

***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***

***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.

COORDINADOR

ORTEGA-RUBIO ALFREDO es Doctor en Ciencias con especialidad en Ecología por el Instituto Politécnico Nacional. Ha obtenido 123 Premios y Reconocimientos, entre ellos 3 Premios Nacionales entregados por el Presidente de la República por su trayectoria en investigación científica aplicada a la conservación de la biodiversidad en Áreas Naturales Protegidas. Presea Lázaro Cárdenas 2013, como Egresado Distinguido del Instituto Politécnico Nacional. Premio Nacional Reconocimiento a la Conservación de la Naturaleza 2003. Premio Nacional al Mérito Nacional Forestal y de la Vida Silvestre 1993. Es Autor de 242 artículos de investigación original. Ha publicado 29 libros y 125 Capítulos de libros. Ha dirigido 86 Tesis incluyendo 48 de doctorado y 32 de maestría. Desde 1986 es Investigador Titular del CIBNOR-CONACYT y desde 2004 es Investigador Titular “E” máxima categoría de la carrera de Investigador en los Centros de Investigación del Sistema CONACYT. Fue ratificado por cuarta ocasión consecutiva como Investigador Nacional Nivel III y actualmente es Investigador Nacional Emérito. Ha dirigido 171 proyectos de manejo de recursos, restauración ecológica e impacto ambiental de gran envergadura entre ellos los que permitieron crear y desarrollar por Decreto Presidencial las Reservas de la Biosfera de Sierra de la Laguna, Desierto del Vizcaíno y Archipiélago Revillagigedo. Correo electrónico: aortega@cibnor.mx

AUTORES

ACOSTA SALMÓN, HÉCTOR. Doctor en Ciencias en Acuicultura por la Universidad James Cook. Líneas de Investigación: Desarrollo de tecnología para el cultivo de perlas; acuicultura de bivalvos; nutrición acuícola; criopreservación. Actualmente Asistente Académico del Programa de Acuicultura del CIBNOR. Correo electrónico: hacostas@cibnor.mx

ACOSTA VELÁZQUEZ JOANNA. Maestra en Ciencias con especialidad en Manejo Ambiental, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Línea de Investigación: Conservación de la biodiversidad, Ecología del Paisaje, Manejo Integral de Cuencas. Actualmente Titular de la Oficina de Representación Estatal en Sinaloa de la Comisión Nacional Forestal. Correo electrónico: joanna.acosta@conafor.gob.mx

ALCÁNTARA RAZO EDGAR. Maestro en Ciencias con especialidad en el Manejo de Recursos Marinos por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. Líneas de investigación: Ecología y Oceanografía pesquera. Actualmente Técnico Titular C adscrito a la Unidad Guaymas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. como Responsable del Laboratorio de Ecología Aplicada y Pesquerías. Correo electrónico: earazo04@cibnor.mx

ÁLVAREZ TELLO JAVIER, Maestro en Ciencias por el Instituto Tecnológico de Guaymas. Líneas de Investigación en Ecología Pesquera. Actualmente trabaja en la empresa Neptuno Alimentos del Mar en el área de inocuidad alimentaria. Correo electrónico: eltello@gmail.com

ANGUIANO VEGA GERARDO ALFONSO. Licenciatura en Biología por la Facultad de Ciencias de la UNAM. Maestría y Doctorado en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de Recursos Naturales por el CIBNOR. Profesor de Tiempo Completo en Facultad de Ciencias Químicas, Durango. Universidad Juárez del Estado de Durango. Sus líneas de Investigación son: Desarrollo y caracterización de biomarcadores moleculares de interés médico, ambiental o industrial. Epidemiología molecular en salud pública y ambiental. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Correo electrónico: gerardo.anguiano@ujed.mx

ARAGÓN NORIEGA EUGENIO ALBERTO. Doctor en ecología marina por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Líneas de investigación: Recuperación, Ordenamiento y Sustentabilidad de Pesquerías. Actualmente Investigador Titular D en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. y Nivel III del SNII. Correo electrónico: aaaron04@cibnor.mx

ARMENTA-QUINTANA JOSÉ ÁNGEL. Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Profesor-investigador del Departamento de Ciencia Animal y Conservación de Hábitat de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), Líneas de investigación aprovechamiento y la conservación de los recursos regionales. Valor nutritivo de las plantas del agostadero y su uso potencial en la ganadería. Ha participado recientemente en varios proyectos de investigación relacionados con la diversidad de organismos en las zonas costeras de Baja California Sur.

ARNAUD FRANCO GUSTAVO ALBERTO. Doctor por la Universidad de París Nord (XIII), Investigador titular en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Desarrolla investigación en aspectos de historia natural y conservación de recursos faunísticos, particularmente mamíferos medianos y serpientes de cascabel. Miembro del SNII nivel 1. garnaud04@ibnor.mx

ARREOLA LIZÁRRAGA JOSÉ ALFREDO. Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Líneas de investigación: Ecología de Ecosistemas Costeros; Manejo Costero; Áreas Naturales Protegidas; Ordenamiento Ecológico; Evaluación de Impacto Ambiental; Ecología de Poblaciones y Comunidades Marinas. Actualmente Investigador Titular “C” en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Nivel III del SNII. Correo electrónico: aarreola04@cibnor.mx

ÁVILA FLORES GIOVANNI. Doctor en Ciencias Marinas y Costeras por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Líneas de investigación: Manglares, Servicios ecosistémicos de humedales costeros, Manejo sustentable y Soluciones basadas en la naturaleza. Actualmente Director Adjunto de la Oficina de Proyectos Internacionales de Future Earth Coasts para América Latina y el Caribe y Candidato a Investigador del SNII. Correo electrónico: g.avila@uabcs.mx

AVILÉS POLANCO GERZAÍN. Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR). Líneas de investigación: economía ambiental; desarrollo sustentable. Actualmente Investigador Titular A del CIBNOR y Nivel II del SNII. Correo electrónico: gpolanco@cibnor.mx

BELTRÁN MORALES LUIS FELIPE. Doctor en Ciencias Ambientales por el Centro EULA (Europa-Latinoamérica) de la Universidad de Concepción, Chile. Líneas de Investigación: economía de recursos naturales, economía de la innovación y desarrollo sustentable. Actualmente Investigador Titular del CIBNOR y Nivel III del SNII. Correo electrónico: ibeltran04@cibnor.mx

CASANOVA VALERO, CAROLINA. Maestra en Ciencias Sociales con especialidad en Desarrollo Sustentable y Globalización por la Universidad Autónoma de Baja California Sur y Licenciada en Relaciones Internacionales por el Tecnológico de Monterrey. Actualmente Técnico de Análisis y Seguimiento de la Coordinación del Programa de Acuicultura del CIBNOR. Correo electrónico: ccasanova@cibnor.mx

CERVANTES BERNAL, PERLA SOL. Licenciada en Administración y Gestión del Turismo por la Universidad Mundial. Actualmente Asistente Administrativa de la Coordinación del Programa de Acuicultura del CIBNOR. Correo electrónico: pcervantes@cibnor.mx

CHÁVEZ LÓPEZ SAÚL. Doctor en Ciencias del Mar de la Universidad Politécnica de Cataluña. Áreas de investigación Procesos costeros, Riesgo y vulnerabilidad a inundaciones y Geohidrología. Actualmente colaborador externo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Correo electrónico: salchavlop62@gmail.com

CÓRDOVA MURUETA JULIO HUMBERTO. Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el CIBNOR. Línea de investigación: Biotecnología marina; enzimas digestivas; procesamiento de productos de la pesca; proteínas de origen marino. Actualmente Investigador Titular A del CIBNOR. Correo electrónico: jcordova@cibnor.mx

ESPINOSA CHAURAND LUIS DANIEL. Doctor en Ciencias especialista en Ecofisiología y nutrición acuícola por la Universidad de Guadalajara. Líneas de investigación: Ecofisiología de organismos acuáticos, nutrición y alimentación acuícola, y zootecnia acuícola. Actualmente Investigador Titular "A" de la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y Nivel 1 de SNII. lespinosa@cibnor.mx

FARACH ESPINOZA EDGARDO BASILIO, Doctor en Ciencias por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Líneas de Investigación en Ecología Pesquera y Relación ambiente-recurso. Actualmente es Investigador Posdoctoral en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas y Nivel Candidato del SNII. Correo electrónico: efarach@pg.cibnor.mx

FIMBRES-ACEDO YENITZE ELIZABETH. Doctora en Ciencias con especialidad en acuicultura por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Líneas de investigación: Sistemas agroacuícolas (acuaponia, floconic, biofloc), acuicultura dulceacuícola, innovación y producción circular. Investigadora Titular A de la Unidad Nayarit del CIBNOR. Correo electrónico: yfimbres@cibnor.mx

GARCÍA MORALES RICARDO. Doctor en Ciencias Marinas con especialidad en Ecología Pesquera, Acuicultura por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas CICIMAR-IPN. Líneas de Investigación: Reproducción acuícola, variabilidad ambiental y relaciones ambiente-recurso. Actualmente Investigador Titular B en la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y Nivel 1 del SNII. Correo electrónico: rgarcia@cibnor.mx

GARZA TORRES RODOLFO. Doctor en Ciencias con especialidad en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Líneas de investigación: Zootecnia de peces y especialista en sistemas de producción acuícola. Actualmente Investigador por México-SECIHTI en la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Nivel 1 del SNII. Correo electrónico: rgarza@cibnor.mx

GÓMEZ ANDURO GRACIA ALICIA. Doctor en ciencias por el centro de investigación en alimentación y desarrollo A. C. Investigador Titular del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Líneas de investigación: Biotecnología aplicada, Biología Molecular, valor agregado a productos de sector primario,

agrotecnologías aplicada a comunidades rurales y sectores vulnerables. Nivel I del SNII. Correo electrónico ggomez@cibnor.mx.

GÓMEZ VALDEZ M. MAGALI. Doctora en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Actualmente investigadora posdoctoral SECIHTI – CIBNOR. Líneas de investigación: fisiología marina; estrés ambiental; moluscos. Nivel candidato del SNII. Correo electrónico: magova88@gmail.com

GONZÁLEZ ZAMORANO PATRICIA. Doctora en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. Líneas de Investigación: Ecología de manglares, Ecología del Paisaje, Diagnóstico, Manejo y Conservación de Ecosistemas costeros; Análisis de Vulnerabilidad, Cambio climático, Modelado de Nicho Ecológico y Modelado Geoespacial. Actualmente Técnico Académico (Titular “C”) del CIBNOR y miembro del Sistema Estatal de Investigadores en BCS. Correo electrónico: zamorano04@cibnor.mx

GUERRERO CÁRDENAS ISRAEL. Doctor en Ciencias Biológicas y de la Salud por Universidad autónoma Metropolitana (UAM-I). Posdoctorante SECIHTI en la UABCS. Técnico académico titular C y responsable del Laboratorio de Ecología Animal en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Las líneas de investigación las desarrolla en las áreas de Ecología animal, Ecología funcional y manejo y conservación de fauna terrestre de zonas áridas. Miembro del SNII nivel 1. guerrero04@ibnor.mx

GUERRERO TORTOLERO, DANITZIA ADRIANA. PhD en Ciencias por la Universidad de Stirling, UK. con especialidad en Fisiología Reproductiva y Endocrinología de Peces. Investigadora Titular. Actualmente Coordinadora del Programa de Acuicultura del CIBNOR, Nivel I del SNII. Correo electrónico: daguet04@cibnor.mx

HERNÁNDEZ GONZÁLEZ JULIO ANTONIO. Doctorado en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Técnico Titular C del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Líneas de investigación: Bioinformática de microorganismos, biología molecular, biotecnología vegetal. Nivel Candidato en el SNI. Correo electrónico jahernan04@cibnor.mx

HERNANDEZ MONTIEL LUIS GUILLERMO. Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). Líneas de investigación: Biotecnología Microbiana; Fitopatología Molecular; Nano-fungicidas; Microorganismos Extremófilos. Actualmente es Investigador Titular C y Coordinador del Programa de Agricultura en Zonas Áridas del CIBNOR y Nivel III del SNII. Correo electrónico: lhernandez@cibnor.mx

HERNÁNDEZ-SAAVEDRA NORMA YOLANDA. Doctora en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el CIBNOR. Línea de investigación: Biología, genética y bioquímica molecular; biotecnología marina; biotecnología molecular; mareas rojas. Actualmente Investigador Titular C del CIBNOR y Nivel II del SNII. Correo electrónico: nhernan04@cibnor.mx

HERRERA VALDIVIA ELOISA, Doctora en Ciencias Biológico-Agropecuarias por la Universidad Autónoma de Nayarit. Línea de investigación de Ecología Pesquera. Actualmente es Técnico Titular C del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas. Correo electrónico: eloisa04@cibnor.mx

HUATO SOBERANIS LEONARDO. Egresado del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, con una Maestría en Ciencias en Ciencias Pesqueras en la misma Institución, y un PhD en Manejo de Recursos Marinos Renovables por la University of British Columbia. Investigador Nacional Nivel I. Correo electrónico: luato@cibnor.mx

IMAZ LAMADRID MIGUEL ÁNGEL. Doctor en Ciencias Marinas y Costeras de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Actualmente profesor-investigador del Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías de la UABCS y responsable de carrera de la Ingeniería en Prevención de Desastres y Protección Civil. Correo electrónico: imaz@uabcs.mx

