentran espermatozoides residuales en el acino. Se observan abundantes células marrones (figura 3d).
<b>Reposo</b>	El tejido conectivo de las paredes de los acinos es abundante y están contraídos. se observan células marrones. No se puede definir el sexo del organismo ya que no se observan células sexuales diferenciadas (figura 4a).	
<b>Inmaduro</b>	No se puede definir el sexo del organismo al no haber células sexuales diferencias, las paredes de los acinos se observan engrosados. Se observan abundantes células marrones (figura 4b).	

**Ciclo reproductivo y época de reproducción.** La etapa de Desarrollo alcanzó su pico en octubre con un 80%, mientras que no se observó en junio, enero, febrero y abril (0%). La fase de Madurez fue constante a lo largo del año, con la frecuencia más alta en enero (100%) y la más baja en octubre (20%). El Desove se produjo entre febrero y mayo, así como en julio y diciembre, siendo febrero el mes con la tasa más alta (50%) y estuvo ausente desde agosto hasta noviembre, así como en junio y enero (0%). Abril mostró la mayor incidencia en Post-desove (54.55%), y los meses de mayo, octubre y de enero a marzo no presentaron actividad Post-desove (0%) (Figura 5).



**Figura 5.** Ciclo reproductivo de *L. grandis* en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas, México.

**Talla de primera madurez.** Los especímenes maduros se distribuyeron en un espectro de longitudes de 42 mm a 134 mm. Se determinó que el 50% de los individuos alcanzó la madurez entre los 90 y 94 mm. Según el modelo logístico, la talla de primera madurez sexual en hembras es de 91.76 mm ( $r^2= 0.99$ ) (Figura 6).



**Figura 6.** Talla de primera madurez de *L. grandis* en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas, México.

## Discusión

En este estudio, *L. grandis* presentó, en términos generales, una proporción sexual de 1:1, correspondiendo un mayor número de machos que hembras. Estas diferencias proporcionales fueron notables durante los meses de diciembre (3.6H:1.0M), cuando se encontraron tres veces más machos que hembras, y en enero (0.2H:1.0542424M), observándose una disminución de machos; ambas diferencias resultaron significativas ( $\chi^2$ ,  $P < 0.05$ ). Estos hallazgos sugieren que *L. grandis* tiende a acercarse a una proporción 1:1 en condiciones ambientales favorables, coincidiendo con lo encontrado en el sureste del Golfo de California por Sotelo-González et al. (2021), quienes reportaron una proporción de 1:0.8, exceptuando en el mes de abril 2018, donde la población de *L. grandis* presentó más machos que hembras. De manera similar, en las costas de Costa Rica, se observó una proporción cercana 1:1 (Cruz 1987a, 1987b)., Al igual que en Colombia, Riascos et al., (2004), encontraron una proporción de *L. grandis* 1:1, no obstante, sus observaciones pueden estar limitadas por el bajo número de organismos analizados ( $n = 24$ ). En esta investigación no se registró

hermafroditismo; sin embargo, Aguirre-Rubí (2017) evidenció que este fenómeno puede presentarse en *L. grandis*, además de reportar en Nicaragua una proporción sexual de 1.2:1. No obstante, estos resultados reafirman lo señalado por Sotelo-González et al. (2021), que la cercanía a la proporción 1:1 y la baja tasa de hermafroditismo es casual, además de que todos los organismos fueron gonóricos.

En Mar Muerto identificamos cinco fases gonadales para hembras y machos, definiendo el ciclo gonadal para *Larkinia grandis* en: Desarrollo, Madurez, Desove, Post-desove y Reposo, además de agregar la etapa de Inmaduro (Tabla 1), al haber obtenido organismos de talla pequeña (>3.5). A diferencia de Cruz (1987a) quien describe cinco etapas (Gametogénesis, Madurez, Máximo Madurez y Desovado) solo mencionando el estado de reposo de un organismo en otro estudio adicional (Cruz 1987b). En las costas de Perú Tito et al. (2022) determinaron 6 fases para *L. grandis*: Virginal (0), Reposo (I), En Maduración (II), Maduro (III), Desovante/Expulsante (IV) y Recuperación/ Post-expulsante (V), mencionando que las fases: virginal (0) y de reposo (I) son diferenciables macroscópicamente a través de la ausencia o presencia de hendiduras en la parte externa del cuerpo.

