

***INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS
NATURALES DEL NOROESTE DE MÉXICO,
PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO***



ALFREDO ORTEGA-RUBIO

Coordinador

***INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS
NATURALES DEL NOROESTE DE
MÉXICO, PARA EL BIENESTAR
COMUNITARIO***

Alfredo Ortega-Rubio

Coordinador

***CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL
NOROESTE S.C. (CIBNOR) LA PAZ,
B.C.S. MÉXICO, 2025***

Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. Ortega-Rubio Alfredo. (Coordinador). 2025. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, Baja California Sur. México. 547 pág: il; 55.

© Derechos Reservados

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Instituto Politécnico Nacional # 195. Col. Playa Palo de Santa Rita Sur
C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur. México.

Todos los derechos reservados. El contenido de esta publicación se puede reproducir parcialmente únicamente con autorización previa por escrito de los autores de cada Capítulo y siempre y cuándo se den los créditos correspondientes a los mismos y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Las opiniones expresadas por los autores (Textos, Tablas, Figuras y Fotografías) no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación.

Diseño Gráfico y Editorial. Alfredo Ortega-Rubio. Fotografía de la Portada. Rubén Andrade.

Primera Edición. Octubre 2025.

ISBN: 978-607-7634-51-5

Publicación de investigación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Preparación de este documento:

La edición del libro “***Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario***”, estuvo a cargo del Dr. Alfredo Ortega-Rubio. En este libro se describen las principales contribuciones que el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., (CIBNOR), ha aportado en la generación de conocimiento, formación de recursos humanos, y apropiación social del conocimiento científico, enfatizando su incidencia en el bienestar social.

Agradecimientos:

El Coordinador de esta obra agradece a todas y todos las y los Coautores de esta obra, por compartir con la sociedad las aportaciones que en sus distintas actividades han generado para el bienestar de las comunidades humanas del noroeste de México, especialmente las más vulnerables. Asimismo, agradece al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste por la oportunidad de permitirnos generar, a través de los resultados de nuestras investigaciones científicas, alternativas viables con pertinencia social y ambiental, que realmente han sido aplicadas en beneficio de nuestra sociedad, quien es la que nos financia y a quien nos debemos.

Para citar esta obra:

Ortega-Rubio Alfredo. (Coordinador). 2025. *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS NATURALES DEL NOROESTE DE MÉXICO, PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO

ÍNDICE

PRÓLOGO

*María Elena Álvarez-Buylla Roces ** 1

PREFACIO

*José Alejandro Díaz Méndez ** 3

SECCIÓN I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

*José Alfredo Arreola Lizárraga * y Alfredo Ortega-Rubio* 7

SECCIÓN II PROGRAMAS ACADÉMICOS

CAPÍTULO 2. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA ACADÉMICO DE PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN AL BIENESTAR COMUNITARIO

*Alejandro López Cortés ** 15

CAPÍTULO 3. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE AGRICULTURA EN ZONAS ÁRIDAS AL BIENESTAR COMUNITARIO	
<i>Luis Guillermo Hernández Montiel *</i>	39

CAPÍTULO 4. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE ACUICULTURA Y SU IMPACTO EN EL BIENESTAR COMUNITARIO	
<i>Carolina Casanova-Valero, Héctor Acosta-Salmon, Perla Sol Cervantes-Bernal y Danitzia Adriana Guerrero-Tortolero *</i>	55

CAPÍTULO 5. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE ECOLOGÍA PESQUERA COMO VÍNCULO VITAL AL BIENESTAR SOCIAL	
<i>Crisalejandra Rivera-Pérez *</i>	77

SECCIÓN III

UNIDADES FORÁNEAS

CAPÍTULO 6. LA UNIDAD FORÁNEA GUERRERO NEGRO: HISTORIA, HUMANISMO Y VINCULACIÓN	
<i>Raúl López Aguilar *, Rogelio Ramírez Serrano†, Rigoberto López Amador, Andrés Orduño Cruz y Marco Antonio Ramírez Mosqueda</i>	99

CAPÍTULO 7. CONTRIBUCIÓN AL BIENESTAR COMUNITARIO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA UNIDAD HERMOSILLO	
<i>Juan Bautista Vega Peralta * y José Arturo Sánchez-Paz</i>	117

CAPÍTULO 8. UNIDAD GUAYMAS: UNA TRAYECTORIA DE QUEHACER CIENTÍFICO CON COMPROMISO SOCIAL	
<i>José Alfredo Arreola Lizárraga *</i>	133

CAPÍTULO 9. APORTACIONES DE LA UNIDAD NAYARIT AL BIENESTAR COMUNITARIO

*Alfonso Nivardo Maeda-Martínez *, Rodolfo Navarro-Murillo, Ricardo García-Morales, Luis Daniel Espinosa-Chaurand, Rosa María Morelos-Castro y Rodolfo Garza-Torres*

149

SECCIÓN IV
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

CAPÍTULO 10. VALORACIÓN ECONÓMICA DE RECURSOS GENÉTICOS ASOCIADOS A CONOCIMIENTOS TRADICIONALES EN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Gerzaín Avilés-Polanco, Luis Felipe Beltrán-Morales y Alfredo Ortega-Rubio*

175

CAPÍTULO 11. CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES DEL NOROESTE DE MÉXICO, PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO

Patricia González-Zamorano, Giovanni Ávila-Flores, Blanca Estela Romero López, Jonathan Giovanni Ochoa-Gómez, Mercedes Marlenne Manzano-Sarabia, Joanna Acosta-Velázquez y José Alfredo Arreola-Lizárraga*

191

CAPÍTULO 12. COSTAS DEL NOROESTE DE MÉXICO

*Saúl Chávez López * y Miguel Ángel Imaz Lamadrid*

221

CAPÍTULO 13. AGROQUÍMICOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

*Gerardo Alfonso Anguiano Vega, Estela Ruiz Baca, Jesús Ricardo Parra Unda, Jaime Rendón von Osten, María Guadalupe Nieto Pescador y Celia Vázquez Boucard**

243

**CAPÍTULO 14. APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DEL
BORREGO CIMARRÓN, POR COMUNIDADES EJIDALES DE
BAJA CALIFORNIA SUR.**

Israel Guerrero-Cárdenas, Rafael Ramírez-Orduña, Gustavo
Arnaud, Guillermo Romero-Figueroa, José Ángel
Armenta-Quintana y Fany Reyes-Bolaños.*

261

SECCIÓN V
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE
ECOLOGÍA PESQUERA

**CAPÍTULO 15. VALORIZACIÓN DE PRODUCTOS PESQUEROS
DEL NOROESTE DE MÉXICO**

*Julio Humberto Córdova Murueta, Norma Y. Hernández
Saavedra y Crisalejandra Rivera Pérez**

295

**CAPÍTULO 16. APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA BOLA DE
CAÑÓN EN EL NOROESTE DE MÉXICO, LA PESQUERÍA Y
SU DIMENSIÓN HUMANA EN EL CONTEXTO DE LA CRISIS
DEL SECTOR RIBEREÑO**

*Juana López Martínez, Eloísa Herrera Valdivia, Cintya A.
Nevárez López *, Rufino Morales Azpeitia, Javier Álvarez
Tello y Edgardo B. Farach Espinoza*