LAFARGA DE LA CRUZ FABIOLA. Doctora en Acuicultura, por el Programa Cooperativo de la Universidad de Chile, Universidad Católica del Norte y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Santiago, Chile. Líneas de investigación: Genómica de organismos acuáticos, Vinculación con empresas acuícolas para realizar estudios genéticos en organismos acuáticos, mejoramiento genético, cultivo moluscos, genética poblacional. Actualmente Investigador Titular Departamento de Acuicultura del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Miembro nivel I del SNII. Correo electrónico: flafarga@cicese.edu.mx

LÓPEZ AGUILAR RAÚL. Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de Tottori, Japón. Líneas de investigación: mecanismos de tolerancia a salinidad en plantas; Sistemas Productivos Agrícolas con alta eficiencia en el uso de agua de riego y fertilizantes. Actualmente Investigador Titular A en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Correo electrónico: daguilar04@cibnor.mx

LÓPEZ AMADOR RIGOBERTO. Maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Especialidad en Reproducción Animal. Líneas de investigación: Reproducción asistida en especies de interés agropecuario; comportamiento y salud de los rebaños caprinos en pastoreo. Actualmente Técnico Titular C en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Correo electrónico: rlamador@cibnor.mx

LÓPEZ CORTÉS ALEJANDRO. Doctor en Biotecnología por la Universidad Autónoma de México: Líneas de investigación: ecología microbiana y biotecnología. Actualmente Profesor Investigador Titular B del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y Nivel II del SNII. alopez04@cibnor.mx

LÓPEZ MARTÍNEZ JUANA, Doctora en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. Líneas de investigación de Impacto de la pesca en los ecosistemas marinos, Recursos Pesqueros Potenciales y Relación ambiente-recurso. Actualmente Investigador Titular C del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas y Nivel III del SNII. Correo electrónico: jlopez04@cibnor.mx

MAEDA MARTÍNEZ ALFONSO NIVARDO. PhD en la Universidad de Southampton, Inglaterra, con especialidad en ecofisiología de organismos acuáticos. Líneas de investigación: Acuicultura y ecofisiología de moluscos, peces y microalgas. Actualmente Investigador Titular "D" y Coordinador de la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Nivel 3 del SNII. Correo electrónico: amaeda04@cibnor.mx

MANZANO SARABIA MERCEDES MARLENNE. Doctora en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Líneas de investigación: Percepción remota, Ecología marina, Cambio climático. Actualmente Profesor-Investigador Titular C de la

Universidad Autónoma de Sinaloa y Nivel II del SNII. Correo electrónico: mmanzano@uas.edu.mx

MARES MAYAGOITIA JORGE ALBERTO. Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con Especialidad en Biología Marina por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Líneas de investigación: Genómica Poblacional y Genómica del Paisaje Marino. Actualmente en una Estancia Posdoctoral por Proyecto en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Correo electrónico: jmares@cicese.mx

MEJÍA RUÍZ PAULINA. Doctora en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con Especialidad en Biología Marina por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Líneas de investigación: Genómica poblacional y análisis transcriptómico de organismos marinos, conservación de recursos pesqueros, desarrollo de herramientas moleculares para manejo pesquero Investigadora Posdoctoral en el Laboratorio de Genómica Funcional, Departamento de Biotecnología Marina, en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) con Nivel Candidato del SNII. Correo electrónico: pmejia@cicese.mx

MELERO ASTORGA JOSÉ MANUEL Médico Veterinario Zootecnista por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Técnico Titular C del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Líneas de investigación: Forrajes, manejo de cultivos ganaderos. Correo electrónico mmelero04@cibnor.mx

MORALES AZPEITIA RUFINO, Doctor en Ciencias Biológico- Agropecuarias por la Universidad Autónoma de Nayarit. Líneas de investigación en Ecología Pesquera. Actualmente Técnico Titular E en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas. Correo electrónico: mmorales04@cibnor.mx

MORELOS CASTRO ROSA MARÍA. Doctora en Ciencias con especialidad en Genética y Genómica aplicada a la acuicultura. Líneas de investigación: Utilización de marcadores moleculares para la identificación, caracterización, conservación y mejoramiento de especies acuáticas. Actualmente Investigadora por México-SECIHTI en la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Nivel 1 del SNII. Correo electrónico: rmorelos@cibnor.mx

MORENO DÁVILA BETZABÉ BERENICE. Egresada de la Universidad del Mar, con un doctorado en Ciencias en el uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Líneas de Investigación: Taxonomía y reproducción de ascidias, su impacto como especies invasoras marinas. Actualmente, realiza Estancia Posdoctoral en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y Nivel Candidato del SNII. Correo electrónico: bb.morenodavila@gmail.com

MURILLO AMADOR BERNARDO. Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con especialidad en Ecología en Zonas Áridas por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Líneas de investigación: Fisiotecnia y prácticas agronómicas de cultivos alternativos, su relación con la tolerancia a factores adversos y caracterizaciones espaciales y morfo-fisio-genéticas de especies como recursos fitogenéticos potenciales para las zonas áridas y semiáridas. Actualmente Investigador Titular D en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. y Nivel III del SNII. Correo electrónico: bmurillo04@cibnor.mx

NAVARRO MURILLO RODOLFO. Biólogo por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, 44 años de experiencia en la acuicultura de peces de agua dulce y camarón, con conocimientos y experiencia en Administración de Centros Públicos, así como empresas acuícolas a nivel gerencial. Actualmente

Técnico Titular “C” en la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Correo electrónico: rnavarro@cibnor.mx

NEVÁREZ LÓPEZ CINTYA ALEJANDRA, Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Líneas de investigación en Ecofisiología y Genómica Funcional. Actualmente es Investigadora Posdoctoral en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Unidad Mazatlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México y Nivel Candidato en SNII. Correo electrónico: cintya_nevarez@hotmail.com

NIETO-GARIBAY ALEJANDRA. Doctor en Ciencias Biológicas por el Centro Universitario de Ciencias Biológicas de la Universidad de Guadalajara. Líneas de investigación: Ecofisiología y relaciones hídricas de cultivos en zonas áridas y semiáridas, agroecología, agricultura orgánica, fertilizantes de origen natural. Actualmente Investigadora Titular C en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. y Nivel II del SNII. Correo electrónico: anieto04@cibnor.mx

NIETO PESCADOR MARÍA GUADALUPE. Universidad Juárez del Estado de Durango Profesor Investigador Categoría F2 Facultad de Ciencias Químicas. Línea de investigación: estudiar la farmacodinamia molecular de extractos naturales para el tratamiento de enfermedades crónicas principalmente diabetes y el cáncer, así como la genética y epigenética relacionada con la etiología de enfermedades mentales como la depresión, ansiedad y adicciones. También es de mi interés estudiar caracterización alteraciones en la expresión y modificación de proteínas inducidas por la exposición a contaminantes químicos como metales pesados y plaguicidas. Correo: mgnieto@ujed.mx

OCAMPO LUCÍA. Doctor en Ciencias en el Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con especialidad en Acuicultura por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Líneas de investigación: fisiología marina;

estrés ambiental; cultivo de medusas. Actualmente Profesor Investigador Titular A en CIBNOR y Nivel I del SNII. Correo electrónico: locampo@cibnor.mx

OCHOA GÓMEZ JONATHAN. Biólogo Marino por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Líneas de Investigación: Dinámica de Carbono en Humedales Costeros y Servicios Ecosistémicos. Actualmente profesor de la Universidad Autónoma de Baja California Sur y Nivel I del SNII. Correo electrónico: jochoa84@gmail.com

ORDUÑO CRUZ ANDRÉS. Doctor en Ciencias por el Colegio de Postgraduados, en México. Líneas de investigación: botánica estructural y mecanismos fisiológicos de resistencia a la sequía; diseño de métodos de enseñanza y difusión del conocimiento en poblaciones jóvenes. Actualmente Investigador Asociado C en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Correo electrónico: aorduno@cibnor.mx

PADILLA SERRATO GUILLERMO ISMAEL. Ingeniero en pesquerías, opción Acuicultura por el Instituto Tecnológico de Guaymas. Línea de Investigación: Ecología costera. Actualmente Técnico Asociado C adscrito a la Subcoordinación de Estudios Socio- Ambientales y Servicios Especializados en el Laboratorio de Manejo Costero de la Unidad Guaymas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Correo electrónico: gserrato@cibnor.mx

PADILLA SERRATO JESÚS GUADALUPE. Doctor en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con especialidad en Biología Marina por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Línea de investigación: Ecología de moluscos marinos. Actualmente Investigador por México-SECIHTI asignado a la Facultad de Ecología Marina en la Universidad Autónoma de Guerrero y Nivel I SNII. Correo electrónico: jesuspadilla@uagro.mx, jpadilla@secihti.mx

PARRA UNDA JESÚS RICARDO. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor e Investigador Titular de Tiempo Completo en Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Unidad de Investigaciones en Salud Pública “Dra Kaethe Willms” del 2015 a la fecha. Sus líneas de Investigación están relacionadas con evaluación y búsqueda de compuestos con actividad antibacteriana contra organismos multirresistentes. Estudio y análisis de microorganismos para la búsqueda de blancos farmacológicos en las áreas de Biología Molecular, Genómica y Bionformática. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Correo ricardoparraund@uas.edu.mx

PAYAN CÁZARES EFRAÍN. Biólogo por la Escuela de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Líneas de Investigación: Agricultura Sustentable. Correo electrónico epayanbiocarbono@gmail.com

RAMÍREZ MOSQUEDA MARCO ANTONIO. Doctor en Ciencias en Ecología y Biotecnología por la Universidad Veracruzana. Actualmente: Investigador Titular “C” del Centro Nacional de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Líneas de Investigación: biotecnología vegetal; cultivo de tejidos vegetales. Nivel I del SNII. Correo electrónico: ramirez.marco@inifap.gob.mx

RAMÍREZ ORDUÑA RAFAEL. Doctor en Ciencias Biológicas por la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Líneas de investigación; Aprovechamiento y conservación de los recursos regionales, Fisiología de los procesos productivos animales, Biotecnología de la producción y salud animal y Desarrollo agropecuario regional. Es responsable del Laboratorio de Nutrición Animal, del Laboratorio de Morfofisiología Animal, de la Unidad de Silvestre y del Centro de Investigación para la Vida Silvestre (CIVS-UABCS), ramirez@uabcs.mx

RENDÓN von OSTEN JAIME. Doctor en Biología con especialidad en Ecotoxicología por la Universidad de Aveiro. Líneas de investigación: Química ambiental de contaminantes persistentes y ecotoxicología. Actualmente Profesor Investigador Titular C de la Universidad Autónoma de Campeche. Nivel 3 del SNII. Correo electrónico: jarendon@uacam.mx

REYES-BOLAÑOS FANY. Bióloga de formación por la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco (UAM-X). Ha colaborado con diferentes investigadores del CIBNOR en el área de conservación de fauna silvestre. Participó en el Laboratorio de Ecología Animal en diversas actividades relacionadas con la investigación científica de fauna silvestre. Actualmente trabaja como guía en el Jardín Etnobotánico de Baja California Sur.

RIVERA-PÉREZ CRISALEJANDRA. Doctora en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el CIBNOR. Línea de investigación: Bioquímica y biología molecular; biotecnología marina; fisiología de invertebrados marinos y cambio climático; ómicas de organismos marinos. Actualmente Investigador Titular A del CIBNOR y Nivel I del SNII. Correo electrónico: crivera@cibnor.mx

ROMERO FIGUEROA GUILLERMO. Doctorado en ciencias agropecuarias. Ha participado en la reintroducción de borregos en la reserva de CEMEX en Coahuila. Responsable del proyecto borrego cimarrón del Zoológico de San Diego. Profesor-investigador en la Facultad de Ciencias de la UABC. Sus líneas de investigación son la Biología de la Conservación, la Ecología Animal y Forestal y el Manejo de Vida Silvestre. Miembro del SNII nivel 1. gromero4@uabc.edu.mx

ROMERO LÓPEZ BLANCA ESTELA. Doctora en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Líneas de investigación: Interacciones suelos-plantas en zonas áridas, Ecología Microbiana. Actualmente Técnico Académico (Titular “C”) del CIBNOR. Nivel I del SNII. Correo electrónico: bromero@cibnor.mx

RUIZ BACA ESTELA. Es Químico Farmacéutico Biólogo y Doctor en Ciencias (en Biología) por la Universidad de Guanajuato. Realizó una estancia posdoctoral en la UNAM. Profesor investigador en la Facultad de Ciencias Químicas de la UJED por 18 años. Cuenta con perfil PRODEP y es nivel 2 DEL SNII. Su línea de investigación está relacionada con el estudio de proteínas y metabolitos de interés biotecnológico. eruiz@ujed.mx

SÁNCHEZ PAZ ARTURO. Doctor en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC (CIAD). Líneas de investigación: Identificación de virus marinos en el Golfo de California y evaluación de su abundancia y diversidad; Ecología molecular de la interacción virus-hospedero. Actualmente Investigador Titular B responsable del Laboratorio de Virología en la Unidad Hermosillo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC (CIBNOR). Nivel II del SNII. Correo electrónico: asanchez04@cibnor.mx.