Por su parte, Aguirre-Rubí (2017) registró seis fases gonadales (Indiferenciado, Desarrollo Temprano, Desarrollo Tardío, Maduro, Desove y Post-desove), agrupando organismos no identificables en la etapa de indiferenciado; Estas fases gonadales al igual que la de Cruz (1987a) sirvieron como base para el estudio de Sotelo-González et al. (2021), quien las simplificó a solo 5 etapas (Desarrollo, Madurez, Desove, Post-desove y Reposo), poniendo énfasis en el estadio de reposo donde resalto tres sub-fases (sub-fase 1, sub-fase 2 y sub-fase 3), las cuales se diferenciaron por las disposiciones y espesores del tejido conectivo y en el número de las células marrones. Se tomó como base el trabajo descrito anteriormente, dejando de lado las sub-fases de reposo, ya que no coincidía con algunos objetivos del presente trabajo. Además, se describieron organismos Inmaduros, que, a diferencia de Tito et al., (2022) quienes describen la fase Virginal (0) microscópicamente con acinos pequeñas con ovogonias adheridas a la pared al igual que las espermatogonias en machos, se encontraron a los organismos sin células sexuales diferenciales, simplemente con un tejido conectivo

engrosado (Figura 4b). En la fase de Reposo al igual que Sotelo-González et al. (2021), fue difícil de definir el sexo, ya que los acinos se encontraron vacíos, el tejido conectivo era abundante, notable y con células marrones (Figura 4a). Es posible definir un ciclo gonadal para *L. grandis* partiendo de estos supuestos, pero considerando que sigue existiendo diferencias en las observaciones y criterios aplicados por cada investigador y en diferentes ecorregiones de Latinoamérica, aún falta por definir claramente estas fases con el objetivo de aterrizarlas en el ámbito de recursos pesqueros.

De acuerdo con el ciclo reproductivo de *L. grandis* para el estado de Chiapas (Figura 5), la fase de Desove estuvo presente entre febrero a mayo, además de julio y diciembre, siendo febrero el mes con la tasa más alta de Desove (50%). La época reproductiva de esta especie se concentra entre febrero y mayo, abarcando 4 meses durante la temporada de seca, y julio que en esta zona suele ser un periodo de sequía interestival (Altamirano del Carmen, 2018). Estos resultados difieren los obtenidos por Cruz (1986a) en Costa Rica, quien reportó picos de Desove en julio, octubre, noviembre, enero y febrero, con un pico en noviembre asociado a un ligero incremento en la temperatura y una disminución en la salinidad.

En El Salvador Pérez-García (2007) observó la etapa de Desove durante todos los meses de la temporada de lluvias (septiembre – enero) con picos en octubre y enero, coincidiendo con un mayor número de hembras que machos. En cuanto a la familia Arcidae, Pérez-Medina (2005) mencionó que *A. tuberculosa* presenta la fase de Desarrollo todo el año, a diferencia de *L. grandis*, que no muestra esta etapa en enero, febrero, abril y junio, *A. tuberculosa* tiene su máxima actividad de Desove en mayo y una baja en septiembre, con un ciclo reproductivo continuo y dos periodos principales de Desove: mayo-junio y noviembre-diciembre, mientras que *L. grandis* presenta un periodo de Desove menos definido.

García-Domínguez et al. (2008) señalaron que *A. tuberculosa* muestra la etapa de Reposo durante todo el año, con emisión de gametos en dos periodos: enero-marzo y julio-diciembre. En Ecuador, Panta-Vélez et al. (2020) observaron picos de Desove en *A. tuberculosa* durante diciembre, junio y julio, con ciclos reproductivos femeninos en los que la Madurez y el Desove fueron constantes la mayor parte del año. Baqueiro et

al. (1982) reportaron un máximo reclutamiento de juveniles precediendo a los picos de desove, coincidiendo con un desove constante. Sin embargo, concluyeron que no es posible definir un patrón de reproducción claro para *A. tuberculosa* con la información disponible.