319

**CAPÍTULO 17. INVASIÓN DE ASCIDIAS SOBRE BANCOS DE
HACHAS EN LA BAHÍA DE LA PAZ, BCS**

*Moreno-Dávila Betzabé y Leonardo Huato-Soberanis**

339

**CAPÍTULO 18. ESTUDIOS GENÉTICOS PARA LA CONSERVACIÓN
Y MANEJO DE RECURSOS PESQUEROS EN EL NOROESTE
DE MÉXICO: CASO DE ESTUDIO PESQUERÍA DE ABULÓN.**

*Jorge Alberto Mares-Mayagoitia, Carmen Elvira Vargas-Peralta,
Paulina Mejía-Ruíz, Fabiola Lafarga-de-la-Cruz, Fausto
Valenzuela-Quiñonez**

363

**CAPÍTULO 19. IMPACTO SOCIAL DE LA PESCA EN LAS
COMUNIDADES LITORALES DEL ALTO GOLFO DE
CALIFORNIA**

*Eugenio Alberto Aragón-Noriega **

385

**CAPÍTULO 20. LA PESCA COMO DETONANTE DEL BIENESTAR
COMÚN DEL PUEBLO YAQUI.**

Edgar Alcántara-Razo, Jesús Guadalupe Padilla-Serrato,
Eugenio Alberto Aragón-Noriega y Guillermo Ismael
Padilla-Serrato*

405

**CAPÍTULO 21. EL CALLO DE HACHA: BIOLOGÍA Y BASES PARA
UN MANEJO SUSTENTABLE**

*Mercedes Magali Gómez Valdez * y Lucía Ocampo*

431

**SECCIÓN VI
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE
AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS**

**CAPÍTULO 22. CULTIVANDO EL FUTURO DE LAS ETNIAS DEL
NOROESTE DE MÉXICO CON CIENCIA AGRÍCOLA Y
BIENESTAR COMUNITARIO**

*Gracia Alicia Gómez Anduro *, David Raúl López Aguilar,
Julio Antonio Hernández, Efraín Payan Cázares y José
Manuel Melero Astorga*

455

**CAPÍTULO 23. MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LOS
SISTEMAS AGROACUÍCOLAS**

*Yenitze Elizabeth Fimbres Acedo y Rodolfo Garza Torres **

471

**CAPÍTULO 24. RECURSOS VEGETALES EMERGENTES PARA LA
AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS ANTE EL
AGOTAMIENTO HÍDRICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO**

*Joselyn Seminario Peña, Alejandra Nieto Garibay *, Enrique
Troyo Diéguez y Bernardo Amador Murillo*

505

**SECCIÓN VII
CONCLUSIONES**

CAPÍTULO 25. CONCLUSIONES

*Luis Felipe Beltrán Morales * y Alfredo Ortega Rubio*

531

PRÓLOGO

Este libro integra investigaciones de diversos sistemas socioecológicos en ambientes terrestres, marinos y costeros del Noroeste de México. Refleja la calidad, diversidad y profundidad de las investigaciones que se llevan a cabo en uno de los más importantes Centros de Investigación de la Región: el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. CIBNOR, coordinado por el CONAHCYT.

Un grupo destacado de investigadores de este Centro Público del CONAHCYT resume sus resultados de sistemas agrícolas, de explotación de algunos recursos marinos, de manglares, hasta de microorganismos, entre otros. Todas las investigaciones reseñadas en este libro se han desarrollado con un claro compromiso social y se han desarrollado con rigor científico. Los resultados de los estudios integrados en este volumen son relevantes para la conservación, uso, manejo y aprovechamiento de importantes recursos naturales de la región Noroeste. El CIBNOR ha sido un faro de conocimiento y catalizador para el avance de las ciencias socio-ambientales en la Región y en el país.

Algunos de los resultados sintetizados en este libro, se podrán usar para elaborar propuestas más concretas de mayor incidencia en diversas comunidades a favor de la conservación de sus ecosistemas, de la biodiversidad regional, y también de la calidad de vida de sus comunidades, sobre todo, las más vulnerables. A partir de los estudios resumidos acá, se podrán, por ejemplo, elaborar planes de manejo, de explotación o conservación relevantes para la Región, en colaboración con las comunidades locales y los distintos niveles de gobierno.

Dra. María Elena Álvarez-Buylla Roces

Directora General del CONAHCYT.

Cd. de México, a 16 de junio, 2024

PREFACIO

A casi medio siglo de su creación, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C (Cibnor-Conahcyt) ha mostrado su compromiso no solo con la generación de conocimiento de alto rigor y la formación de especialistas científicos, sino con la atención de problemáticas sociales y ambientales orientadas a la conservación y aprovechamiento de recursos naturales, por el sector social y productivo del Noroeste de México, impulsando también, desde uno de los territorios más aislados, la conciencia social sobre el cuidado de medio ambiente.

En el trabajo que han desarrollado a lo largo de los años, las y los investigadores del Cibnor, encontramos bosquejos de lo que en la nueva Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, se garantiza como derecho humano a la ciencia, con el fin de que toda persona goce de los beneficios del desarrollo científico y tecnológico y de otros derechos humanos facilitados por el ejercicio de las humanidades, ciencias, tecnologías e innovación, con un enfoque centrado en la persona, que incluya la preservación y protección del ambiente, pues es de esta forma, como el pueblo de México puede acceder al bienestar.

Este libro que nos entrega el Cibnor, arroja luz sobre el excepcional trabajo llevado a cabo por las y los investigadores de este Centro Conahcyt, a lo largo de su historia. En sus líneas se encontrará como lugar común el diálogo de saberes, y con diferentes actores sociales que enriquecen el quehacer científico desarrollado en muchas ocasiones en el territorio, como el lugar de encuentro natural. La obra es más que un compendio de aportes y resultados de investigación, son testimonio del compromiso incansable de su personal científico, tecnológico y administrativo que han convertido a Cibnor-Conahcyt en una referencia nacional, indiscutible, en ciencias biológicas y en el uso, manejo y preservación de los recursos naturales.

Asimismo, esta obra es un homenaje a las Unidades Foráneas de Cibnor-Conahcyt que han nacido en varias ciudades de nuestro país convirtiéndose en motores que impulsan la búsqueda de respuestas a las preguntas más apremiantes de su entorno socio-ecológico relacionado con problemáticas regionales y locales. Temas comunes son el agua; la alimentación; la producción y el impacto ambiental de las actividades productivas como la agrícola, pecuaria y pesca; el valor de los conocimientos tradicionales; el impacto del cambio climático en los ecosistemas, entre otros temas, que se cruzan con los Programas Nacionales Estratégicos del Conahcyt, en la búsqueda de soluciones integrales que tengan incidencia en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades y el bienestar de las personas.

Desde Conahcyt reconocemos el trabajo que se realiza en el Cibnor-Conahcyt y deseamos que esta obra contribuya a la reflexión del bien que representa la ciencia, cuando su interés es el bien público, el bien común.

Dr. José Alejandro Díaz Méndez

Titular de la Unidad de Articulación Sectorial y Regional, CONAHCYT.