SEMINARIO PEÑA JOSELYN VANESSA. Doctora en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Líneas de investigación: Ecología vegetal en Cactáceas, Fisiología, Botánica. Actualmente Especialista Ambiental en Aspectos Biológicos en SENACE (Lima, Perú). Correo electrónico: jovasepe@gmail.com

TROYO DIÉGUEZ ENRIQUE. Doctor en Ciencias (Biología) por la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Líneas de investigación: Agroecología, edafología e hidrología ambiental, diagnóstico de cuencas en zonas

áridas. Actualmente Investigador Titular "D" en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y profesor en el Programa de Posgrado y Formación de Recursos Humanos; miembro del SNII Nivel III. Correo-e: etroyo04@cibnor.mx

VALENZUELA QUIÑONEZ FAUSTO. Doctor en Ciencias en el Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con especialidad en Biología Marina por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR). Líneas de investigación: Genómica poblacional. Actualmente Profesor Investigador Titular CIBNOR y Nivel I del SNII. Correo electrónico: fvalenzuela@cibnor.mx

VARGAS PERALTA CARMEN ELVIRA. Doctor en Ciencias en Ciencias de la vida con orientación en Biotecnología Marina por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, (CICESE). Líneas de investigación: Identificación molecular de especies marinas para fortalecer la trazabilidad de productos pesqueros y Genómica poblacional. Actualmente Técnico Titular del Laboratorio de Genética Acuícola del Departamento de Acuicultura del CICESE, con Nivel Candidato del SNII. Correo electrónico: cevargas@cicese.edu.mx

VÁZQUEZ BOUCARD CELIA GLORIA. PHD Ciencias Biológicas por la Universidad de Caen Francia. -Actualmente Investigador Titular C- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste -Líneas de investigación: Reproducción, Contaminación y Toxicología Genética-Nivel 2 del SNII. Correo electrónico: cboucardo4@cibnor.mx

VEGA PERALTA JUAN BAUTISTA. Ingeniero Industrial en Electrónica. Instituto Tecnológico de Hermosillo. Coordinador de la Unidad Hermosillo (2019-2025). Técnico Titular C en la Unidad Hermosillo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC (CIBNOR). Correo electrónico: jbvega04@cibnor.mx.

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

SECCIÓN I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

José Alfredo Arreola Lizárraga * y Alfredo Ortega-Rubio

aarreola04@cibnor.mx

Esta obra expone el papel de un Centro Público de Investigación en la generación de conocimiento, formación de recursos humanos, y apropiación social del conocimiento científico, destacando su incidencia en el bienestar social. El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., (CIBNOR) fue creado en 1975 en la ciudad de La Paz, BCS y es uno de los 26 Centros bajo la coordinación del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. Actualmente, el CIBNOR cuenta con su sede en La Paz, BCS y cuatro Unidades Foráneas ubicadas en Guerrero Negro, BCS, Hermosillo, Sonora, Guaymas, Sonora y Tepic, Nayarit.

En este esfuerzo editorial, personal académico de los programas de investigación: Ecología pesquera, Acuicultura, Planeación Ambiental y Conservación, Agricultura de Zonas Áridas; así como de las Unidades foráneas, exponen las aportaciones históricas de la investigación científica y casos de estudio del quehacer científico con incidencia en el bienestar de la sociedad.

El libro está estructurado en tres partes. En la primera, los capítulos abordan las aportaciones históricas de la investigación científica al bienestar comunitario, por los programas de investigación del CIBNOR. En particular, Alejandro López, escribe acerca del Programa de Planeación Ambiental y Conservación orientado a contribuir en mantener la integridad funcional de los socio-ecosistemas, conservar la biodiversidad y la salud ambiental que permitan fortalecer la resiliencia de los sistemas naturales y sociales. Luis Guillermo Hernández, sobre el programa de Agricultura en Zonas Áridas orientado al desarrollo de estrategias

INTRODUCCIÓN

agrobiotecnológicas que permitan fortalecer los agro-sistemas en las zonas áridas y semi-áridas. Danitzia Guerrero y colaboradores, sobre el programa de Acuicultura, donde se realiza investigación para mejorar tecnologías aplicadas al cultivo de organismos acuáticos, así como para la producción de especies con alto valor nutritivo, económico y ecológico. Crisalejandra Rivera, sobre el programa de Ecología Pesquera, donde la investigación pesquera se realiza con nuevos enfoques metodológicos, y se propone el uso racional y eficiente de los recursos, evaluando el impacto de la actividad en los ecosistemas marinos.

La segunda parte del libro contiene capítulos que abordan la trayectoria, la vocación y el quehacer científico de las Unidades foráneas. Raúl López y colaboradores, escriben acerca de la Unidad Guerrero Negro, donde se han desarrollado proyectos, asesorías, componentes de desarrollo comunitario y servicios técnicos especializados con un fuerte compromiso de socialización y extensión del conocimiento técnico-científico generado de sus investigaciones agropecuarias en zonas áridas. Juan Bautista Vega y Arturo Sánchez, abordan las aportaciones históricas de la Unidad Hermosillo, que inició como una entidad de instrumentación electrónica, pero su vocación actual se enfoca en investigaciones y servicios de sanidad acuícola. José Alfredo Arreola, expone la trayectoria de la Unidad Guaymas y sus contribuciones a la sociedad mediante la promoción de la cultura científica, la formación de capital humano, así como la generación y aplicación de conocimiento científico en temas de ecología pesquera, acuicultura, planeación ambiental y conservación de la zona costera. Alfonso Maeda y colaboradores, proporciona información de la historia y el desarrollo de la Unidad Nayarit, exponiendo las contribuciones científicas y tecnológicas sobre la tilapia, ostión de placer y otros temas relevantes, incluyendo la producción de crías de tilapia y sus impactos sociales.

La tercera contiene capítulos que abordan estudios emblemáticos del quehacer científico con compromiso social del CIBNOR. Contribuciones del personal académico del programa de Planeación Ambiental y Conservación

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

corresponden a Luis Beltrán y colaboradores, quienes escriben sobre la valoración económica de recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales en Baja California Sur. Patricia González y colaboradores, explican los servicios de los manglares del Noroeste de México a la sociedad, considerando que este conocimiento generará mayor conciencia para su cuidado y conservación. Saúl Chávez y Ángel Imaz, aborda el tema de las costas del noroeste de México, indicando conceptos claves para orientar la gestión costera. Celia Vázquez y colaboradores, escriben acerca de los agroquímicos y sus efectos en la salud humana, y aportan evidencias de daños genotóxico, genético y epigenético en población humana expuesta, para orientar la toma de decisiones en la protección de la salud. Israel Guerrero y colaboradores, exponen el aprovechamiento del borrego cimarrón, como recurso natural por comunidades ejidales de Baja California Sur.

En el programa de Ecología pesquera, Julio Humberto Córdova y colaboradores, abordan la valorización de productos pesqueros, destacando la importancia de aprovechar tanto los recursos pesqueros como sus residuos para agregarles valor, debido a que este enfoque integral proporciona beneficio económico a la industria y refleja la responsabilidad ambiental. Cintya Nevárez y colaboradores, presentan el 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. Betzabé Moreno y Leonardo Huato, escriben acerca de la invasión de ascidias sobre bancos de hachas en la Bahía de La Paz, BCS, la importancia estriba en que las hachas son bivalvos de alto valor comercial en la gastronomía donde se consume su músculo conocido como “callo de hacha”. Fausto Valenzuela y colaboradores, abordan la importancia de los estudios genéticos para la conservación y manejo de recursos pesqueros en el Noroeste de México, mostrando como caso de estudio la pesquería del abulón. Alberto Eugenio Aragón, escribe sobre el impacto social de la pesca en las comunidades litorales del Alto Golfo de California. Edgar Alcántara y colaboradores, abordan la pesca como detonante del bienestar común del pueblo Yaqui. Magali Gómez y Lucía Ocampo,

INTRODUCCIÓN

escriben acerca del callo de hacha: biología y economía hacia un manejo sustentable.

En el programa de Agricultura de zonas áridas, Gracia Gómez y colaboradores, presentan la contribución: cultivando el futuro de las etnias del Noroeste de México con ciencia agrícola y bienestar comunitario; donde documentan la experiencia de promover actividades agrícolas sobre la base de que el bienestar comunitario no se limita únicamente a la producción de alimentos, sino que busca fortalecer las economías locales, promover la generación de empleo bien remunerado y mejorar las condiciones de vida. Yenitze Fimbres y Rodolfo Garza, escriben acerca del manejo del recurso hídrico en los sistemas agroacuícolas con la visión de que se desarrollen como “granjas cero desechos” mediante procesos circulares y regenerativos, que permitan el reciclaje de nutrientes y reaprovechamiento del recurso hídrico. Alejandra Nieto y colaboradores, escriben acerca de los recursos vegetales emergentes para la agricultura de zonas áridas ante el agotamiento hídrico y el cambio climático.

Las contribuciones de esta obra dan constancia del papel que juega el CIBNOR en la generación de conocimiento orientado al bienestar de la sociedad, a la cual debe su razón de ser.

Para citar esta obra:

Arreola Lizárraga, J.A. y A. Ortega-Rubio. 2025. Introducción. En: Ortega-Rubio (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 7-11). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

SECCIÓN II

PROGRAMAS ACADÉMICOS

CAPÍTULO 2

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

Alejandro López Cortés

alopez04@cibnor.mx

Resumen

En este trabajo se presentan los determinantes sociales del Programa de Salud y Bienestar Comunitario del Gobierno Federal, cuya función es apoyar a las localidades de alta y muy alta marginación con procesos de organización y participación social. Además, se dan a conocer un total de 26 proyectos ejecutados y concluidos en la última década, por parte de investigadores del Programa Académico de Planeación Ambiental y Conservación (PLAYCO) del CIBNOR, destacando que mas del 40% inciden en el determinante social de sustentabilidad, el 22% corresponden al autocuidado de la salud, el 11% se alinean ha alimentación saludable y local, y con valores menores al 10% economía comunitaria, gestión integral de riesgos, recreación y vivienda. Debido a la amenaza a la biodiversidad del país y a sus sistemas socio-ecológicos tradicionales, el personal académico del PLAYCO ha realizado históricamente un fuerte trabajo para su conservación, particularmente con la colaboración para la declaratoria y manejo de Áreas Naturales Protegidas, caracterizándolas como Parques Nacionales, Reservas de la Biosfera, y Áreas de Protección de Flora y Fauna, además, particularmente en los ecosistemas desérticos, humedales, islas, oasis, bosques y sistemas socio-ecológicos tradicionales.

Palabras clave: Salud y bienestar comunitario, programa académico de planeación ambiental y conservación, sustentabilidad, biodiversidad, socio-ecosistemas.

Abstract

The present document, describes the social determinants considered by the Federal Government's Community Health and Wellbeing Program, which functions relies to support high and very-high marginalized localities, through social organization and participation processes. Moreover, twenty-six projects that were executed and concluded during the last decade, by researchers from the Academic Program of Environmental Planning and Conservation (PLAYCO) of CIBNOR, are highlighted. Remarkably, more than 40% have had a direct relation over social determinant of sustainability, a 22% corresponded to self-care of health; 11% were aligned with healthy nutrition and local eating patterns. Meanwhile community economy, comprehensive risk management, recreation and housing, accounted for less than 10%. Owing to the threat to the national biodiversity, as well as its traditional socio-ecological systems, the PLAYCO academic staff has historically carried out important conservation efforts. Particularly, the academic staff of the program has worked jointly, for the establishment and management of Protected Natural Areas, characterizing them as National Parks, Biosphere Reserves, and protection Areas of Flora and Fauna, in particular in the desert ecosystems, wetlands, islands, oases, forests and traditional socio-ecological systems.

Keywords: Community health and well-being, academic program of environmental planning and conservation, sustainability, biodiversity, socio-ecosystems.

Determinantes sociales para la salud y bienestar comunitario

El Programa de Salud y Bienestar Comunitario del Gobierno Federal, busca apoyar a las localidades de alta y muy alta marginación con procesos de organización y participación social, a través del desarrollo de capacidades, con la finalidad de mejorar la salud comunitaria con incidencia positiva de los siguientes determinantes sociales: 1. Autocuidado de la salud, 2. Alimentación saludable y local, 3. Recreación, 4. Vivienda, 5. Economía comunitaria, 6. Gestión integral de riesgos y 7. Sustentabilidad (Figura 1).



Figura 1. Determinantes Sociales para la Salud y Bienestar Comunitario.

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

A través de este programa se busca fortalecer el bienestar comunitario, entendido como la presencia de capacidades individuales y colectivas que, desde un enfoque de derechos, se orientan a generar alternativas de solución para la satisfacción de necesidades básicas (comida, agua, protección, ingreso, seguridad y trabajo), el mantenimiento o mejora del entorno ecológico, una convivencia bajo los términos de igualdad, equidad y solidaridad, así como la prevención y resiliencia ante emergencias y desastres (Navarro 2019, pp. 1-7; Sánchez 2023, pp. 1-2).

Alineación del Programa Académico de Planeación Ambiental y Conservación y programa de salud y bienestar comunitario

Con este contexto, el Programa Académico de Planeación Ambiental y Conservación (PLAYCO) del CIBNOR, ha incidido y coadyuvado en todos los determinantes sociales antes mencionados. De un total de 26 proyectos ejecutados y concluidos en la última década relacionados con el Programa de Salud y Bienestar Comunitario, más del 40% inciden en el determinante social de sustentabilidad, el 22% corresponden al autocuidado de la salud, el 11% se alinean a alimentación saludable y local, y con valores menores al 10% economía comunitaria, gestión integral de riesgos, recreación y vivienda.