A pesar de la mayor cantidad de información global sobre *A. tuberculosa*, ciertos aspectos coinciden, como la existencia de un ciclo reproductivo continuo y al menos dos periodos de Desove. En contraste, para *L. grandis*, debido a la falta de estudios, los resultados aún no son concluyentes, pero se puede generalizar que presenta un periodo de reproducción no constante, con mayor actividad durante la temporada de seca en el Pacífico sur, y que la etapa de Madurez se presenta durante todo el año (Figura 5). Es posible que la alta productividad de nutrientes durante la temporada de seca, como sugiere Freitas et al. (2014), esté asociado con la fase de Desove. Dada la escasez de estudios sobre el ciclo reproductivo de *L. grandis*, este proyecto proporciona una base científica para futuras investigaciones.

Como resultado de las observaciones, se determina que el modelo logístico para la talla de primera madurez sexual de *L. grandis* en hembras es de 91.76 mm ( $r^2 = 0.99$ ) para el estado de Chiapas (Figura 6). En contraste, en Costa Rica, Cruz (1987b) reporto que, de todos los ejemplares examinados, la talla mínima en la que se encontraron células sexuales maduras fue de 21.0 mm tanto en machos como en hembras. Esto sugiere que *L. grandis* madura y desova por primera vez entre los 21.0 y 24.0 mm, lo que evidencia variaciones regionales en la talla de primera madurez posiblemente asociadas a factores ambientales y ecológicos (Arellano-Martínez et al., 2004). Aunque la información sobre la talla de primera madures sexual de *L. grandis* es escasa, existen datos de otras especies de la familia Arcidae, por ejemplo, Pérez-Medina (2005), encontró en La Paz, Baja California Sur, que las almejas maduras de *A. tuberculosa* se hallaban en un rango de longitudes de 16 a 58 mm, y que la talla de primera madurez fue de 36.5 mm.

En Ecuador, Planta Vélez et al. (2020) informaron que el 50 % de la población masculina de *A. tuberculosa* alcanzo la madurez a los  $41.61 \pm 2.62$  mm ( $r^2 = 0.99$ ), mientras que las hembras lo hicieron a los  $42.98 \pm 2.44$  mm ( $r^2 = 0.99$ ). Sus hallazgos

subrayan la importancia de pescar solo aquellos organismos que han alcanzado la madurez sexual y cumplen con el tamaño mínimo para su comercialización, con el fin de proteger el recurso de *A. tuberculosa*. Por otro lado, Lucero-Rincón et al (2013), detectaron que la talla media de primera madurez para el Pacífico colombiano fue de 43.5 mm. Esta investigación, realizada a una escala espacial mayor, apoya la estimación de la talla mínima legal de captura de 50 mm estipulada por la ley colombiana.

Sin embargo, la asincronía encontrada en el estudio sugiere que algunas de estas medidas deben ser consideradas a escalas locales, por lo que la implementación de vedas en amplias regiones podría no ser recomendable. En México, a diferencia de los casos anteriores, la Carta Nacional Pesquera 2023, agrupa a tres especies objetivo para la pesca comercial bajo el nombre coloquial de “almeja pata de mula”: *A. tuberculosa*, *L. grandis* y *L. multicosata*. De acuerdo con la ficha técnica, la talla mínima de captura para *A. tuberculosa* es de 60 mm de longitud de la concha y para *L. multicosata* es de 75 mm. Estas propuestas son aplicables a todos los estados de la república. Sin embargo, para *L. grandis* no se ha propuesto la talla mínima de captura, así como tampoco vedas específicas para esta especie; lo que sugiere que se captura todo el año. Se considera que es necesario implementar una talla mínima de captura para *L. grandis* y establecer vedas locales en nuestro país, especialmente en el estado de Chiapas, para evitar la sobrepesca de este recurso costero. En el estudio realizado se determinó que la talla mínima en la que los organismos alcanzaban la madurez fue de 91.76 mm, la proporción sexual general fue de 1M:1H y que los meses de mayor reproducción correspondieron a febrero, marzo, abril y mayo, dentro de la temporada de secas.