Cd. de México, a 16 de junio, 2024

CAPÍTULO 21

El callo de hacha: biología y bases para un manejo sustentable

Mercedes Magali Gómez Valdez * y Lucía Ocampo

magova88@gmail.com

Resumen

El callo de hacha es un grupo de bivalvos con concha triangular, quebradiza que viven semienterrados formando “bancos” en mares tropicales y subtropicales. Poseen un músculo aductor llamado “callo” que es apreciado por su sabor y consistencia.

En México los callos de hacha más consumidos son *Atrina maura* (hacha china o callo media luna) y *Pinna rugosa* (hacha larga o callo redondo). Se pescan de manera artesanal principalmente en la región Noroeste de México (Baja California, Baja California Sur y Sonora). El maricultivo de hachas es incipiente ya que no existe el suministro continuo de semilla, ni redes de valor. Los precios del callo fluctúan alrededor de los \$385/kg y se comercializa fresco y congelado. La pesquería está aprovechada a su máximo sustentable, es de acceso abierto con permisos o concesiones, tiene una talla mínima de captura y cuenta con veda, pero no cuenta con un plan de manejo pesquero ni una norma oficial mexicana. El manejo ha sido cuestionable por diversos aspectos de gestión y administración. Otro problema es el desconocimiento de la condición de salud, el efecto de los cambios ambientales y de la biología reproductiva de cada una de las especies explotadas para cada región por lo que en los últimos años se han realizado investigaciones para cubrir algunos de estos huecos de información. Buscar la sustentabilidad

pesquera, acuícola, ambiental y económica del recurso hacha requiere superar las dificultades del pasado evitando las malas prácticas para poder enfrentar los retos modernos y eventualmente poder transitar a la llamada “transformación azul” en la que los sectores pesquero y acuícola sean reconocidos por su contribución a combatir la pobreza, el hambre y la malnutrición. Corresponde a las nuevas generaciones de pescadores y administradores del recurso enfrentar estos retos.

Palabras clave: callo de hacha; manejo sustentable; valor agregado; biología ambiental

Abstract

Pen shells are a group of bivalves burrowing at the sandy bottom, its valves are fragile triangle-shaped and live vertically partially embedded to the sea bottom forming beds in tropical and subtropical seas.

Pen shells are characterized by its large adductor edible muscle named “callo” appreciated for its flavor and consistency. In Mexico, two pen shell species *Atrina maura* (maura pen shell), and *Pinna rugosa* (rugose pen shell) are mainly consumed. The main fishery area is in the northwest region of Mexico (Baja California, Baja California Sur, and Sonora). Mariculture is not relevant as there is no continuous supply of seed, nor integrated value product chains. Pen shells are sold fresh and frozen with prices around \$385/kg. Pen shell is an open access small-scale fishery, exploited to its maximum sustainable effort. The main regulations are concession to cooperatives, minimum size catch quotas, and closed seasons per area, however there is no fisheries management plan or an official Mexican standard. Management has been questionable due to various aspects of organization and administration. Another problem is the information gap on the health condition, the effect of environmental changes, and the reproductive biology of each of the species exploited per region, thus research has been carried out in recent years to cover these gaps. To reach pen shell sustainable management in the fisheries,

aquaculture, environmental, and economic issues require to get over past problems and bad practices to face modern challenges towards "blue transformation" in which both fishery and mariculture should be recognized for their contribution to fight poverty, hunger, and malnutrition. It is up to the new generations of fishermen and resources managers to face these challenges.

Key words: pen shells, sustainable management, added value, environmental biology

El callo de hacha como recurso pesquero, y de cultivo

Las almejas de la familia Pinnidae conocidos como hachas o callos de hacha se caracterizan por tener conchas de forma triangular, delgadas, flexibles y quebradizas. Su parte inferior es pequeña, su músculo aductor posterior es grande y en posición central, se le llama callo y es la parte que se come. Esta familia se compone actualmente de 2 géneros y 55 especies, viven en mares tropicales y poco profundos, enterrados en sustratos fangosos con el extremo superior (más ancho) expuesto (Ahumada-Sempoal et al., 2002; Coan et al., 2000; Lemer, 2016). Tienen importancia económica pues son comercializadas para su consumo humano. La pesca de callo de hacha es una industria importante en muchas regiones costeras y contribuye a la economía de muchas familias de México.

Las zonas de pesca están en el noroeste del país, especialmente en Baja California, Baja California Sur y Sonora (Fig. 74) y en los últimos años se han tenido variaciones importantes en los volúmenes de captura (Carta Nacional Pesquera, 2023).

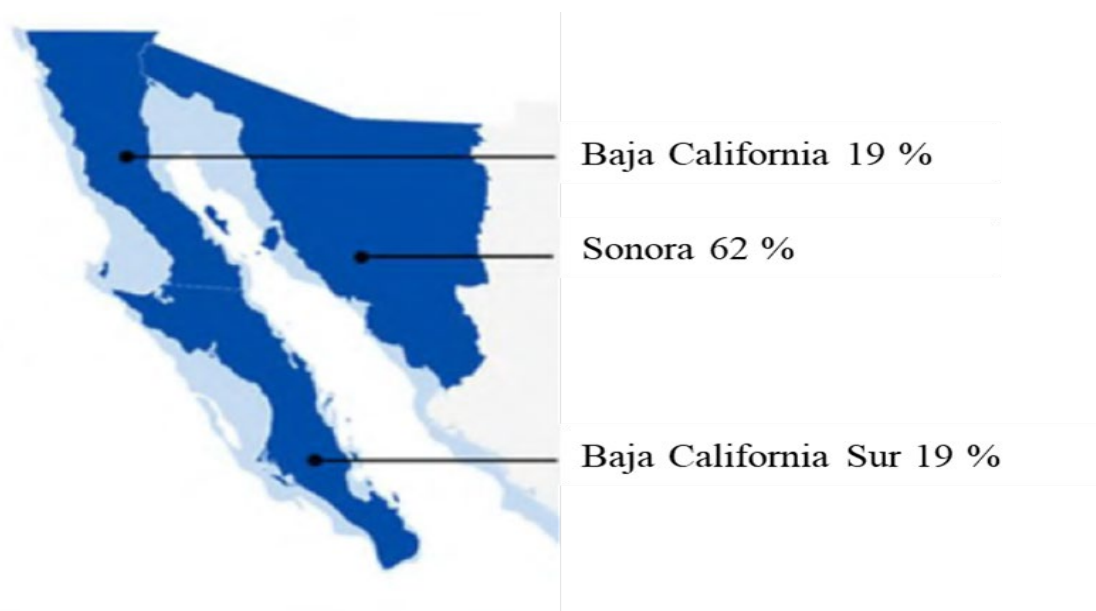


Figura 74. Principales estados de México donde se pesca callo de hacha con sus porcentajes de captura. Fuente: CONAPESCA (Carta Nacional pesquera, 2023).