La Sustentabilidad es un tema muy popular y debe entenderse como un proceso que busca el equilibrio entre el medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales. Este proceso debe ligarse con el compromiso de las personas en beneficio de la sociedad (Responsabilidad Social) y con mantener productivos a los ecosistemas en el transcurso del tiempo (Sostenibilidad), para asegurar nuestro futuro. Adicionalmente, involucra el aprovechamiento óptimo de los recursos por medio de la reducción, reutilización, y el reciclaje de materiales (Economía Circular), así como la vinculación del progreso económico empresarial con el desarrollo de la sociedad (Valor Compartido) con el propósito de impactar lo menos posible al medio ambiente (RSS 2022, p. 1).

El PLAYCO está organizado en siete Líneas Estratégicas de Investigación, que se agrupan en tres líneas temáticas (Figura 2).



Figura 2. El Programa Académico de Planeación Ambiental y Conservación, del CIBNOR, se organiza en Líneas Estratégicas de Investigación que a su vez se agrupan en tres Líneas Temáticas.

Línea Estratégica de Investigación I. Procesos Ecosistémicos y Servicios Ambientales

Para la LEI. Procesos Ecosistémicos y Servicios Ambientales es prioritario generar conocimiento científico de frontera sobre los diversos ecosistemas del Noroeste del México, con el fin de contribuir al mantenimiento de la integridad funcional de los ecosistemas naturales, y generar estrategias para modificar las tendencias actuales

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

de pérdida de biodiversidad y servicios ambientales. Su objetivo es estudiar los procesos ecosistémicos y los servicios ambientales de la región Noroeste de México en los temas de microbiología, edafología, hidrología, ecología vegetal, mastozoología, biología marina y pesquerías.

Esta LEI está integrada por el siguiente personal académico: Dr. Luis Brito Castillo, Dr. Javier Caraveo Patiño, Dr. Pedro Peña Garcillan, Dr. Eduardo Vivas Romero, Dra. Laura Carereón Palau, M. en C. Christian Silva Bejarano y Lic. Julio E. Félix Domínguez.

La LEI ha desarrollado evaluaciones científicas de calidad sobre las condiciones y tendencias de los ecosistemas del Noroeste de México, cuya información ayude en la toma de decisiones, y contribuya a garantizar la conservación y el mantenimiento de los ecosistemas a largo plazo, y los servicios ambientales imprescindibles para el bienestar humano en las regiones áridas y semiáridas del país.

Ejemplos de servicios ambientales son: la polinización de los cultivos por los insectos y las aves, la recarga de acuíferos a través de la vegetación y del suelo, la disponibilidad de alimentos en ecosistemas costeros, agrícolas y pecuarios gracias a las propiedades intrínsecas del suelo, la disponibilidad de recursos genéticos o de productos farmacéuticos que se encuentran en especies forestales (maderables y no maderables), las pesquerías sustentables por la función de diferentes cadenas tróficas, la captura y almacenamiento de diferentes gases de efecto invernadero como el bióxido de carbono y el metano por la vegetación y el suelo, la estabilidad del clima por la regulación del ciclo del agua, la regulación de la humedad y temperatura del aire por la vegetación y las propiedades físicas del agua, así como el control de erosión, el mantenimiento de suelos fértiles y la estabilidad de costas. Estos y otros servicios ambientales no mencionados aquí podrían perderse o disminuir si no podemos entender cómo se relacionan los diversos actores biológicos y del medio ambiente con los servicios ambientales (Brito, 2025, p.1).

Línea Estratégica de Investigación II. Una Salud

Esta LEI, generar conocimiento científico, innovación tecnológica y recursos humanos calificados en relación con los procesos fisiopatológicos, ecológicos, climatológicos asociados a la salud (humana, animal y ambiental) e integridad de los ecosistemas, contribuyendo al desarrollo socioeconómico y a la calidad de vida de la sociedad mexicana con atención a los sectores menos favorecidos y más vulnerables, especialmente en el Noroeste de México. Su objetivo consiste en desarrollar investigación científica y formar recursos humanos para contribuir a proteger la salud ambiental, animal y humana, y proponer métodos de mitigación para neutralizar las amenazas, hacer frente a los desafíos ambientales y sanitarios incluyendo (pero no restringido a) especies exóticas invasoras, contaminación, cambio climático, enfermedades infecciosas y resistencia a agentes antimicrobianos, así como promover la integridad de los ecosistemas, contribuyendo al bienestar sostenible de la sociedad mexicana con atención a los sectores menos favorecidos y más vulnerables, especialmente en el Noroeste de México.

Esta LEI está integrada por el siguiente personal académico: Dra. Tania Zenteno Savín y Lic. Orlando Lugo Lugo.

Esta LEI ha contribuido a generar conocimiento científico, innovación tecnológica y recursos humanos calificados para afrontar toda la gama de aspectos concernientes a la promoción de la salud animal, salud ambiental y salud humana de manera integral, desde la prevención hasta la detección, tratamiento (mitigación), promoción y gestión de la integridad de los ecosistemas, desarrollo sustentable, social, económico y ambiental de la sociedad mexicana (Gopal, 2025, p.1).

Línea Estratégica de Investigación III. Condición de los Sistemas Costeros y su Tendencia Ambiental

Esta LEI ha desarrollado investigación orientada en profundizar en los efectos de las actividades humanas y/o naturales sobre la zona costera con un enfoque ecosistémico.

Los ecosistemas costeros (manglares, marismas, pastos marinos, bosques de macroalgas, lagunas costeras, estuarios, playas, costas y arrecifes rocosos) brindan importantes servicios a la sociedad (alimento, recreación, protección, etc.), pero las diversas presiones antropogénicas que se ejercen sobre estos ecosistemas conllevan una modificación de su condición ambiental y, por consecuencia, se ponen en riesgo sus servicios ambientales.

La LEI está integrada por el siguiente personal académico: Dr. José A. Arreola Lizárraga, Dr. José J. Bustillos Guzmán, Dr. Saúl Chávez López, Dra. Ma. de Lourdes Morquecho Escamilla, Dr. Francisco E. Hernández Sandoval, M. en C. María del Refugio López Tapia, M. en C. Amanda Reyes Salinas y B.M. Martha P. Gómez Soto.

En particular los temas de investigación de esta Línea Estratégica se relacionan con: florecimientos algales nocivos: ecología y toxicología, hidrodinámica y modelado costero, taxonomía y ecofisiología de microalgas marinas, con énfasis en especies nocivas y ecología y manejo de ecosistemas costeros (Arreola, 2025, p.1).

Línea Estratégica de Investigación IV. Biodiversidad de México: Problemática, Uso y Conservación

En esta LEI se estima y analiza la diversidad biológica a diferentes niveles de complejidad de genes ha ecosistemas, para generar conocimiento que permita su

manejo, aprovechamiento y conservación con énfasis en la representada en el noroeste del país. Algunos proyectos están dirigidos al conocimiento de especies con relevancia ecológica de flora y fauna, tanto terrestre como marina (NOM, endémicas, invasoras), mientras que otros proyectos abordan temáticas relacionadas al efecto de las actividades humanas sobre poblaciones de especies y ecosistemas. Su objetivo es contribuir al conocimiento científico de frontera sobre la biodiversidad en sus diferentes niveles (ecosistemas, especies y genes), mediante investigación, generación de protocolos y documentos, formación ética de recursos humanos y vinculación, aportando soluciones para la conservación y/o manejo responsable de los recursos naturales en beneficio de la sociedad.

La LEI está integrada por el siguiente personal académico: Dr. Gustavo A. Arnaud Franco, Dr. Francisco J. García de León, Dra. Ma. Carmen Blázquez Moreno, Dr. Jorge J. Cancino Hernández, Dr. Israel Guerrero Cárdenas, B.M. Edgar S. Amador Silva y C. Abelino J. Cota Castro.

En esta LEI se ha realizado investigación científica que contribuye de manera relevante al conocimiento de la biodiversidad del país e incide significativamente en el establecimiento de políticas públicas y toma de decisiones para conservar la biodiversidad y usarla de manera sustentable (Blázquez, 2025, p.1).

Línea Estratégica de Investigación V. Investigación para el Desarrollo Sustentable

Esta LEI desarrolla investigación científica que contribuye de manera relevante al desarrollo sostenible en nuestra región propiciando con ello procesos que eviten provocar el agotamiento de los recursos disponibles, permitiendo satisfacer necesidades actuales sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades futuras. Su objetivo es desarrollar investigación Socio-Ecológica en Áreas Naturales Protegidas, para incidir en las políticas públicas de las Áreas Naturales Protegidas de México.

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

La LEI está integrada por el siguiente personal académico: Dr. Alfredo Ortega Rubio, Dr. Luis F. Beltrán Morales, Dr. Miguel A. Porta Gándara, Dra. Vania Serrano Pinto, Dra. Celia G. Vázquez Boucard Ovando, Dr. Gerzaín Avilés Polanco y Dr. Francisco J. Villa Medina.

Esta LEI contribuye al estudio y conocimiento científico que permita promover el desarrollo sostenible, al establecer con precisión los efectos que las actividades humanas productivas tendrán sobre los recursos naturales del Noroeste de México, especialmente en aquellos hábitats y ecosistemas sensitivos, con especial énfasis en Áreas Naturales Protegidas, así como en las especies relevantes. Desarrollar investigación relacionada con el aprovechamiento de energías renovables, con la salud pública de las principales enfermedades presentes y emergentes que afectan a los habitantes de esta región, como lo son las enfermedades infecciosas transmitidas por vector y su relación con el cambio climático, como los efectos de los contaminantes agroquímicos en la salud humana, entre otros. Al mismo tiempo se pretende contribuir a la formación de recursos humanos de alto nivel en estos temas de investigación (Beltrán, 2025, p.1).

Línea Estratégica de Investigación VI. Microbiología Ambiental

Esta LEI ha generado conocimiento para el uso y aplicación de plantas, microorganismos y compostas en la solución de problemas ambientales relacionados con la fitoremediación, fitoestablización, reforestación, erosión, contaminación de suelos, aire y cuerpos de agua. Además, se han realizado estudios de bioexploración y análisis metagenómico en tapetes microbianos laminados y endoevaporitas de Exportadora de Sal, S.A. de C.V. (ESSA), en Guerrero Negro y en las planicies de inundación de la Laguna San Ignacio, en BCS, buscando caracterizar los Dominios Bacteria y Arqueas productoras de metano y productoras de bioplásticos basados en polihidroxialcanoatos. Su objetivo busca establecer la base de conocimiento para la recuperación, conservación y

aprovechamiento integral de los recursos naturales agua-suelo-planta, aire y ambientes acuáticos de la región con incorporación de microorganismos y abonos orgánicos (compostas) como biocatalizadores y ayudantes de los procesos biogeoquímicos, generando desarrollos tecnológicos que aseguren el uso sustentable de dichos recursos para futuras generaciones mejorando así la vida cotidiana de los habitantes.

La LEI está integrada por el siguiente personal académico: Dra. Blanca Estela González de Bashan, Dr. Macario Bacilio Jiménez, B.M. Hever Latisnere Barragán y Dr. Alejandro López Cortés.

En esta LEI Se ha estudiado el efecto que la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal tiene en la estructura y diversidad de las comunidades bacterianas en las raíces de mezquite, que se desarrollan en suelos con baja fertilidad.

También, se ha realizado la caracterización profunda de la comunidad microbiana (Dominios Arquea y Bacteria) de tapetes microbianos de ambientes hipersalinos a través de secuenciación de alto rendimiento para detectar poblaciones muy diversas con bajas abundancias relativas y fisiología desconocida, denominada biósfera rara. Y en particular obtener conocimientos sobre las vías metanogénicas más representativas en ambientes hipersalinos, a través de un enfoque metagenómico y metatranscriptómico en el experimento de microcosmos (López-Cortés, y col., 2015, pp. 83-98).

Línea Estratégica de Investigación VII. Museo de Historia Natural: Taxonomía y Sistemática

Esta LEI está conformada por un grupo de investigadores enfocados en el estudio de la biodiversidad (plantas y animales), con énfasis en los ambientes desérticos y semidesérticos de México y que a través del tiempo han conformado diversas

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

Colecciones Biológicas (las cuales destacan por ser reservorios de información biológica, ecológica, geográfica, genética e histórica). Para cada Colección de referencia, se trabaja en la curación de ejemplares, la cual inicia desde la colecta, preparación, identificación, catalogación, cuidado, mantenimiento y preservación con la finalidad de contar con información actual y de calidad. Lo anterior, hace a las Colecciones científicas del CIBNOR referentes en el ámbito nacional e internacional. Su objetivo consiste en generar información taxonómica, biológica y de conservación en los niveles de organización biológica de los ambientes desérticos y semidesérticos de México.