## Referencias

Altamirano del Carmen, M.A. (2018) Análisis de escenarios de cambio climático y aumento en el nivel del mar como insumo para la Estrategia Regional de Adaptación al Cambio Climático para los Estados del Sur-Sureste de México. Informe técnico de asistencia técnica. FIDESUR.

Aguirre-Rubí, J.R. (2017) Contribution to the development of biomonitoring programmes for the assessment of chemical pollution and ecosystem health

disturbance in mangrove-lined Caribbean coastal systems using bivalves as biomonitors and sentinels. *Plentzia*.

Álvarez-Dagnino, E., Santamarina-Miranda, A., García-Ulloa, M. y Góngora-Gómez, A.M. (2017) Reproduction of *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) in the Southeast Gulf of California, Mexico. *Biología Tropical* 65(3), 881–889.

Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B.P., Villalejo-Fuerte, M., García-Domínguez, F., Elorduy-Garay, J.F., Esliman-Salgado, A. y Racotta, I.S. (2004) Reproduction of the lion's scallop *Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835 (Bivalvia: Pectinidae) from Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México. *Journal of Shellfish Research* 23(3), 723–729.

Baqueiro, C.E., Muciño, D.M. y Merino, M.R. (1982) Análisis de una población de pata de mula *Anadara tuberculosa* sujeta a explotación intensiva en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Ciencia Pesquera Instituto Nacional de Pesca, Secretaría de Pesca México* 3, 75–82.

Bricelj, M.V., Kraeuter, J.N. y Flimlin, G. (2017) Status and trends of hard clam, *Mercenaria mercenaria*, populations in a coastal lagoon ecosystem, Barnegat Bay Little Egg Harbor, New Jersey. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 78.

Buesa, R.J. y Peshkov, M.V. (2009) Histology without xylene. *Annals of Diagnostic Pathology* 13(4), 246–256.

Coan, E.V. y Valentich-Scott, P. (2012) Bivalve Seashells of Tropical West America: Marine Bivalve Mollusks from Baja California to Perú. Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, California, Estados Unidos, 2 volúmenes, 1,258 pp.

Cruz, R.A. (1986) Caracteres generales, edad y crecimiento de *Anadara grandis* (Pelecypoda: Arcidae). *UNICIENCIA* 3, 22–29.

Cruz, R.A. (1987a) The reproductive cycle of the mangrove cockle *Anadara grandis* (Bivalvia: Arcidae) in Costa Rica. *Brenesia* 27, 1–8.

Cruz, R.A. (1987b) Tamaño y madurez sexual en *Anadara grandis* (Pelecypoda: Arcidae). *Brenesia* 27, 9–12.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2023) Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización a la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, 21 de julio 2023.

Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K.E. y Niem, V.H. (1995) Guía para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico Centro-Oriental, Vol. I, Plantas e invertebrados. FAO, Roma.

Freites, L., Lodeiros, C., Arrieche, D. y Dales, A.W. (2014) Reproductive tactics of marine shellfish species from North-Eastern Venezuela: Ecophysiological implications. En: Baqueiro Cárdenas (Ed.), *Spawning: Biology, Sexual Strategies and Ecological Effects*. Nova Science Publishers, New York, págs. 73–105.

García-Domínguez, F.A., De Haro-Hernández, A., García-Cuellar, A., Villalejo-Fuerte, M. y Rodríguez-Astudillo, S.R. (2008) Ciclo reproductivo de *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) (Arcidae) en Bahía Magdalena, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(1), 143–152.

García, E. (2004) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Ciudad de México: Instituto de Geografía-UNAM.