La pesquería es artesanal, de acceso abierto a través de permisos o concesiones. La pesca es manual, utilizando un trinche y una bolsa de malla, colaboran tres personas, el buzo, un cabo de vida y un motorista. Dicho personal debe entregar a las autoridades avisos de arribo (documento donde se notifica lo extraído). Las cuotas de captura son variables, pero siempre con un límite del 25 % del tamaño poblacional mayor a la talla mínima. La única diferencia considerada entre especies en la Carta Nacional Pesquera es en las tallas mínimas de captura, se engloban a las especies *Atrina maura* y *A. tuberculosa* con la talla mínima de 140 mm de longitud de concha mientras que para *A. oldroydii* y *Pinna rugosa* es de 150 mm. A pesar de que las mayores capturas se han reportado en el estado de Sonora, Baja California Sur es el estado con más permisos (210 embarcaciones) (Carta Nacional Pesquera, 2023).

La Carta Nacional Pesquera es el documento que indica las acciones a cumplir para regular la pesca en México, en ella se señala que el recurso callo de hacha se conforma por cuatro especies que tienen casi las mismas consideraciones de manejo. De ellas, dos son las más importantes en cuanto a consumo y comercialización, por esa razón también son las más estudiadas y explotadas: *A. maura* comúnmente conocida como “hacha china” o “callo media luna” y *P. rugosa* conocida como “hacha larga” o “callo redondo” (Fig. 75) (Carta Nacional Pesquera, 2023).

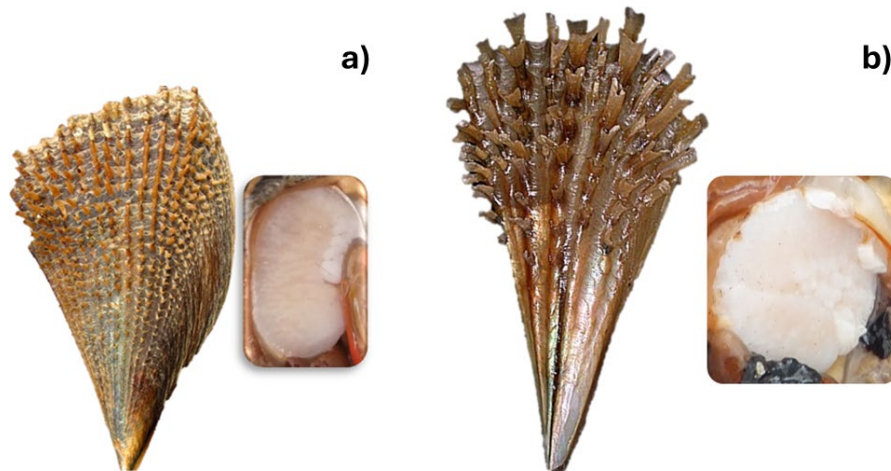


Figura 75. Conchas y músculos de las especies más importantes en México. a) Vista frontal de la concha y el músculo de *A. maura* (callo media luna). b) Vista frontal de la concha y el músculo de *P. rugosa* (callo redondo).

A pesar de esto, existen pocos trabajos de ellas en comparación con otros recursos marinos. Por la gran importancia que tienen estas especies en la economía de campos pesqueros y personas que se dedican a su captura, en los últimos años se ha realizado un esfuerzo por mejorar el entendimiento de estas especies para optimizar su manejo pesquero.

Se han estudiado diversos temas, entre ellos una relación ecológica con parásitos nemátodos juveniles de la especie *Echinocephalus pseudouncinatus* en

A. maura y *P. rugosa* de Laguna Ojo de Liebre, uno de los sitios pesqueros más importantes de Baja California Sur. Lo primero que se observó fueron manchas en músculos y gónadas que resultaron ser quistes (Fig. 76a y 76b) donde se alojaban los nemátodos (Fig. 76c y 76d).

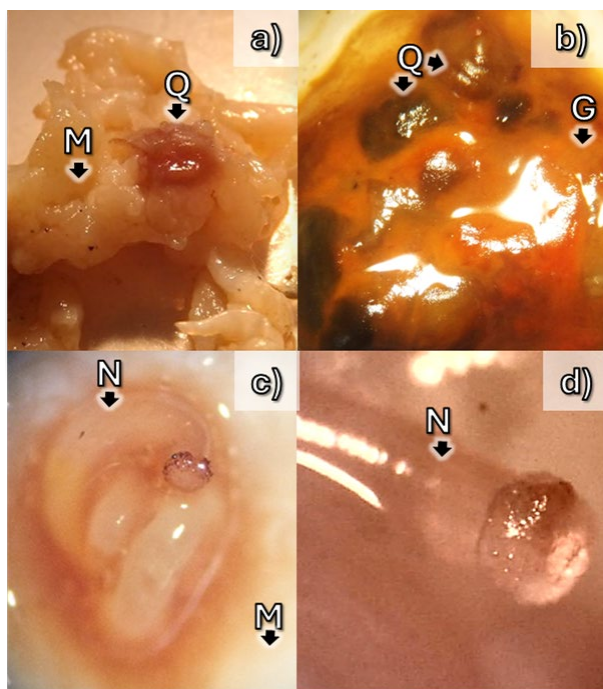


Figura 76. Parásitos nemátodos encontrados en músculos y gónadas de *A. maura* y *P. rugosa* a) Músculo (M) de callo de hacha con quistes (Q) de nemátodos, b) Gónada (G) de callos de hacha con quistes de nemátodos (Q). c) Nemátodo (N) enrollado recién salido del quiste en músculo de callo de hacha. d) Acercamiento a la cabeza del nemátodo (N) encontrado en callos de hacha.

La presencia de los parásitos generó cambios de color y textura en el callo, también se observó afectación con gametos sexuales anormales (atrésicos) lo que puede repercutir en la disponibilidad del recurso en el futuro. El conocimiento de estas relaciones ecológicas es importante porque se desconocen las consecuencias poblacionales en este producto comercial que genera altos ingresos para muchas familias. Es necesario seguir investigando los efectos de los parámetros bióticos y

abióticos de esta relación para poder tener información de manera oportuna y tomar medidas especiales para proteger el recurso y a las comunidades que dependen de su pesca (Gómez-Valdez et al., 2019).

Asimismo, se ha evaluado el efecto del aumento de temperaturas en las zonas principales de pesca de los callos de hacha. La reproducción de los callos de hacha está muy relacionada a la temperatura del mar, y se da de forma externa, esto significa que liberan sus células sexuales (gametos) maduras al agua para que la fertilización (unión de dos células, femeninas y masculinas) suceda en el mar y así generar nuevos organismos. Esa liberación dependerá de que las condiciones de su ambiente sean las adecuadas (temperatura, disponibilidad de alimento, oxígeno pH, etc.). Dentro del proceso reproductivo normal existe un fenómeno llamado atresia (Fig. 77), el cual se da normalmente después del desove para reutilizar los nutrientes para el siguiente ciclo. Sin embargo, cuando la atresia se presenta antes de los desoves y en porcentajes muy altos puede disminuir el éxito reproductivo, haciendo más difícil la generación de nuevos organismos. Esto a su vez se traduce en que existe el riesgo de tener menor número de individuos para las siguientes generaciones.