La LEI está integrada por el siguiente personal académico: Dr. Sergio T. Álvarez Castañeda, Dra. Patricia Cortés Calva, Dra. Ma. Luisa Jiménez Jiménez, Dr. José L. León de la Luz, Dr. Alejandro M. Maeda Martínez, Dr. Gopal Murugan, Dr. Alejandro Valdez Mondragón, Dra. Hortensia Obregón Barbosa, Dr. Alfonso Medel Narváez, Dr. Reymundo Domínguez Cadena, Dra. Lucia Campos Dávila, M. en C. Carlos Palacios Cardiel, Biól. Mayra de la Paz Cuevas y Biól. Izmene C. Gutiérrez Rojas.

Esta LEI realiza investigación sobre taxonomía biológica, para enriquecer los bancos de datos de la biota mexicana distribuida en los ambientes desérticos y semidesérticos de México, así también se pretende transmitir a la sociedad y a los recursos humanos en formación conocimiento de los recursos bióticos silvestres, su importancia, conservación y aprovechamiento (Álvarez, 2025, p.1).

Al respecto el PLAYCO se plantea como meta impulsar el desarrollo integral y sustentable e incrementar la resiliencia ecológica y social del país, particularmente del Noroeste. Destacan: a) la aportación en la apropiación social del conocimiento b) el desarrollo de propuestas de política pública que permitan ampliar el abanico de posibilidades económicas para las sociedades locales, c) garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar humano. En este contexto, el personal académico del PLAYCO realiza investigación interdisciplinaria, reconociendo la importancia de las interacciones entre los procesos físicos, químicos, biológicos y sociales que inciden

en los socio-ecosistemas. Para entender los procesos que impactan o regulan la dinámica de los ecosistemas, se realizan estudios de campo y experimentales y se aplican herramientas a escala de paisaje como análisis espaciales y sistemas de información geográfica. Debido a la amenaza a la biodiversidad del país y a sus sistemas socio-ecológicos tradicionales, el personal académico del Programa ha realizado históricamente un fuerte trabajo para su conservación, particularmente con la colaboración para la declaratoria y manejo de Áreas Naturales Protegidas, caracterizándolas como Parques Nacionales, Reservas de la Biosfera, y Áreas de Protección de Flora y Fauna, además, particularmente en los ecosistemas desérticos, humedales, islas, oasis, bosques y sistemas socio-ecológicos tradicionales.

Asimismo, se participa en el diseño y recomendaciones de políticas públicas, como planes de desarrollo estatales, planes de ordenamiento ecológico territorial, consejos asesores de áreas naturales protegidas y organizaciones de la sociedad civil. Es interés del PLAYCO, mantener la integridad funcional de los socio-ecosistemas, conservar la biodiversidad y la salud ambiental que permitan fortalecer la resiliencia de los sistemas naturales y sociales (Hernández-Vázquez y Ortega-Rubio 2013, pp. 81-82; López-Cortés, 2024, p. 1).

En la tabla 1 se enlistan los títulos de los proyectos ejecutados y concluidos de la última década, los números de los determinantes sociales, los responsables de los proyectos y la incidencia.

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

Tabla 1. Títulos de los proyectos ejecutados y concluidos de la última década, por parte de personal académico del CIBNOR.

Título	Alineación con determinante social	Responsable Técnico	Incidencia
Sustentabilidad y resiliencia de sistemas socioeconómicos ante el cambio climático. Bienestar social, patrimonio biocultural y seguridad alimentaria en sistemas ganaderos tradicionales en ambientes áridos.	5	Juan José Sánchez Montes	Organización y empoderamiento de ganaderos tradicionales para manejo y aprovechamiento de sus recursos naturales, donde el control es llevado por las comunidad.
Validación de las Áreas Naturales Protegidas terrestres y marinas de México como un sistema para resguardar el potencial evolutivo de la biodiversidad ante el cambio climático global.	7	Francisco Javier García De León	Uso racional de los recursos naturales en equilibrio con el medio ambiente, incluye el compromiso de las personas en beneficio de la sociedad, mantener productivos a los ecosistemas en el transcurso del tiempo para asegurar nuestro futuro y aprovechamiento máximo de los recursos naturales.
Sistemática y filogeográfica de especies de anfíodos de <i>Macrobrachium</i> (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) del Atlántico y del Pacífico de México: probando la hipótesis de Anger sobre la diversificación vicariante.	7	Murugan Gopal	Conocimiento de la diversidad biológica para hacer frente a desafíos ambientales que incluyen la integridad de los ecosistemas y manejo de las especies invasoras, en contra de las especies nativas.

Investigaciones modernas de la biosfera rara en ambientes hipersalinos: Desentrañando la diversidad y el metabolismo poco explorado de las arqueas metanogénicas.	7	Alejandro López Cortés	Conocimiento de la diversidad taxonómica y funcional de microorganismos para su conservación y aprovechamiento, en particular uso de gas metano como combustible para ser usado por poblaciones marginadas.
Evaluación de la regeneración y propagación del encino arroyero (<i>Quercus brandegeei</i>) de la región del Cabo, B.C.S., México.	5	Christian Silva Bejarano	Organización y empoderamiento de rancheros para propagación y plantación de plántulas de encino para su aprovechamiento, donde el control es llevado por la comunidad.
Los contaminantes asociados a plásticos inducen daño oxidativo en células de mamíferos terrestres, pero no en células de mamíferos marinos.	1	Tania Zenteno Savín	Conocimiento del efecto de contaminantes plásticos para orientar a la sociedad en la decisión de hábitos alimenticios.
Jardín Etnobiológico de Baja California Sur "Guyiaqui"	3	María del Carmen Mercado Guido	El Jardín "Guyiaqui" como alternativa para la recreación a través de la enseñanza dirigida a la totalidad de la sociedad, reforzando la sustentabilidad.

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

Impacto del Protocolo Nagoya en los conocimientos tradicionales asociados al uso de los recursos genéticos y en la distribución equitativa de los beneficios en las Áreas Naturales Protegidas del noroeste de México.	7	Luis Felipe Beltrán Morales	Identificación, reconocimiento del patrimonio biocultural tradicional en Áreas Naturales Protegidas.
Ecología trófica del Tejón (<i>Taxidea taxus</i>) en la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno, Guerrero Negro, B.C.S., mediante el uso de isótopos estables.	7	Javier Caraveo Patiño	Conocimiento de las relaciones trófica, estilo de vida, y abundancia para comprender su papel ecológico y su estado de conservación.
Aproximación multidisciplinaria para la generación de indicadores del estado de conservación de manglares áridos-tropicales y mejoramiento de su resiliencia mediante ingeniería de interacciones planta-microbioma.	6	Alfonso Medel Narváez	Conocimiento de las relaciones biológicas para la conservación de bosques de mangles, que funcionan como barrera ante los efectos del cambio climático.
Documentación y rescate de saberes locales sobre la flora y la fauna en Áreas Naturales Protegidas de Baja California Sur.	7	Alfredo Ortega Rubio	Uso racional de los recursos naturales en equilibrio con el medio ambiente, incluye el compromiso de las personas en beneficio de la sociedad, mantener productivos a los ecosistemas en el transcurso del tiempo para asegurar

			nuestro futuro y aprovechamiento máximo de los recursos naturales.
Contaminación dentro del cuerpo de agua y la interfase agua-suelo en el oasis de Baja California Sur: distribución e implicaciones en la biodiversidad y la salud humana.	1	Ricardo Rodríguez Estrella	Conocimiento de contaminantes, provenientes de la actividad agrícola y sus efectos en la salud de los ecosistemas y de los humanos.
Manejo holístico de ganado en la Sierra Las Cacachilas.	2	Sergio Álvarez Cárdenas	Organización y empoderamiento de ganaderos tradicionales para manejo y aprovechamiento de sus recursos naturales, donde el control es llevado por la comunidad.
Análisis y evaluación de los posibles vectores y reservorios del virus del ébola en México.	1	Sergio Ticul Álvarez Castañeda	Conocimiento del ciclo de vida del virus del ébola para que la sociedad y las autoridades de salud diseñen medidas preventivas.
Análisis de calidad de agua.	2	María del Refugio López Tapia	Evaluación de la calidad del agua para consumo humano.
Planta piloto experimental de sistema automatizado para evaluación y escalamiento de colchón inflable que evita neumonía y úlceras en la piel de pacientes diabéticos.	1	Luis Felipe Beltrán Morales	Dispositivo de bajo costo para pacientes diabéticos.

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

Caracterización y poder calorífico de los residuos sólidos urbanos, así como la flora y fauna asociada a los vertederos, en la ciudad de La Paz, B.C.S.	7	Minerva Concepción Maldonado García	Aprovechamiento máximo de los recursos por medio de la reducción, reutilización y reciclaje de residuos sólidos.
Biotechnología: oportunidad para el desarrollo económico de comunidades rurales en los oasis sudcalifornianos.	7	Ricardo Rodríguez Estrella	Transferencia de biotechnología a comunidades rurales en los oasis para impulsar el desarrollo económico.
Efecto del patrón de lluvias en la concentración de elementos traza en agua subterránea de zonas áridas	7	Lía Celina Méndez Rodríguez	Conocimiento climatológico y su impacto en aguas subterráneas, para la toma de decisiones por autoridades y la sociedad.
Evaluación de vulnerabilidad ante el cambio climático de los sistemas socioambientales tradicionales en los oasis de Baja California Sur.	6	Aurora Margarita Breceda Solís Cámara	Conocimiento de la vulnerabilidad de sistemas socioambientales tradicionales, para evitar riesgos por eventos del cambio climático.
Fortalecimiento de la infraestructura del laboratorio ficotox para la atención a la problemática asociada a ficotoxinas marinas en el noroeste de México.	7	José Jesús Bustillos Guzmán	Infraestructura para monitorear eventos de desarrollo masivo de microorganismos marinos productores de toxinas, disponible para toda la sociedad.
Respuesta antioxidante de la leche materna a la presencia de contaminación química.	1	Lía Celina Méndez Rodríguez	Conocimiento para promover la lactancia materna, para fortalecer el sistema inmunológico de lactantes.

Relación entre los niveles de PUFA y antioxidantes en leche materna de cuatro localidades expuestas a distintos niveles de contaminación química.	1	Elena Palacios Mechetnov	Conocimiento para promover la lactancia materna, para fortalecer el sistema inmunológico de los lactantes.
Investigación integral de las necesidades, problemáticas y oportunidades ambientales, económicas y sociales en las Áreas Naturales Protegidas de México: un enfoque integras, multiinstitucional e interinstitucional.	7	Alfredo Ortega Rubio	Uso racional de los recursos naturales en equilibrio con el medio ambiente, incluye el compromiso de las personas en beneficio de la sociedad, mantener productivos a los ecosistemas en el transcurso del tiempo para asegurar nuestro futuro y aprovechamiento máximo de los recursos naturales.
Evaluación de riesgos en la salud humana de Todos Santos, B.C.S., por ingestión de aguas contaminadas por plaguicidas organoclorados y metales pesados.	2	Celia Gloria Vázquez Boucard Ovando	Conocimiento de contaminantes de agua de consumo humano, para la toma de decisiones por autoridades y la sociedad.
Evaluación de daño genotóxico genético y epigenético en población adulta e infantil expuesta a agroquímicos.	6	Celia Gloria Vázquez Boucard Ovando	Conocimiento de agroquímicos que causan daños genéticos, para la toma de decisiones para autoridades y la sociedad.
Consulta pública de la actualización del programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Sierra de la Laguna.	7	Renato Armando Mendoza Salgado	Participación de la sociedad en la toma de decisiones para el manejo de la Reserva

PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

			de la Biósfera Sierra de la Laguna.
Desarrollo tecnológico en la fabricación de paneles innovadores para la construcción de casas termo-ecológicas tilt-up.	4	Miguel Ángel Porta Gándara	Prototipo de paneles solares para construcción de viviendas en zonas marginadas.

Conclusiones

Los resultados en investigación científica, tecnológica y social del Programa Académico de Planeación Ambiental y Conservación (PLAYCO), reconocen a la diversidad biológica como un patrimonio natural de cada país y un componente de su riqueza nacional, ya que se relaciona directamente con la calidad de vida y la historia cultural de la sociedad, con redundancia en el Bienestar Comunitario. El Programa ha cristalizado sus esfuerzos de trabajo para aminorar la pérdida de biodiversidad a través de la declaratoria de trece Áreas Naturales Protegidas (tabla 2). A partir de lo antes mencionado el PLAYCO se ha caracterizado por generar Ciencia de Pertinencia Social.

Tabla 2. Áreas Naturales Protegidas. Nombre y Categorías de Manejo: APFF: Área de protección de flora y fauna. PN: Parque Nacional. RB: Reserva de la biosfera. ND: No determinada (GM 2015, p. 1; HXIVALC 2022, p. 1).

Área Naturales Protegidas	
Nombre	Categorías de manejo
Balandra	Área de Protección de Flora y Fauna
Cabo San Lucas	Área de Protección de Flora y Fauna
Islas del Golfo de California	Área de Protección de Flora y Fauna
Bahía de Loreto	Parque Nacional
Cabo Pulmo	Parque Nacional
Loreto II	Parque Nacional
Nopoló	Parque Nacional
Complejo Lagunar Ojo de Liebre	Reserva de la Biósfera
El Vizcaíno	Reserva de la Biósfera
Islas del Pacífico de la Península de Baja California	Reserva de la Biósfera
Sierra La Laguna	Reserva de la Biósfera
Revillagigedo	Parque Nacional
Reserva Ecológica Municipal Estero de San José	N.D.