Humason, G.L. (1972) *Animal Tissue Techniques*. W.H. Freeman and Company, Estados Unidos.

Keen, A.M. (1971) *Sea Shells of Tropical West America: Marine Mollusks from Baja California to Peru*. 2ª edición. Stanford University Press, Stanford, California, Estados Unidos, 1064 pp.

Karray, S., Smaoui-Damak, W., Rebai, T. y Hamza-Chaffai, A. (2015) The reproductive cycle, condition index, and glycogen reserves of the cockles *Cerastoderma glaucum* from the Gulf of Gabès (Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*.

Lucero-Rincón, C.H., Cantera, J.R., Gil-Agudelo, D.L., Muñoz, O., Zapata, L.A., Cortes, N., Gualteros, W.O. y Manjarres, A. (2013) Dinámica poblacional de bivalvos en manglares del Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48(2), 321–334. DOI: 10.4067/S0718-19572013000200011

Panta-Vélez, R.P., Bermúdez-Medrandá, A., Mero, P., Arrieche, D. y Acosta-Balbas, V. (2020) Reproductive cycle of *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) (Bivalvia: Arcidae) in mangrove system of the Chone River estuary, Ecuador. *Advances in Environmental Biology* 14(2), 1–11. DOI: 10.22587/aeb.2020.14.2.1

Pérez-García, I.M. (2007) Determinación de la madurez gonádica de casco de burro (*Anadara grandis*), en época lluviosa y transición lluviosa seca en la Península de San Juan del Gozo en la Bahía de Jiquilisco, Departamento de Usulután. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Escuela de Biología, El Salvador.

Riascos, J.M., Pérez, A.M. y Navarrete, A.M. (2004) Observaciones sobre la biología reproductiva de la “Sangara”, *Anadara grandis* (Bivalvia: Arcidae). *Boletín Científico del Centro de Museos de la Universidad de Caldas* 8, 37–45.

Sotelo-González, M.I., Sánchez-Cárdenas, R., García-Ulloa, M., Góngora-Gómez, A.M., Salcido-Guevara, L.A., Arzola-González, J.F. y Humberto-Sepúlveda, C. (2019) Las almejas pata de mula (Arcidae) de Sinaloa, México. *Ciencias y Mar* 69, 45–50.

Sotelo-González, M.I., García-Ulloa, M.G., Góngora-Gómez, A.M., Salcido-Guevara, L.S., Arzola-González, J.G., Sepúlveda, C.H. y Sánchez-Cárdenas, R. (2021) Gonadal development and sexuality of *Larkinia grandis* (Arcida: Arcidae) inhabiting southeastern Gulf of California. *ZOOLOGIA* 38.

Tapia-García, M., García-Abad, M.C., Penagos-García, F.E., Moreno-Ruiz, J.L., Juárez-Hernández, L.G., Ramírez-Gutiérrez, J.M. y Herrera-Olayo, D. (2011) Subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *LACANDONIA* 5(5), 97–112.

Tito, L., Ordinola, E., Perea, A. y Alemán, S. (2022) Escala de madurez gonadal macroscópica de concha pata de burro *Larkinia grandis* (Broderip & G.B. Sowerby, 1829) validada histológicamente. *Boletín del Instituto del Mar del Perú* 37.

Tovilla-Hernández, C. y Vázquez-Lule, A.D. (2009) Caracterización del sitio de manglar Mar Muerto. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.

Vásquez, V.A. y Valdivieso, M.V. (1997) Lista sistemática de moluscos del Perú. Callao, Perú.

## V. CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis representa uno de los primeros aportes al conocimiento biológico y ecológico de *Larkinia grandis* en la laguna costera Mar Muerto, Chiapas, en una de las regiones menos estudiadas del Pacífico mexicano, en contraste con la del Golfo de California. Los resultados obtenidos a lo largo de un ciclo anual permitieron comprender de manera más completa los patrones de variación temporal, el crecimiento, la condición corporal y la dinámica reproductiva de esta especie de bivalvo de importancia pesquera y ecológica, así como su relación con factores ambientales característicos de los sistemas lagunares estuarinos.