En los callos de hacha se observó que la mayor parte de la población estudiada tuvo atresia masiva y eventos reproductivos más cortos; todo esto generalmente es consecuencia de temperaturas no adecuadas para los organismos. Así mismo, la temperatura tuvo un efecto negativo en la producción de lípidos en un órgano llamado glándula digestiva en hembras. Mientras que en machos el contenido de carbohidratos en un órgano llamado manto fue afectado negativamente por la temperatura. El manto y la glándula digestiva tuvieron un importante papel durante la actividad reproductiva como adaptación a condiciones ambientales desfavorables tales como temperaturas más cálidas y escasez de alimento (Gómez-Valdez et al., 2021).

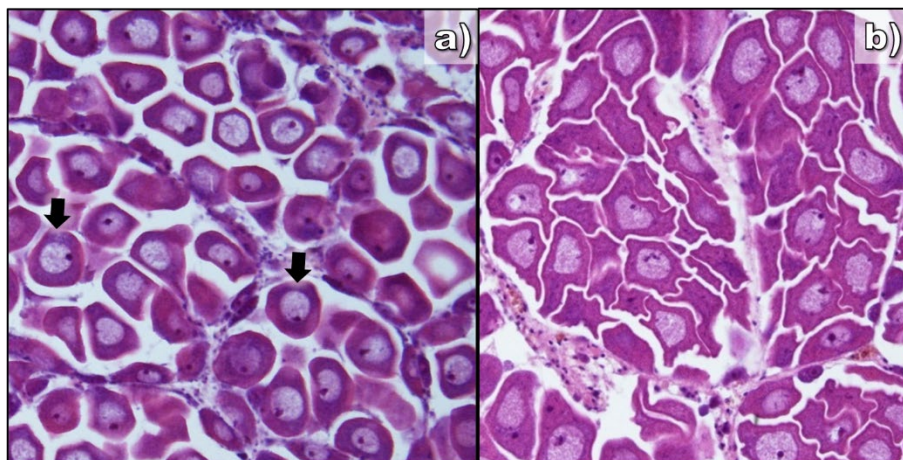


Figura 77. Microfotografía de células sexuales (gametos) de hembras de *A. maura*. En la imagen a) las células señaladas se muestran de forma circular bien definida, situación contraria a la imagen b) donde los gametos tienen forma de rompecabezas, una de las características más evidentes de la presencia de atresia.

Adicionalmente, a pesar de que *P. rugosa* es uno de los callos de hacha más consumidos, no se tenía información actualizada de su biología reproductiva en los principales sitios de pesca. Dicha información debe ser la base para el aprovechamiento pesquero, cuándo se reproducen y cómo lo hacen. Es por ello que se evaluó su reproducción en Laguna Ojo de Liebre. Además, se observó que esta especie tiene altos porcentajes de hermafroditismo funcional (un solo individuo puede generar gametos masculinos y femeninos al mismo tiempo) (Fig. 78) y una etapa de inactividad reproductiva muy marcada en invierno, la cual debería ser aprovechada. También se obtuvieron datos de temperatura del mar, resultando que el año de muestreo (2015) fue más caliente que otros ($+3.5^{\circ}\text{C}$) lo cual pudo haber contribuido a los altos porcentajes de atresia observados (Gómez-Valdez et al., 2024).

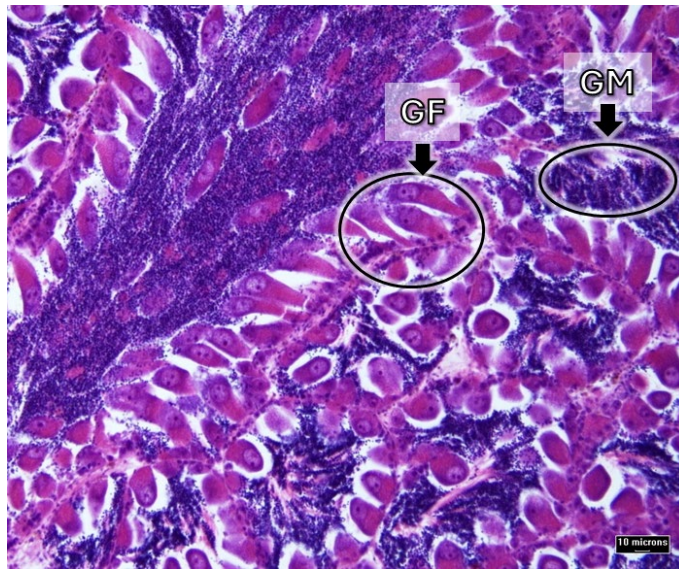


Figura 78. Microfotografía de células sexuales de un individuo hermafrodita de *P. rugosa*. GF: Gametos femeninos. GM: Gametos masculinos.

Todas estas investigaciones y las que sigan surgiendo de las especies de callo de hacha deben ser tomadas en cuenta por los tomadores de decisiones para mejorar su manejo pesquero, de no ser así se tendría el riesgo de afectar a las poblaciones naturales y no poder seguir aprovechando el recurso a largo plazo. Aún hace falta estudiar con mayor atención a todas las especies de callo de hacha y sobre todo considerar y aprovechar sus diferencias pues hasta ahora se ha asumido que todas las especies son casi iguales y en las últimas investigaciones realizadas en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste han sido evidentes las diferencias, al menos entre *A. maura* y *P. rugosa*.

Por ejemplo, a partir del 2021 se tienen contemplados los periodos de veda para *A. maura* y *P. rugosa*, en Baja California Sur es del 1 de abril al 31 de julio de cada año, una vez más, englobando a más de una especie sin tomar en cuenta las diferencias reproductivas incuestionables entre especies. Otra oportunidad de mejora es en los reportes de pesca, pues, cuando se descubren nuevos bancos se

agregan a las estadísticas dando una falsa idea de recuperación o declive general del recurso como en el caso del 2012 del estado de Sonora o el incremento del año 2014 en el estado de Baja California (Fig. 79). Englobar dos o cuatro especies con las mismas tácticas y estrategias de manejo puede ser riesgoso para las poblaciones de Pinnidos y para las comunidades pesqueras que aprovechan este recurso.

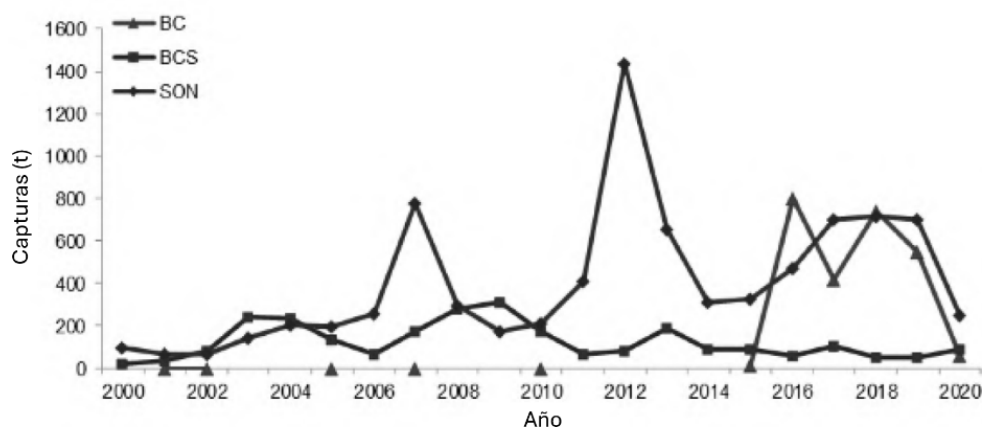


Figura 79. Tendencia de la captura de callo de hacha en Baja California (BC) Baja California Sur (BCS) y Sonora (SON), de 2000 al 2020. Fuente: CONAPESCA (Carta Nacional pesquera, 2023).