Importancia social

Este capítulo da a conocer cómo se alinean los determinantes sociales para la salud, el bienestar comunitario y los proyectos del Programa de Planeación Ambiental y Conservación, destacando a la sustentabilidad como un proceso que atiende el equilibrio que debe existir entre el medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, con énfasis en la diversidad biológica y los servicios medioambientales que ofrecen los socio-ecosistemas.

Perspectivas

Es conveniente continuar con la ejecución de investigaciones científicas, tecnológicas y socio-ecológicas, que reconocen a la diversidad biológica como un patrimonio natural de cada país y como un componente de su riqueza nacional, ya que se relaciona directamente con la calidad de vida y la historia cultural de la sociedad, con redundancia en el Bienestar Comunitario. Es interés del PLAYCO contribuir a la construcción de una sociedad más democrática, equitativa y con desarrollo sustentable que requiere hacer de la ciencia, la tecnología y la innovación partes medulares de la agenda nacional, y que la sociedad en su conjunto sea tomada en cuenta.

Literatura citada

- Álvarez, S.T. (8 de abril 2025). LEI VII. Museo de Historia Natural: Taxonomía y Sistemática. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación*. <https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/planeacion-ambiental-y-conservacion/lineas-de-investigacion-ppac/museo-historia-natural>
- Arreola, J.A. (8 de abril 2025). LEI III. Condición de los Sistemas Costeros y su Tendencia Ambiental. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación*. <https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/planeacion-ambiental-y-conservacion/lineas-de-investigacion-ppac/sistemas-costeros>
- Blazquez, C. M. (8 de abril 2025). LEI IV. Biodiversidad de México: Problemática, Uso y Conservación. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación*. <https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/planeacion-ambiental-y-conservacion/lineas-de-investigacion-ppac/biodiversidad-de-mexico>
- Beltrán, L.F.. (8 de abril 2025). LEI V. Investigación para el Desarrollo Sustentable. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación*. <https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/planeacion-ambiental-y-conservacion/lineas-de-investigacion-ppac/desarrollo-sustentable>

- Brito, L. (8 de abril 2025). LEI I. Procesos Ecosistémicos y Servicios Ambientales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación*. <https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/planeacion-ambiental-y-conservacion/lineas-de-investigacion-ppac/procesos-ecosistemicos>
- Hernández-Vázquez, S., y A. Ortega-Rubio (2013). La gestión ambiental de un centro de investigaciones del Sistema de Centros Públicos del CONACYT y su impacto en la sociedad: avances y perspectivas. *Sociedad y Ambiente*, 1(1), 77-95.
- H. XIV Ayuntamiento de los Cabos. (6 de febrero 2022). *La Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo*. <https://www.loscabos.gob.mx/la-reserva-ecologica-estatal-estero-de-san-jose-del-cabo-es-considerado-el-humedal-mas-importante-de-baja-california-sur/>
- Gobierno de México. (14 de octubre 2015). *Áreas Naturales Protegidas*. <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-51333>
- Gopal, M. (8 de abril 2025). LEI II. Una Salud. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación*. <https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/planeacion-ambiental-y-conservacion/lineas-de-investigacion-ppac/una-salud>
- López-Cortés, A., de-Bashan, L.E., Bacilo Jiménez, M., y Bashan, Y. (2015). La Investigación en Microbiología Ambiental en Baja California: Importancia y Usos. *Recursos Naturales y Sociedad*. 1 (7): 83-98. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2015.01.01.01.0006>
- López-Cortés, A. (2 de julio 2024). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. *Coordinación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación*. <https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/planeacion-ambiental-y-conservacion>
- Navarro, M. y col. (2019). Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia. *Programa de Salud y Bienestar Comunitario*. [https://dif.gob.mx/alimentacion/docs/drive/desarrollo/Programa de Salud y Bienestar Comunitario.pdf](https://dif.gob.mx/alimentacion/docs/drive/desarrollo/Programa%20de%20Salud%20y%20Bienestar%20Comunitario.pdf)
- Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad, RSS. (8 de enero 2022). *Sustentabilidad: qué es, definición, concepto, principios y tipos*. <https://responsabilidadsocial.net/sustentabilidad-que-es-definicion-concepto-principios-y-tipos/>

Sánchez, R. (2023). Administración Pública de la Ciudad de México. *Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia de la Ciudad de México*. 2023. <https://www.dif.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/64e79c091/64e79c0915031052062231.pdf>

Para citar esta obra:

López Cortés, A. 2025. Aportaciones Históricas del Programa Académico de Planeación Ambiental y Conservación al Bienestar Comunitario. En: Ortega-Rubio (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 15-38). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 3

APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE AGRICULTURA EN ZONAS ÁRIDAS AL BIENESTAR COMUNITARIO

Luis Guillermo Hernández Montiel
lhernandez@cibnor.mx

Resumen

La producción agrícola y pecuaria en el estado de Baja California Sur, México se ha limitado debido a las condiciones ambientales, presencia de plagas y enfermedades, el recurso agua, entre otros. El Programa de Agricultura en Zonas Áridas del CIBNOR a través de sus cinco Líneas Estratégicas de Investigación se ha vinculado con el sector social y productivo del estado para coadyuvar en la producción de alimentos de origen vegetal y animal. Se ha generado conocimiento de frontera que ha permitido la validación y transferencia de tecnologías a diversos sectores agropecuarios del estado, permitiendo la conservación de los recursos naturales y manteniendo la soberanía alimentaria.

Palabras Clave: Ambientes áridos y semiáridos, Baja California Sur, Líneas Estratégicas de Investigación, producción agrícola y pecuaria, recursos naturales

Abstract

Agricultural and livestock production in the state of Baja California Sur, México has been limited due to environmental conditions, presence of pests and diseases, water resources, among others. CIBNOR's Agriculture in Arid Zones Program, through its

five Strategic Research Lines, has been linked to the social and productive sector of the state to contribute to the production of foods of plant and animal origin. Border knowledge has been generated, allowing the validation and transfer of technologies to various agricultural sectors of the state, allowing the conservation of natural resources, and maintaining food sovereignty.

Keywords: Arid and semi-arid environments, Baja California Sur, Strategic Research Lines, agricultural and livestock production, natural resources

Introducción

En las últimas dos décadas, los países en desarrollo han incrementado rápidamente su población (Sun et al., 2020; Sicard et al., 2023). Este aumento implica una mayor demanda de alimentos y acciones rápidas para que la agricultura mundial produzca en menor tiempo un mayor número de productos alimenticios como cereales, frutas, verduras, entre otros (Clapp, 2023; Zhu et al., 2023). A nivel mundial, existe la preocupación sobre la seguridad alimentaria y nutricional ante la proyección de un crecimiento poblacional para el 2050 de 12 billones de habitantes, lo que implicara un incremento de entre el 50 y 60% más de alimentos (Jahan & Ghalenoei, 2022). Ante la demanda de alimentos, se incrementará el uso del agua y de las tierras para producción agrícola, aumentando proporcionalmente todos aquellos insumos químicos utilizados en el manejo agronómico de los cultivos como; fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, fungicidas, bactericidas, entre otros (Gomes et al., 2020; Leskovac & Petrović, 2023).

Actualmente, los sistemas mundiales de producción agrícola buscan producir de manera sustentable más alimentos con una alta calidad nutritiva, utilizando diversas alternativas al uso de agroquímicos como los fertilizantes orgánicos (Rempelos et al., 2021), el control biológico de plagas y enfermedades (Koskey et al., 2021), mejoradores del suelo (Garbowski et al., 2023), tecnologías de

optimización del recurso agua (Li et al., 2022), uso de plantas criollas o variedades resistentes a factores bióticos y abióticos (Ahmad et al., 2021), entre otros. Aunque a la fecha, la producción agrícola ha permitido alimentar a la población mundial, aún existen dudas sobre cuánto tiempo más podrá la agricultura sostener la producción de alimentos ante el crecimiento exponencial de la población, en su discurso de aceptación del Premio Nobel en 1970, el agrónomo Borlaug (1972) menciona: “La Revolución Verde ha obtenido un éxito temporal en la guerra del hombre contra el hambre y las privaciones; le ha dado al hombre un respiro, sin embargo, es necesario frenar el aterrador poder de la reproducción humana; de lo contrario, el éxito de la Revolución Verde será sólo efímero” (Evans & Lawson, 2020).

La agricultura se establece en toda la superficie terrestre del planeta Tierra. En cualquier tipo de suelo, y diversas regiones como; tropical, subtropical, sabana, árida, semiárida, entre otros (Wang et al., 2022). La península de Baja California Sur se encuentra al noroeste de México y limita al norte con el estado de Baja California, al este con el Golfo de California (también llamado Mar de Cortés) y al oeste y sur con el Océano Pacífico. En el estado de Baja California Sur, el clima tiende a ser seco, semicálido y cálido en gran parte del territorio y de acuerdo con datos de la SAGARPA y Fundación Produce, hay 42,000 ha que se destinan a la agricultura, destacando los cultivos; alfalfa verde, papa, granos, cítricos, mango, chile verde, tomate rojo, fresa, hierbas aromáticas, espárrago, tomate, garbanzo, entre otros.

Las condiciones ambientales del estado, el desconocimiento de plagas y enfermedades de importancia en los cultivos, la limitación y falta de manejo del recurso agua, la baja tecnificación agrícola y pecuaria, entre otros, han sido elementos que han limitado la producción de alimentos en Baja California Sur. En las últimas cuatro décadas, el Programa de Agricultura en Zonas Áridas (PAZA) del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste ubicado en La Paz, Baja California Sur ha vinculado la generación de conocimientos con el sector social y productivo del estado. Las cinco Líneas Estratégicas de Investigación (LEI) del

PAZA se han orientado al desarrollo de estrategias agrobiotecnológicas para fortalecer el área agrícola y pecuaria de vanguardia. Se ha logrado establecer una red de colaboraciones entre los académicos del PAZA y productores a nivel regional, estatal, nacional e internacional para coadyuvar en la producción de alimentos de calidad para el humano y animal bajo una visión sustentable, sin dejar de lado la soberanía alimentaria. A continuación, se describirán las actividades de cada LEI del PAZA y como a través de algunos ejemplos se ha incidido en el bienestar comunitario.

Línea Estrategia de Investigación I: Agricultura Orgánica

En esta LEI se realiza investigación de ciencia básica y de frontera para una mejor distribución de los recursos naturales dentro de la cadena agroalimentaria. Está vinculada a una nueva tecnología para el monitoreo de las variables de producción, promoviendo que los productores sustituyan el uso de agroquímicos o fertilizantes sintéticos, mediante la aplicación de biofertilizantes. Se tienen como objetivos identificar las limitaciones y oportunidades de la agricultura orgánica para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza, así como la incorporación de la agricultura orgánica como una alternativa regional.

La LEI de agricultura orgánica está integrada por el siguiente personal académico: Dra. Alejandra Nieto Garibay, Dr. Joaquín Gutiérrez Jaguey, Dr. Héctor Cirilo Fraga Palomino, Dr. Juan José Montes Sánchez, Ing. Saúl Edel Briseño Ruíz, C. José Raymundo Ceseña Núñez, C. Adrián Jordán Castro, C. Pedro Luna García, C. Miguel Díaz Ramírez y M.C. Rigoberto López Aguilar.

La LEI de agricultura orgánica ha trabajado en el programa de manejo de residuos orgánicos a través del compostaje en escuelas del estado de Baja California Sur, México. En este programa han participado más de 10 escuelas del segundo nivel de la Educación Básica (Educación Primaria) de la Secretaría de

Educación Pública (SEP) de México. A través de este programa se ha concientizado a la población sobre el aprovechamiento de los residuos para la producción vegetal, disminuyendo la contaminación ambiental y reduciendo el impacto ecológico que genera la basura en las zonas aledañas a las escuelas participantes. Además, se ha capacitado a los maestros de primaria sobre el compostaje para que este programa pueda ser replicable al interior de la escuela.

A través de la sustentabilidad y resiliencia de sistemas socio-ecológicos ante el cambio climático. Bienestar social, patrimonio biocultural y seguridad alimentaria en sistemas ganaderos tradicionales en ambientes áridos, los integrantes de la LEI de agricultura orgánica han colaborado con rancheros y rancheras de Baja California Sur y Durango dedicados a la cría tradicional de bovinos y caprinos para enseñarles a favorecer una producción sustentable y resiliente. Se han realizado talleres con niños de la Sierra de la Giganta, Baja California Sur, para concientizar la producción vegetal y bovina desde una visión sustentable.

Línea Estratégica de Investigación II: Fitosanidad e Inocuidad Alimentaria

Esta línea está orientada al desarrollo sostenible de la agricultura, seguridad alimentaria y prosperidad social. Los objetivos se centran en estudios sobre fitoplasmas en cultivos agrícolas y plantas silvestres, enfermedades emergentes y reemergentes y su relación con fitoplasmas en infecciones sencillas y mixtas con otros patógenos vasculares, eco-eficiencia en el uso de aguas residuales provenientes de la acuicultura para el establecimiento de plantaciones hidropónicas orgánicas, plagas potenciales en sistemas de producción vegetal, virus, viroides, infecciones begomovirales mixtas, enfermedades abióticas, nematodos, poblaciones microbianas en sistemas acuapónicos, fitosanidad en cardones y otras especies de cactáceas, viricidas, hongos fitopatógenos, control biológico, inductores bióticos y abióticos de resistencia en plantas y hongos micorrízicos.

AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS

La LEI de Fitosanidad e Inocuidad Alimentaria está integrada por el siguiente personal académico: Dra. María Goretty Caamal Chan, Dra. Arevik Poghosyan Melkonyan, Hidrobiol. María Sofía Ramos Galván, Dr. Ramón Jaime Holguín Peña, Dr. Luis Guillermo Hernández Montiel, Dr. Jorge Gustavo Rocha Estrada, M.C. Martín Gpe. de Jesús Aguilar García y M.V.Z. José Manuel Melero Astorga.

En Ciudad Constitución, Baja California Sur, los integrantes de la LEI de Fitosanidad e Inocuidad Alimentaria han colaborado con la Asociación Agrícola Local de Citricultores del Valle de Santo Domingo en el diagnóstico fitosanitario de huertas de naranja y limón y en el manejo integrado de plagas y enfermedades. A través del trabajo en conjunto se ha reducido la incidencia de enfermedades en las plantas como la gomosis (*Phytophthora* spp.), muerte descendente (*Lasiodiplodia theobromae*) y en los frutos la mancha marrón (*Alternaria alternata*), moho verde y azul (*Penicillium* sp.), pudrición ácida (*Geotrichum citri-aurantii*), entre otros. La participación del personal de esta LEI ha permitido la oportuna identificación del agente causal en las huertas de cítricos y se han recomendado medidas de control eficientes que le ayudan al productor a disminuir sus pérdidas, reducir costos y alcanzar mejores precios en la comercialización de sus productos. Además, con la implementación de tecnologías amigables con el ambiente, se ha reducido el uso y aplicación de agroquímicos. Con el diagnóstico oportuno de plagas y enfermedades se ha reducido la pérdida de fruta y se ha prolongado la vida de anaquel del mango cultivado en la región de los cabos y la papaya producida por productores locales de las zonas alejadas de La Paz, Baja California Sur.

En comunidades locales de La Paz, Baja California Sur, integrantes de la LEI de Fitosanidad e Inocuidad Alimentaria han establecido un sistema de vigilancia epidemiológica para cactáceas columnares en ecosistemas áridos y semiáridos de México. Han impartido talleres a productores y niños sobre la detección de enfermedades en cactus y la concientización de su conservación, al ser una especie catalogada como en peligro de extinción. También han trabajado con productores de tomate rojo para disminuir las pérdidas ocasionadas por virus al implementar de

manera conjunta sistemas de protección de infecciones mixtas begomovirales a través del silenciamiento génico tipo RNAi (SGR).

Línea Estratégica de Investigación III: Agrotecnología y Recursos Energéticos

Esta LEI es una línea agropecuaria multidisciplinaria cuyos objetivos se centran en estudios de respuesta al estrés salino en plantas de interés agronómico y su relación con la tolerancia a factores adversos, la fisiotecnia y prácticas agronómicas de cultivos alternativos e hidropónicos en sistemas de acuaponía como recursos fitogenéticos potenciales para las zonas áridas y semiáridas. La sección de nanociencias se encarga del diseño y desarrollo de nanoestructuras para su uso como nanobiosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas, nanofungicidas y como vehículos de transporte para biomoléculas y biofármacos (nanovacunas). Además, se desarrollan estudios inmunológicos de vacunas, probióticos e inmunoestimulantes experimentales como alternativas de prevención de enfermedades en animales de interés pecuario.

La LEI de Agrotecnología y Recursos Energéticos está integrada por el siguiente personal académico: Dra. Ana Gisela Reyes Alvarado, Dra. María Del Carmen Mercado Guido, Dra. Martha Reyes Becerril, Dra. Elizabeth Escalante Monreal, Dr. Juan Larrinaga Mayoral, Dr. Bernardo Murillo Amador, Dr. Luis Hernández Adame, Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez, M.C. Magdalena López García, M.C. Guillermo González Rosales, Ing. María Guadalupe Rodríguez Quezada y C. Juan Diego Hernández Medina.

Los integrantes de esta LEI han causado la ciencia a través del arte biológico (Bioarte): promoviendo la riqueza cultural científico-artística de las niñas, niños y jóvenes de zonas rurales y urbanas marginales. Se ha tenido un impacto positivo en la sociedad al crear espacios de acceso a la educación y desarrollo humanístico

de niñas, niños y jóvenes en las ciencias biológicas, fomentado la protección del medio ambiente y la expresión del arte.

Han trabajado con la eficiencia en el uso del agua y producción sustentable de alimentos utilizando un sistema unidireccional de acuaponía-agricultura generando paquetes tecnológicos de alimentos inocuos y aprovechamiento de agua acorde a las condiciones socioeconómicas de comunidades y productores de Baja California Sur.

El desarrollo de la acuaponía combinada con cultivos a cielo abierto adaptados a regiones áridas para la producción sustentable de alimentos ha sido un eslabón entre los integrantes de esta LEI y los productores de Baja California Sur para la implementación de sistemas acuapónicos de alta tecnología, que ha permitido al sector social, producir sus propios alimentos a un bajo costo y mejorar su calidad de vida ante la entrada de recursos económico por la venta del excedente de especies marinas como la tilapia y hierbas aromáticas, acelga, betabel, romero y verdolaga.

Línea Estratégica de Investigación IV: Agua, Suelo y Clima en Agricultura en Zonas Áridas

La LEI desarrolla su investigación alrededor de temas sobre los recursos agua y suelo en el entorno del clima prevaleciente y sus variaciones hidro-climáticas, con prioridad en el noroeste de México. Los temas abarcan aspectos y problemáticas relacionadas con el ciclo hidrológico, disponibilidad de agua y sostenibilidad del suelo en agricultura. Mediante colaboraciones y proyectos de investigación se busca generar resultados que se transfieran al sector social, organismos públicos y empresas o grupos productivos. En esta Línea se desarrollan estudios que versan sobre temas relacionados con dichos recursos: Calidad y disponibilidad del agua para la agricultura, ciencia y tecnología hidroecológica, evaluación de

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

agroecosistemas, salinidad de suelos y cultivos halófitos, hidráulica e hidrología agrícola, edafología, agroecología, ingeniería de irrigación, química del agua, fertilidad del suelo, diagnóstico y gestión de cuencas, conservación del agua y suelo, cambio climático, almacenamiento y flujos de CO₂. Se realizan vinculaciones y proyectos en colaboración con dependencias de los tres niveles de gobierno y organismos descentralizados. Además de la generación de información científica y formación de recursos humanos, se contribuye con Planes de Manejo de Cuencas y Acuíferos, propuestas de ordenamiento, reglamentación de acuíferos y otros.

La LEI de Agua, Suelo y Clima en Agricultura en Zonas Áridas está integrada por el siguiente personal académico: Dr. Enrique Troyo Diéguez, Dr. David Raúl López Aguilar, Dr. Arturo Cruz Falcón, M.C. Álvaro González Michel, Ing. Mario Benson Rosas, C. Arturo Naranjo Murillo e Ing. Eduardo Antonio Villavicencio Floriani.

Esta LEI ha incidido en decisiones de política pública del estado de Baja California Sur a través del plan de manejo integrado de la cuenca, acuífero y humedales de San José del Cabo, con indicadores de sustentabilidad hidroambiental y socioeconómica. Estos estudios impactan de manera positiva en la sociedad de esa región del estado, al diagnosticar el estado ambiental y construir escenarios de agotamiento del agua y suelo ante el crecimiento poblacional e intensificación de actividades antrópicas, elaborando un plan de manejo (PMI-CAE) sustentable de cuencas y esteros.

Integrantes de la LEI de Agua, Suelo y Clima en Agricultura en Zonas Áridas han realizado estudios de caracterización de la condición hidro-ambiental de cuencas y acuíferos en condición crítica son necesarios para entender su funcionamiento natural, para predecir posibles cambios que sean nocivos e irreversibles, y para determinar las condiciones que aseguren su aprovechamiento a largo plazo y, en consecuencia, su sustentabilidad. Un incremento en la demanda del recurso agua de los acuíferos, conlleva a cambios drásticos en la disponibilidad y en la calidad química del agua, lo cual, pone en riesgo la sustentabilidad de dichos sistemas. La generación de información conceptual y metodológica fue de utilidad

para balancear y mejorar la oferta de agua y promover su distribución justa entre regiones y grupos sociales en tres cuencas críticas en el noroeste de México (La Paz y San José del Cabo, Baja California Sur; Hermosillo y Sonora). Además, la colaboración con los consejos de cuenca para la estructuración permitió realizar propuestas a los reglamentos de uso de los acuíferos en estudio.

Línea Estratégica de Investigación V: Biotecnología y Aprovechamiento de Recursos Genéticos

Esta línea está focalizada en la recuperación de germoplasma nativo de México con énfasis en de zonas áridas, estudia la conservación y uso de plantas, genes y microorganismos con potencial biotecnológico. Las zonas áridas se caracterizan por guardar germoplasma capaz de resistir temperaturas extremas y poca agua, por lo que el conocimiento de ciencia básica sobre el germoplasma nativo y los mecanismos moleculares de reconocimiento planta-microorganismo-medio ambiente se vuelve crucial para combatir los efectos del cambio climático del mundo. Nuestro grupo, estudia la adhesión selectiva de bacterias benéficas a las plantas lo cual ha permitido proponer el uso de inoculantes microbianos para mitigación de estrés de zonas áridas, al mismo tiempo que disminuye el uso de contaminantes por fertilización química. Igualmente contamos con bancos de germoplasma regional y líneas elite de plantas de interés como hierbas aromáticas y chile chiltepín que representan retos comerciales de manejo agronómico por su potencial mercado.

La LEI de Biotecnología y Aprovechamiento de Recursos Genéticos está integrada por el siguiente personal académico: Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro, Ing. Xóchilt Aguilar Murillo, Dr. Fernando Von Bortel Luna, Dr. Marco Antonio Ramírez Mosqueda, Dr. Andrés Orduño Cruz, Dr. Abraham Loera Muro, Dr. Aarón Barraza Celis, M.C. Ángel Edgardo Carrillo García, M.C. Margarito Rodríguez Álvarez y Dr. Julio Antonio Hernández González.

Integrantes de esta LEI han trabajado en la innovación de la propagación y conservación de germoplasma de especies vegetales con importancia agronómica y biocultural de la península de Baja California a través de cultivo de tejidos vegetales ha permitido generar y multiplicar plantas como la jojoba, chiltepín, damiana, moringa, especies aromáticas y forestales, entre otras, con fines comerciales y en algunos casos para fortalecer programas de reforestación implementados por diversos órganos de gobierno como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). La participación de los productores de los municipios de La Paz, Los Cabos, Comondú, Mulegé y Loreto ha sido de importancia en la transferencia tecnológica para la obtención de plantas sanas libres de fitopatógenos, reforestación, comercio, entre otros.

Dentro de las investigaciones de la LEI de Biotecnología y Aprovechamiento de Recursos Genéticos esta la genotipificación del cultivo y manejo de chiltepín (*Capsicum annum*) para la reversión de la pobreza en comunidades rurales que ha permitido identificar y promover variedades con características deseables, como: resistencia a altas temperaturas, salinidad, mayor rendimiento y producción de capsaicina. La participación de productores de Baja California Sur y de otras entidades como las comunidades Mayo y Yaqui de Sonora, promueve el desarrollo sostenible de las comunidades agrícolas y la diversificación de la oferta de productos agrícolas en mercados locales e internacionales.

Conclusiones

La vocación del Programa de Agricultura en Zonas Áridas (PAZA) desde hace cuatro décadas de su creación ha sido coadyuvar en la producción de alimentos desde la premisa de la conservación de los recursos naturales y manteniendo la soberanía alimentaria. A través de la generación de conocimientos de frontera, se han creado

tecnologías de vanguardia que han permitido con la participación de los productores agrícolas y pecuarios un desarrollo socioeconómico de los agro-sistemas en las zonas áridas y semiáridas de la región Noroeste de México. Nuevos retos en la producción de alimentos se avecinan en las próximas décadas, sin embargo, se seguirá trabajando para continuar con esta noble labor que sin duda alguna es de importancia para la alimentación humana y animal.

Importancia social

La misión del Programa de Agricultura de Zonas Áridas (PAZA) es generar conocimiento, formar recursos humanos de alto nivel y transferir el conocimiento de tal manera que contribuya al desarrollo socioeconómico de los agro-sistemas en las zonas áridas y semi-áridas de la región y de México. Los proyectos con productores de diversos cultivos y áreas pecuarias han abordado diferentes problemáticas y planteado soluciones, sobresaliendo la capacidad técnica y científica del personal académico de las cinco Líneas Estratégicas de Investigación (LEI) del PAZA, coadyuvado en la seguridad alimentaria, generación de empleo y la economía rural, con una visión en la sostenibilidad ambiental y la diversidad cultural

.

Perspectivas

El cambio climático, el recurso agua, la presencia de plagas y enfermedades, las agrotecnologías tradicionales, entre otros, seguirán siendo factores en la producción de alimentos a nivel mundial. Las tecnologías que se generen a partir de la ciencia básica y de frontera serán fundamentales para optimizar los recursos en la producción agropecuaria y proveer de alimentos a una población creciente. Las actividades sustantivas que se llevan a cabo dentro del Programa de Agricultura en Zonas Áridas tendrán que analizar e incluir los problemas actuales y futuros en el ámbito agropecuario, proyectando soluciones reales a través de las diversas

investigaciones que se realizan al interior de cada una de las Líneas Estrategias del Programa de Agricultura que coadyuven cabalmente al bienestar social del estado y del país.