En relación con el primer objetivo específico, la variación temporal de la abundancia y la estructura de tallas de *L. grandis*, mostró un patrón estacional asociado a la dinámica ambiental del sistema. La abundancia presentó diferencias significativas entre meses, con picos durante la estación seca (particularmente en marzo y julio), lo que sugiere que, las condiciones de salinidad y temperatura (más estables en este periodo), favorecen la presencia y desarrollo de los bivalvos. En contraste, durante la temporada lluviosa, los aportes de agua dulce y la disminución de la salinidad parecen restringir la distribución y disponibilidad de condiciones adecuadas para la especie. La estructura de tallas evidenció una población dominada por organismos adultos (94-134 mm), lo que indica cierta estabilidad demográfica, aunque también podría reflejar una presión pesquera selectiva sobre individuos de mayor tamaño o una limitada incorporación de reclutas, aspectos que no se han evaluado directamente

Estos resultados son consistentes con algunos reportes de otras especies de la familia Arcidae del Pacífico oriental, como *Anadara tuberculosa* y *A. similis*, cuyas poblaciones también muestran máximos de abundancia en periodos de menor precipitación y mayor salinidad. La presencia continua de individuos de diferentes tallas a lo largo del año sugiere una actividad reproductiva prolongada, con incorporación de juveniles en distintos momentos del ciclo.

Respecto al segundo objetivo específico, las relaciones morfométricas entre las dimensiones de la concha y el peso húmedo evidenciaron un patrón de crecimiento alométrico negativo, con pendientes (parámetro b) significativamente  $< 1$ , lo que indica

que el incremento en peso no es proporcional al crecimiento lineal. Este patrón es característico de bivalvos infaunales que permanecen parcialmente enterrados, en los cuales la inversión energética tiende a orientarse hacia funciones fisiológicas y reproductivas más que al crecimiento. El análisis detallado de las relaciones longitud–peso permitió, además, identificar al grosor de la concha como el mejor predictor del peso total, lo que sugiere su utilidad como variable para estimaciones rápidas de biomasa en campo. El cálculo del índice de condición corporal de Fulton mostró variaciones significativas entre meses, alcanzando los valores más altos durante el inicio de la estación seca. Este comportamiento puede asociarse a la acumulación de reservas energéticas previas al desove, lo que refuerza la interpretación del índice de Fulton como un indicador útil del estado fisiológico y del ciclo reproductivo en esta especie.

En relación con el tercer objetivo específico, el análisis de la relación entre las variables fisicoquímicas y la abundancia e índice de condición reveló un efecto ambiental significativo sobre la ecología poblacional de *L. grandis*. Las correlaciones de Spearman mostraron asociaciones negativas con la profundidad y la transparencia del agua, y positivas con el pH. Estos resultados indican que la especie prefiere ambientes someros, turbios y ligeramente alcalinos, donde la disponibilidad de detrito y partículas orgánicas suspendidas es mayor. Dichas condiciones favorecen su modo de vida filtrador-detritívoro, lo que explica la mayor abundancia y mejor condición corporal en sectores con elevada productividad trófica. La turbidez, lejos de ser un factor limitante, parece representar una ventaja ecológica para la especie al mantener una oferta constante de alimento en suspensión. Por su parte, el pH alcalino favorece los procesos de calcificación y estabilidad fisiológica, mientras que las variaciones bruscas de salinidad o acidez podrían afectar negativamente el metabolismo y la supervivencia. Sin embargo, la salinidad mantuvo valores constantes a lo largo del año, debido al aporte constante de agua oceánica, al coincidir el área de la bocana con los sitios tradicionales de captura artesanal de *L. grandis*. El análisis multivariado (PCA) reforzó estas tendencias, evidenciando que las variables pH, transparencia, profundidad y temperatura son los principales moduladores del gradiente ambiental que estructura las poblaciones de *L. grandis* en Mar Muerto.