Lo anterior se suma a problemas administrativos y económicos que se viven en las dependencias de gobierno y que sus consecuencias afectan directamente a una buena parte de las pesquerías nacionales. Cisneros-Montemayor et al., (2013) reportan que las capturas ilegales, las legales sin registrar, y los productos descartados, han tenido históricamente cifras muy altas. Siendo esos datos un componente trascendental, esto tiene implicaciones importantes para las pesquerías, sus evaluaciones y el manejo que se les da. Todos estos problemas reflejan una falta de normas y tácticas que desalienten malas prácticas.

El manejo de este recurso ha sido cuestionable y se encuentra en medio de diversos problemas administrativos, se actualiza poco la información y, sobre todo, hace falta personal para el análisis y protección de las normas pesqueras. Dada su distribución y la formación de bancos, el callo de hacha es vulnerable y sin controles adecuados que limiten el acceso y la captura, las poblaciones pueden disminuir en tiempos relativamente cortos. Mejorar el control de su aprovechamiento sería relativamente fácil con una mejor gestión y administración (Cisneros-Montemayor et al., 2013; Acevedo-Rodríguez, 2023). Por ejemplo, en Sonora, el ordenamiento pesquero en territorio etnia comca'ac durante 2017-2019 se logró mediante un arduo trabajo de investigación documental que llevó a la actualización de su situación contable y jurídica, lo que permitió acceder a los permisos de pesca y apoyos gubernamentales. La etnia logró organizarse para poder explotar de manera ordenada los recursos pesqueros de los cuales han dependido de manera ancestral lo que se ha traducido en mayor rentabilidad (Bustillo-Ruiz y Monge-Quevedo, 2022).

Así mismo, la familia Pinnidae ha tenido variaciones importantes en sus poblaciones alrededor del mundo. Muy conocido es el caso de *Pinna nobilis* en el Mar Mediterráneo donde se han registrado decrementos tan importantes que se ha declarado especie en peligro de extinción. Diversas actividades humanas que destruyen su hábitat, actividades pesqueras, consumo popular de su deliciosa carne, uso de su concha para decoración, parasitismo, entre otras han contribuido a este problema (Giménez-Casaldueiro et al. 2020, Acarli, 2021). Gracias a ello existe una estricta protección para esta especie en Europa. Otro ejemplo se presentó en la ensenada de Bahía La Paz en la que prácticas no sustentables durante varios años llevaron al colapso y la suspensión de la pesquería del callo de hacha, y que, después de un plan de manejo de recuperación centrado en la auto organización y la difusión de prácticas adecuadas de pesca pudo recuperarse (Palacios-Abrantes et al., 2018) pero desafortunadamente en 2016 y 2017 se

registraron mortalidades masivas ocasionadas por ascidias epibiontes (Moreno-Dávila et al., 2021).

Dadas las condiciones anteriormente mencionadas, además del creciente interés por la comercialización del callo de hacha en México y el mundo, sería de gran beneficio el establecimiento de un cultivo exitoso que permita no sólo su aprovechamiento sustentable sino también, la preservación de la especie en su medio natural. Desafortunadamente debido a la alta mortalidad no hay una técnica de cultivo que pueda ser escalada a nivel industrial por lo que la biotecnología para el cultivo de *A. maura* está limitada a la disponibilidad de semilla en sistemas de producción semi-intensivo con permisos de fomento acuícola. Es necesario sumar esfuerzos de la industria y la academia en temas de condiciones medioambientales y nutricionales óptimas, así como la manipulación de la gametogénesis para poder superar las problemáticas que ha tenido el cultivo de esta especie (Escamilla-Montes et al., 2017).

Tolerancia a las variables ambientales y panorama ante cambios climáticos

Los callos de hacha son altamente dependientes de las variables ambientales. *A. maura* es una especie tropical con temperatura óptima cercana a los 29°C (Leyva-Valencia et al. 2001), y mayor maduración generalmente a temperaturas altas, aunque Rodríguez-Jaramillo et al., (2001) reportan la presencia de ovocitos no viables (atrésicos) en temperaturas superiores a 25°C. Por otro lado, se sabe que México es una zona impactada por fenómenos naturales, así como los efectos del cambio climático, por el fenómeno de “El Niño”, “La Niña”, “The blob”, entre otros. En *A. maura* y *P. rugosa* se ha reportado que el fenómeno de “El Niño” tiene efectos negativos en la reproducción causando desoves anormales, altos porcentajes de atresia y reabsorción de gametos (Camacho-Mondragón et al., 2008; Gómez-Valdez, 2019). Estos fenómenos ponen en riesgo el reclutamiento (adición de

nuevos organismos a poblaciones sujetas a pesca) y el tamaño de las poblaciones naturales. Asimismo, poblaciones de *A. maura* han sido impactadas negativamente por grandes volúmenes de agua dulce, consecuencia de lluvias intensas provocadas por huracanes (Ahumada-Sempoal et al., 2002).

La acidificación del océano también es un aspecto por considerar en los próximos años, se sabe que las consecuencias de este fenómeno pueden variar en función de la especie, los tiempos de exposición, los límites fisiológicos y la adaptabilidad a corto plazo. Al respecto, Dominguez-Beltran (2023) concluyó que, en el caso de *A. maura*, el crecimiento de la concha y el manto no se afectaron en 40 días de exposición, pero hubo signos de disolución química de la concha y malformaciones, deteriorando las funciones de las conchas haciendo a los individuos más vulnerables ante depredadores y la temperatura.

Aspectos económicos

Para poder comprender el manejo sustentable y la economía del recurso hacha es indispensable mencionar el contexto mundial y nacional de cara a un mundo globalizado. Tan solo en términos de crecimiento poblacional se espera que para el 2030 alcancemos los 3 billones de habitantes en el mundo mientras que en México la población al 2023 sobrepasó los 127 millones. México reporta una producción de 1.7 millones de toneladas de productos pesqueros y acuícolas con exportaciones valuadas en \$1.2 mil millones de dólares de los cuales el 84 % provienen de la pesquerías, con una drástica caída en la comercialización de estos productos a partir del 2019 (FAO, 2023). Actualmente la contribución de bivalvos en los productos del mar es del 5 %, y se proyecta que para el 2050 el maricultivo de bivalvos pueda incrementarse entre 6 y 17 % bajo escenarios de las futuras demandas (Costello et al., 2020).

En México, el precio promedio del callo de hacha durante la última década reportado por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados fue de \$385/kg con un precio máximo de \$550/kg en B.C.S. en diciembre del 2023, sin embargo, durante época de invierno se ha reportado precios de \$600/kg en la variedad “riñón” (Bustillo-Ruíz y Monge-Quevedo, 2022). Los principales puntos de venta fueron Yucatán, Veracruz y Baja California Sur, siendo la presentación fresca y congelada la predominante y distribuida a los dos mercados principales de productos pesqueros que se encuentran en Ciudad de México y Guadalajara, Jalisco.