En cuanto al cuarto objetivo específico, el estudio histológico del desarrollo gonádico permitió describir con precisión las fases del ciclo reproductivo, identificándose seis estadios: Inmaduro, Desarrollo, Maduración, Desove, Post-desove y Reposo. La ocurrencia simultánea de diferentes fases a lo largo del año indica un ciclo reproductivo prolongado, con varios picos de actividad. Los principales periodos de desove ocurrieron entre febrero y mayo, y de nuevo en julio y diciembre, coincidiendo con los meses de la estación seca. La persistencia de fases de maduración durante la mayor parte del año sugiere una estrategia reproductiva oportunista, en la cual los individuos aprovechan las condiciones favorables de temperatura y salinidad para liberar gametos en diferentes momentos. Este patrón ha sido observado también en otras especies tropicales de Arcidae y se puede interpretar como una adaptación a los ambientes variables de los sistemas lagunares. La talla media de primera madurez sexual en hembras (91.76 mm) representa un parámetro biológico fundamental para definir tallas mínimas de captura y delimitar estrategias de manejo pesquero sustentable.

De manera integrada, los resultados de este trabajo permiten concluir que *L. grandis* presenta una dinámica poblacional modulada por la estacionalidad ambiental y un ciclo reproductivo prolongado con varios pulsos de desove. La combinación de crecimiento alométrico negativo, preferencia por hábitats someros turbios y plasticidad reproductiva refleja una alta capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes de los sistemas lagunares tropicales. Sin embargo, esta misma plasticidad podría verse comprometida por alteraciones antrópicas que modifiquen la calidad del hábitat, como dragados, vertimientos o cambios en la salinidad.

Desde una perspectiva aplicada, los hallazgos de este estudio constituyen una base científica sólida para la gestión y conservación de *L. grandis*. Se recomienda implementar tallas mínimas de captura superiores a la talla media de primera madurez sexual, así como periodos de veda durante los meses de máxima actividad reproductiva (febrero–mayo y julio–diciembre). En el estudio realizado se determinó que la talla mínima en la que los organismos alcanzaban la madurez fue de 91.76 mm, y que los meses de mayor reproducción correspondieron a febrero, marzo, abril y mayo, dentro de la temporada de secas. Asimismo, la inclusión del monitoreo

ambiental y del índice de condición corporal en los programas de seguimiento pesquero permitiría evaluar de forma temprana las variaciones en el estado poblacional y en la productividad del sistema. La integración de estos parámetros en los planes de manejo contribuiría a mantener la sustentabilidad de la pesquería del “casco de mula” y la estabilidad ecológica de los sistemas lagunares del Pacífico mexicano.

En conclusión, este trabajo demuestra que el estudio conjunto de las dimensiones poblacionales, morfométricas, fisiológicas y reproductivas proporciona una visión integral de la biología de *L. grandis*, esencial para orientar políticas de manejo basadas en evidencia científica y para asegurar la conservación de los recursos bentónicos en ambientes costeros tropicales.

## VI. REFERENCIAS GENERALES

- Aji, L. P., & Widyastuti, A. (2020). The condition and composition of seagrass and Mollusca on Biak Island, Papua. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Baqueiro-Cárdenas, E., & Aldana-Aranda, D. (2003). Patrones en la biología de moluscos de importancia comercial en México. *Revista de Biología Tropical*.
- Capote, A. J. (2021). Abundancia y diversidad trófica de moluscos del mesolitoral rocoso en un gradiente de estrofización de la costa suroriental de Cuba. *Novitates Caribaea*.
- Castillo-Rodríguez, Z. G. (2014). Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- Cruz, R. A. (1986). Caracteres generales, edad y crecimiento de *Anadara grandis* (Pelecypoda: Arcidae). *Uniciencia*, 3, 22–29.
- Cruz, R. A. (1987a). The reproductive cycle of the mangrove cockle \**Anadara grandis*\* (Bivalvia: Arcidae) in Costa Rica. *Brenesia*, 27, 1–8.
- Cruz, R. A. (1987b). Tamaño y madurez sexual en *Anadara grandis* (Pelecypoda: Arcidae). *Brenesia*, 27, 9–12.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2023). Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización a la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, 21 de julio de 2023.
- Fernández, J., & Jiménez, P. M. (2006). Estructura de la comunidad de moluscos y relaciones tróficas en el litoral rocoso del estado Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). *Guía para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico Centro-Oriental, Vol. I, Plantas e invertebrados*. FAO.
- Martínez-Guzmán, G. (2008). Control de la reproducción y producción de semillas de bivalvos en sistemas controlados. En A. Lovatelli, A. Farías & I. Uriarte (Eds.), *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina* (pp. 267–275). FAO.
- Pérez-García, I. M. (2007). *Determinación de la madurez gonádica de casco de burro (Anadara grandis), en época lluviosa y transición lluviosa seca en la Península de San*

*Juan del Gozo en la Bahía de Jiquilisco, Departamento de Usulután* [Tesis de licenciatura, Universidad de El Salvador].

Riascos, V. J. M., Pérez, A. M., & Navarrete, A. M. (2004). Observaciones sobre la biología reproductiva de la “Sangara”, *Anadara grandis* (Bivalvia: Arcidae). *Boletín Científico Museo de Historia Natural Universidad de Caldas*, 8, 37–45.

Robles, J., Ramírez, B., & Guevara, T. M. (2025). Reproducción y larvicultura de la concha pata de burro *Larkinia grandis* (Broderip & G. B. Sowerby, 1829) en condiciones de laboratorio. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*.

Ruppert, E. E., Fox, R. S., & Barnes, R. D. (2004). *Invertebrate zoology: A functional evolutionary approach* (7th ed.). Brooks/Cole–Thomson Learning.

Sotelo-González, M. I., García-Ulloa, M. G., Góngora-Gómez, A. M., Salcido-Guevara, L. S., Arzola-González, J. G., Sepúlveda, C. H., & Sánchez-Cárdenas, R. (2021). Gonadal development and sexuality of *Larkinia grandis* (Arcida: Arcidae) inhabiting southeastern Gulf of California. *Zoología*, 38.

Sotelo-González, M. I., Sánchez-Cárdenas, R., García-Ulloa, M., Góngora-Gómez, A. M., Salcido-Guevara, L. A., Arzola-González, J. F., & Hernández-Sepúlveda, M. A. (2020). Shell dimension–weight relationships in the blood cockle *Larkinia grandis* (Bivalvia: Arcidae) on the southeastern coast of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 46(3), 185–192. <https://doi.org/10.7773/cm.v46i3.3145>

Sotelo-González, M. I., Sánchez-Cárdenas, R., García-Ulloa, M., Góngora-Gómez, A. M., Salcido-Guevara, L. A., Arzola-González, J. F., & Sepúlveda, C. H. (2019). Las almejas pata de mula (Arcidae) de Sinaloa, México. *Ciencia y Mar*.

Tito, L., Ordinola, E., Perea, A., & Alemán, S. (2022). Escala de madurez gonadal macroscópica de concha pata de burro *Larkinia grandis* (Broderip & G. B. Sowerby, 1829) validada histológicamente. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 37.

Vega, A. J. (1994). *Estructura poblacional, rendimiento y épocas reproductivas de Anadara spp. (Bivalvia: Arcidae) en la reserva forestal Térraba-Sierpe, Puntarenas, Costa Rica. Con recomendaciones para su manejo* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica].

WoRMS Editorial Board. (s.f.). *World Register of Marine Species*. <https://www.marinespecies.org>

Zamora-García, O. G., Ramírez-Félix, E. A., Stavrinsky-Suárez, A., Rosales-Rodríguez de la Cruz, M., Carrillo-Colín, L. D., Ortega-Lizárraga, G. G., & Chávez-Herrera, D. (2023). Distribución, densidad y biomasa de especies de moluscos bivalvos de importancia comercial en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México. *SIRBAA*.