Conclusiones

Han pasado más de 50 años desde que se empezó a explotar el recurso hacha, sin embargo, son pocos los casos de éxito económico, social y comercial. La problemática es compleja, pero enfrenta los mismos retos que la gran parte de las pescas ribereñas y que han sido ampliamente discutidos y analizados tanto por Organizaciones Internacionales y No Gubernamentales, representantes del gobierno federal y estatal, pescadores y comunidad científica (Programa Rector Nacional de Pesca y Acuacultura, 2008; Inteligencia Pública, 2019).

Resulta difícil llegar a un ordenamiento pesquero y manejo sustentable cuando los recursos humanos tanto a nivel central y regional son muy limitados con presupuesto e infraestructura insuficientes para operar de manera continua. La gestión y administración de los permisos de pesca y las cuotas de captura y el acceso a los estadísticos de producción son complicados y deficientes. Siguen predominando los programas de apoyo de gobierno para el pescador, pero sin mecanismos que permitan el acceso a financiamiento de la banca o grupos de capital de manera equilibrada. Al menos en Baja California Sur, el acceso a las zonas más importantes de pesca es difícil, lo que afecta el traslado a puntos de venta lejanos y que en combinación con una limitada red de refrigeración y con

deficientes canales de distribución, hacen que se magnifique el intermediarismo. Adicionalmente no existen plantas de procesamiento industrial que puedan darle valor agregado a las partes no aprovechadas. La explotación integral del recurso hacha podría incluir la venta de conchas para fabricación de joyería, obtención de nácar, producción de perlas (Sturman et al., 2014), uso de los desperdicios para aprovechamiento de productos activos o alimento para otras especies (Toyes-Vargas et al., 2018), entre otros. Adicionalmente, el desconocimiento en gran medida de la condición de salud y de la biología reproductiva de cada una de las especies explotadas, por región, limita el manejo adecuado por lo que se debe seguir estudiando a todas las especies del recurso hacha desde sus aspectos más básicos, la publicación de dicha información puede contribuir a mejorar al sector pesquero y acuícola. Por otro lado, el cuello de botella para el maricultivo sigue siendo el suministro de semilla de laboratorio y la carencia de redes de valor.

Importancia social

La pesca de callo de hacha en el noroeste de México es una actividad de gran relevancia social y económica. Este recurso representa una fuente esencial de empleo y sustento para numerosas familias de pescadores, además de desempeñar un papel clave en los mercados nacionales e internacionales debido a su alta demanda y valor comercial.

La importancia social de este recurso puede ejemplificarse a través de lo sucedido en La Paz, Baja California Sur. El deseo de poder seguir aprovechando este recurso a través del tiempo ha generado que diversos sectores de la población colaboren entre sí, incluyendo a pescadores, asociaciones civiles, instituciones gubernamentales y la comunidad en general. Juntos han desarrollado metodologías innovadoras para evaluar la abundancia del callo de hacha sin necesidad de extraerlo. Asimismo, se han realizado importantes esfuerzos de repoblamiento. Los propios pescadores han impulsado acuerdos de no extracción y han asumido

la responsabilidad de vigilar su cumplimiento, demostrando un compromiso activo con la sostenibilidad de la actividad pesquera y el bienestar de sus comunidades en el futuro (NOS, 2024).

Este ejemplo también nos recuerda que la pesca debe entenderse como un sistema socioecológico, en el que la participación de todos los sectores involucrados es fundamental. La participación de los pescadores, como actores clave en estas actividades productivas, es esencial para garantizar el equilibrio entre la explotación del recurso y su conservación a largo plazo (Cisneros-Montemayor y Cisneros-Mata, 2018).

Perspectivas

Es indudable que las naciones buscamos cumplir con los objetivos del desarrollo económico y ambiental sustentable (Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU). Sin embargo, ya han sido documentados algunos trastornos biológicos y en la composición de ecosistemas tanto costeros como oceánicos que incluyen cambios en la distribución geográfica de las especies, cierre de pesquerías, varamientos masivos de aves y mamíferos como consecuencia del cambio climático (Cavole et al., 2016). Todo lo anterior es muy importante tomando en cuenta que, durante el 2021, 25.6 millones de mexicanos (20.2% de la población) no pudo tener acceso a una dieta sana (FAO, IFAD, PAHO, UNICEF y WFP, 2023). Se estima que si México utilizara tan sólo el 1 % de las áreas susceptible para maricultivo podría producir entre 4 y 8 millones de toneladas de productos del mar (Gentry et al., 2017). Buscar la sustentabilidad pesquera, acuícola, ambiental y económica del recurso hacha requiere superar las dificultades del pasado evitando las malas prácticas para poder enfrentar los retos modernos y eventualmente poder transitar a la llamada “transformación azul” en el que el sector pesquero y acuícola sean reconocidos por su contribución a combatir la pobreza, el hambre y la malnutrición (FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, 2020).

De manera inicial es al pescador y/o acuicultor al que le corresponde el cuidado, la protección y el deterioro del medio ambiente, por lo que son las nuevas generaciones de pescadores y administradores del recurso hacha los que deben buscar las vías y los mecanismos para transformar la manera de hacer negocios y que en conjunto con el avance en el conocimiento formal les permita ser productivos para asegurar la sustentabilidad a través del tiempo. Para que el mercado del callo de hacha sea atractivo y pueda desarrollarse se requieren inversiones y contar con los mercados internacionales que puedan garantizar las exportaciones; mientras que para su comercio se requiere que sea un producto seguro, sin problemas en su distribución, con buena promoción, con un mayor control en los precios, además de un manejo sustentable con el medioambiente.

Literatura citada

- Acarli, S. (2021). Population, aquaculture, and transplantation applications of critically endangered species *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) in the Mediterranean Sea. *Marine Science and Technology Bulletin*, 10(4), 350-369. <https://doi.org/10.33714/masteb.627562>
- Acevedo-Rodríguez, C. (2023). Variabilidad latitudinal en la dinámica poblacional del callo de hacha *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa* en la costa oriental de Sonora. [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste].
- Ahumada-Sempoal, M. A., Serrano-Guzmán, S. J., & Ruiz-García, N. (2002). Abundancia, estructura poblacional y crecimiento de *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) en una laguna costera tropical del Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 50(3-4), 1091-1100.
- Bustillo-Ruíz, M. I., & Monge-Quevedo, A. (2022). Ordenamiento pesquero en territorio etnia comca'ac. En J. A. Caro-Aguilar, R. A. Ramírez-Rodríguez, & L. F. Jiménez-Silva (Eds.), *Pesca y acuicultura en el noroeste de México: Un enfoque multidisciplinario* (pp. 205-257). La Paz, Baja California Sur: Universidad Autónoma de Baja California Sur.

- Camacho-Mondragón, M.A. (2008). Efectos de los fenómenos de “El Niño” y “La Niña” en la reproducción del Hacha China *Atrina maura* en la Ensenada de La Paz, B. C. S. México. [Tesis de maestría. Instituto Politecnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas].
- Carta Nacional Pesquera (2023). Diario Oficial de la Federación. 21 de julio de 2023.
- Cavole, L. M., Demko, A. M., Diner, R. E., Giddings, A., Koester, I., Pagniello, C. M. L. S., & Franks, P. J. S. (2016). Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography*, 29(2), 273–285. DOI 10.5670/oceanog.2016.32
- Cisneros-Montemayor A. M y M. A. Cisneros-Mata. 2018. A medio siglo de manejo pesquero en el noroeste de México, el futuro de la pesca como sistema socioecológico. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad* 153, pp. 99-127. DOI: <http://dx.doi.org/10.24901/rehs.v39i153.392>
- Cisneros-Montemayor, A. M., Cisneros-Mata, M. A., Harper, S., & Pauly, D. (2013). Extent and implications of IUU catch in Mexico’s marine fisheries. *Marine Policy*, 39, 283-288. DOI 10.1016/j.marpol.2012.12.003
- Coan, E. V., Scott, P. V., & Bernard, F. (2000). Bivalve seashells of Western North America. Marine bivalve mollusks from Arctic Alaska to Baja California. Santa Barbara California, USA: Santa Barbara Museum of Natural History.
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., et al. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588, 95–100. DOI 10.1038/s41586-020-2616-y
- Dominguez-Beltrán, R. V. (2023). Efecto de la variación de pH sobre la estructura de la concha y el tejido del mando de juveniles de callo de hacha (*Atrina maura*). [Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste].
- Escamilla-Montes, R., Diarte-Plata, G., Luna-González, A., Fierro-Coronado, J. A., Esparza-Leal, H. M., Granados-Alcantar, S., & Ruiz-Verdugo, C. A. (2017). Ecology, Fishery and Aquaculture in Gulf of California, Mexico: Pen Shell *Atrina maura* (Sowerby, 1835). InTech. doi:10.5772/68135
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2023). GLOBEFISH Highlights Fourth issue 2022, with January–June 2022 Statistics – International markets for fisheries and aquaculture products. Globefish Highlights, No. 4–2022. Rome, Italy.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2020). The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets. Rome, Italy. DOI 10.4060/ca9692en

- FAO, IFAD, PAHO, UNICEF & WFP. (2023). Latin America and the Caribbean – Regional Overview of Food Security and Nutrition 2023: Statistics and trends. Santiago, Chile. DOI 10.4060/cc8514en
- Gentry, R. R., Froehlich, H. E., Grimm, D., Kareiva, P., Parke, M., Rust, M., Gaines, S. D., & Halpern, B. S. (2017). Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nature Ecology & Evolution*, 1(1317-1324). DOI 10.1038/s41559-017-0257-9
- Giménez-Casaldueiro, F., Gomariz-Castillo, F., Alonso-Sarría, F., Cortés, E., Izquierdo-Muñoz, A., & Ramos-Esplá, A. A. (2020). *Pinna nobilis* in the Mar Menor coastal lagoon: a story of colonization and uncertainty. *Marine Ecology Progress Series*, 652, 77–94. DOI 10.3354/meps13468
- Gómez-Valdez, M. M. (2019). Características de la biología reproductiva de dos especies de callo de hacha de importancia comercial en Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur: *Atrina maura* y *Pinna rugosa*. [Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste].
- Gómez-Valdez, M. M., Carvalho-Saucedo, L., Ocampo, L., & Cruz-Villacorta, A. (2019). First record of the nematode *Echinocephalus pseudouncinatus* in an edible, commercial host, the pen shell *Atrina maura*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 167, 107249. DOI 10.1016/j.jip.2019.107249
- Gómez-Valdez, M. M., Ocampo, L., Carvalho-Saucedo, L., & Gutierrez-González, J. L. (2021). Reproductive activity and seasonal variability in the biochemical composition of a pen shell, *Atrina maura*. *Marine Ecology Progress Series*, 663, 99–113. DOI 10.3354/meps13623
- Gómez-Valdez, M. M., Carvalho-Saucedo, L., Ocampo, L., Gutierrez-González, J. L., & Lluch-Cota, D. B. (2024). Hermaphroditism and the impact of environmental variables on atresia prevalence in the pen Shell *Pinna rugosa*. *Marine Ecology Progress Series*, 726, 71–83. DOI 10.3354/meps14478
- Inteligencia Pública (2019). Impacto Social de la Pesca Ribereña en México: Propuestas para impulsar el bienestar social en el sector pesquero. CDMX: EDF de México.
- Lemer, S., Combosch, D., Sotto, F., Giribet, G., Dumale, D., & Soliman, V. (2016). The family Pinnidae (Bivalvia) in the Philippine archipelago: Observations on its distribution and phylogeography. *The Nautilus*, 130(4), 137–145.
- Leyva-Valencia, I., Maeda-Martínez, A. N., Sicard, M. T., Roldán, L., & Robles-Mungaray, M. (2001). Halotolerance, upper thermotolerance, and optimum temperature for growth of the penshell *Atrina maura*. *Journal of Shellfish Research*, 20(1), 49–54.

- Moreno-Dávila, B., Gómez-Gutiérrez, J., Alcoverro, T., Ramírez-Luna, S., Sánchez, C., Balart, E., & Huato-Soberanis, L. (2021). Mass mortality of pen shell *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) due to abrupt population increase of tunicate (*Distaplia* sp.) in a subtropical bay, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 260, 107493.
- NOS Noroeste Sustentable. 2024. Evaluación no extractiva de callo de hacha, una innovación de pescadores de La Paz. En: https://nos.org.mx/el_manglito/evaluacion-no-extractiva-de-callo-de-hacha-una-innovacion-de-pescadores-de-la-paz/ (03/06/2025).
- Palacios-Abrantes, J., Herrera-Correal, J., Rodríguez, S., Brunkow, J., & Molina, R. (2018). Evaluating the bio-economic performance of a Callo de hacha (*Atrina maura*, *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa*) fishery restoration plan in La Paz, Mexico. *PLoS ONE*, 13(12), e0209431. DOI: doi.org/10.1371/journal.pone.0209431
- Programa Rector Nacional de Pesca y Acuacultura (2008) Diagnóstico y planificación regional de la pesca y acuacultura en México. México, CIB, CONAPESCA, SAGARPA
- Rodríguez-Jaramillo, C., Maeda-Martínez, A., Valdez, M., Reynoso-Granados, T., Monsalvo-Spencer, P., Prado-Ancona, D., Cardoza-Velasco, F., Robles-Mungaray, M., & Sicard, T. (2001). The effect of temperature on the reproductive maturity of the penshell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia:Pinnidae). *Journal of Shellfish Research*, 20, 39–47.
- Sturman, N., Homkrajae, A., Manustrong, A., & Somsa-ard, N. (2014). Observations on pearls reportedly from the Pinnidae Family (Pen Pearls). *Gems & Gemology*, 50(3), 202–215.
- Toyes-Vargas, E., Ortega-Pérez, R., Espinoza-Villavicencio, J. L., Arellano-Pérez, M., Civera, R., & Palacios, E. (2018). Effect of marine by-product meals on hen egg production parameters, yolk lipid composition and sensory quality. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102, 462–473.

Para citar esta obra:

Gómez Valdez M.M.* y L. Ocampo. El callo de hacha: biología y bases para un manejo sustentable. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 431-451). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