Literatura citada

- Ahmad, M., Ali, Q., Hafeez, M. M., & Malik, A (2021). Improvement for biotic and abiotic stress tolerance in crop plants. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 1, 1-9. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2021i1.50>
- Borlaug, N. E. (1972). Mankind and civilization at another crossroad: In balance with nature-a biological myth. *BioScience*, 41-44. <https://doi.org/10.2307/1296186>
- Clapp, J. (2023). Concentration and crises: exploring the deep roots of vulnerability in the global industrial food system. *The Journal of Peasant Studies*, 50(1), 1-25. <https://doi.org/10.1080/03066150.2022.2129013>
- Evans, J. R., & Lawson, T. (2020). From green to gold: agricultural revolution for food security. *Journal of Experimental Botany*, 71(7), 2211-2215. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa110>
- Garbowski, T., Bar-Michalczyk, D., Charazińska, S., Grabowska-Polanowska, B., Kowalczyk, A., & Lochyński, P. (2023). An overview of natural soil amendments in agriculture. *Soil and Tillage Research*, 225, 105462. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105462>
- Gomes, H. D. O., Menezes, J. M. C., da Costa, J. G. M., Coutinho, H. D. M., Teixeira, R. N. P., & do Nascimento, R. F. (2020). A socio-environmental perspective on pesticide use, and food production. *Ecotoxicology and environmental safety*, 197, 110627. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110627>
- Jahan, M., & Ghalenoei, Sh. (2022). Challenges and opportunities faced on food production systems in arid and semi-arid regions under climate change conditions. *Annals of Agricultural and Crop Sciences*, 7(2), 1-5.
- Koskey, G., Mburu, S. W., Awino, R., Njeru, E. M., & Maingi, J. M. (2021). Potential use of beneficial microorganisms for soil amelioration, phytopathogen biocontrol, and sustainable crop production in smallholder agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606308>

- Leskovac, A., & Petrović, S. (2023). Pesticide use and degradation strategies: food safety, challenges, and perspectives. *Foods*, 12(14), 2709. <https://doi.org/10.3390/foods12142709>
- Li, M., Cao, X., Liu, D., Fu, Q., Li, T., & Shang, R. (2022). Sustainable management of agricultural water and land resources under changing climate and socio-economic conditions: A multi-dimensional optimization approach. *Agricultural Water Management*, 259, 107235. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107235>
- Rempelos, L., Baranski, M., Wang, J., Adams, T. N., Adebuseyi, K., Beckman, J. J., Brockbank, C. J., Douglas, B. S., Feng, T., Greenway, J. D., Gür, M., Iyaremye, E., Kong, C. L., Korkut, R., Kumar, S. S., Kwedibana, J., Masselos, J., Mutalemwa, B. N., Nkambule, B. S., Oduwale, O. B., Oladipo, A. K., Olumeh, J. O., Petrovic, L., Röhrig, N., Wyld, S. A., Xu, L., Pan Y., Chatzidimitriou, E., Davis, H., Magistrali, A., Sufar, E., Hasanaliyeva, G., Hassan, H. H., Kalee, A., Willson, A., Thapa, M., Davenport, P., Srednicka-Tober, D., Volakakis, N., Watson, A., Seal, C. J., Goltz, M., Kindersley, P., Iversen, P. O., & Leifert, C. (2021). Integrated soil and crop management in organic agriculture: a logical framework to ensure food quality and human health?. *Agronomy*, 11(12), 2494. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122494>
- Sicard, P., Agathokleous, E., Anenberg, S. C., De Marco, A., Paoletti, E., & Calatayud, V. (2023). Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective. *Science of The Total Environment*, 858, 160064.
- Sun, L., Chen, J., Li, Q., & Huang, D. (2020). Dramatic uneven urbanization of large cities throughout the world in recent decades. *Nature communications*, 11(1), 5366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160064>
- Wang, W., Pijl, A., & Tarolli, P. (2022). Future climate-zone shifts are threatening steep-slope agriculture. *Nature Food*, 3(3), 193-196. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00454-y>
- Zhu, Y., Wang, Z., & Zhu, X. (2023). New reflections on food security and land use strategies based on the evolution of Chinese dietary patterns. *Land Use Policy*, 126, 106520. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106520>

Para citar esta obra:

Hernández Montiel, L.G. 2025. Aportaciones históricas del Programa de Agricultura en Zonas Áridas al bienestar comunitario. En: Ortega-Rubio (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 39-53). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 4

CONTRIBUCIÓN HISTÓRICA DEL PROGRAMA DE ACUICULTURA Y SU IMPACTO EN EL BIENESTAR COMUNITARIO

*Carolina Casanova-Valero, Héctor Acosta-Salmon, Perla Sol Cervantes-Bernal y
Danitzia Adriana Guerrero-Tortolero **

daguet04@cibnor.mx

Resumen

El presente capítulo describe la participación del Programa de Acuicultura del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste en el desarrollo del sector acuícola en México en sus diferentes dimensiones: generación de conocimiento, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, vinculación y colaboración, y la atención a las demandas del sector. El Programa de Acuicultura ha generado conocimiento enfocado al desarrollo de tecnologías para la producción de especies marinas de alto valor comercial y ha generado importantes resultados para la actividad acuícola mexicana. Gracias a estos esfuerzos de investigación y desarrollo, se ha logrado transferir paquetes tecnológicos para la producción y cultivo de diferentes especies, así como la resolución de problemas del sector. De manera paralela, el CIBNOR a través de sus programas de posgrado, ha fungido como semillero de especialistas para todos los sectores relacionados con la actividad acuícola, lo que ha facilitado la vinculación y colaboración. El Programa de Acuicultura oferta cuatro tipos de servicios a la comunidad, que atienden, mediante estudios, análisis o diagnósticos, además de la venta de material

biológico, las distintas necesidades del sector acuícola y cuenta con una estructura para hacer frente a trámites administrativos, normativa gubernamental, cumplimiento de obligaciones de transparencia, rendición de cuentas y todas aquellas inherentes al servicio público y otros requerimientos de los sectores interesados.

Palabras clave: Acuicultura, Desarrollo Tecnológico, Formación de Recursos Humanos, Vinculación.

Abstract

This chapter describes the participation of the Aquaculture Program of the Northwest Biological Research Center in the development of the aquaculture sector in Mexico in its different dimensions: generation of knowledge, technological development, training of human resources, linkage and collaboration, and attention to the demands of the sector. The Aquaculture Program has generated knowledge focused on the development of technologies to produce marine species of high commercial value and has generated important results for the Mexican aquaculture activity. Thanks to these research and development efforts, it has been possible to transfer technological packages for the production and cultivation of different species, as well as the resolution of problems in the sector. In parallel, CIBNOR, through its postgraduate programs, has served as a breeding ground for specialists for all sectors related to the aquaculture activity, which has facilitated linkages and collaboration. The Aquaculture Program offers four types of services to the community, which address, through studies, analysis, or diagnoses, in addition to the sale of biological material, the different needs of the aquaculture sector and has a structure to deal with administrative procedures, regulations government, compliance with obligations of transparency, accountability and all those inherent to the public service and other requirements of the interested sectors.

Keywords: Aquaculture, Human Capital Formation, Linkage and Collaboration, Technology Development.

Introducción

Durante la segunda mitad del siglo XX se crean en el noroeste de México diferentes instituciones de educación superior (el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, el Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo, la Universidad Autónoma de Baja California Sur, el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, entre otros) con orientación al estudio de los recursos marinos. Este esfuerzo detonó la investigación científica y el desarrollo o adaptación de tecnologías de cultivo de especies de interés como el camarón, el atún, el ostión y otros bivalvos, que actualmente son las que generan el 95% de la producción acuícola del noroeste.

El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), fue fundado en 1975 para promover el desarrollo científico y tecnológico en la región noroeste del país. La acuicultura se identificó como un eje rector en la producción de alimentos de alto valor y como actividad productiva para la generación de empleos e ingresos para regiones alejadas del macizo continental del país.

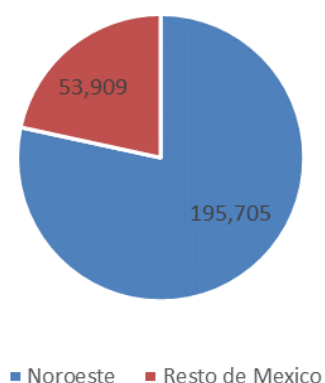
La acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos. La actividad de cultivo implica la intervención humana en los procesos de reproducción, crianza, engorda y cosecha, además de actividades como la alimentación, la prevención de enfermedades y la protección contra depredadores, entre otras (FAO, 1999). Esta actividad productiva generadora de empleos e ingresos complementa la producción de la industria pesquera que ha alcanzado su máximo potencial de explotación en los últimos años. Adicionalmente, la acuicultura es una actividad que provee alternativas de solución para la conservación de especies amenazadas o en

ACUICULTURA

peligro de extinción. La acuicultura es una actividad con muy poco impacto en la huella de carbono en la producción de alimentos, a diferencia de los productos cárnicos que generan contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero y que generan presión en el uso de recursos hídricos cada día más escasos (Hillier et al., 2009).

El noroeste de México es una región principalmente árida o semiárida. Los cinco estados que componen esta región abarcan el 21% del territorio nacional, e incluyen el 52% del litoral del país. Esto le da a la región un alto potencial para la acuicultura marina. Por ejemplo, la producción acuícola del noroeste de México en 2021 fue de 195,705 toneladas, lo que representó el 78% de la producción nacional, sin embargo, el valor de esta producción (\$19,361,530,000) representó el 88% del total nacional (Fig. 3), principalmente debido a la producción de camarón. El 97.5% de la producción acuícola del noroeste en ese año fue de especies marinas (CONAPESCA, 2021). A pesar de este potencial, la acuicultura en la región noroeste, así como en el país, ha tenido un estancamiento reciente en la producción, por lo que es necesario la investigación, colaboración y vinculación entre todos los sectores para que esta actividad económica retome su crecimiento (Casanova-Valero, 2016).

Volumen de la Producción
Acuicola 2021



Valor de la Producción
Acuicola 2021

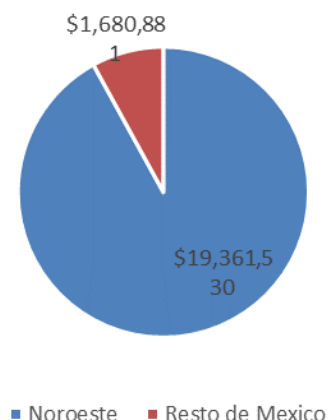


Figura 3. Volumen y valor de la producción acuícola en el noroeste del país.

En el noroeste de México el registro más antiguo de actividad acuícola es la Compañía Criadora de Concha y Perla, establecida a principios del siglo XX en los alrededores de la Isla Espíritu Santo en Baja California Sur. Este esfuerzo fue abandonado durante la Revolución Mexicana y no fue retomado (Monteforte, 1996). Otros esfuerzos para el cultivo de perlas fueron en la década de los sesenta, pero estos también fueron abandonados. No fue sino hasta los setenta que la actividad acuícola se retomó en la región después de la introducción del ostión japonés, o del Pacífico, a Baja California y Baja California Sur (Mazón-Suastegui, 1996a). Poco después se suman a esta actividad intentos de cultivo de otras especies (abulón, almeja catarina, camarón y peces marinos), casi todos con colaboración de especialistas japoneses (Avilés-Quevedo y Mazón-Suastegui, 1996; Mazón-Suastegui 1996a, 1996b; Mazón-Suastegui et al., 1996a; 1996b).

En Sonora, en la década de los ochenta, el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CICTUS) de la Universidad de Sonora logró la producción de postlarvas de camarón azul en laboratorio y su cultivo de forma hiperintensiva, mientras que el Centro Reproductor de Especies Marinas del Estado de Sonora (CREMES) inicia la producción de semilla de ostión del Pacífico. Estas actividades tuvieron como origen u objetivo la adaptación o el desarrollo de tecnología de cultivo de estas especies para el futuro establecimiento de unidades productoras. Estas especies fueron seleccionadas por su alto valor (e.g. camarón, ostión, abulón, atún) y potencial para la exportación, siendo actualmente esta región la que aporta entre el 50 y el 80% de la producción nacional por acuicultura (CONAPESCA, 2021).

Las principales actividades en materia de investigación en acuicultura en el CIBNOR iniciaron dentro de la entonces División de Biología Marina a mediados de los ochenta y es hasta los noventa cuando se da origen al Programa de Acuicultura (1997). Estas investigaciones se enfocaron primordialmente en la continuación del desarrollo de tecnologías de cultivo de camarón y de moluscos bivalvos y posteriormente de peces marinos. En un inicio se evaluaron la reproducción, cultivo

ACUICULTURA

larvario y producción de juveniles, así como el crecimiento y manejo en diferentes condiciones de cultivo con el camarón azul, *Litopenaeus stylirostris*, así como con la almeja catarina *Argopecten ventricosus* y el ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*, entre otras especies de bivalvos.

La investigación en Acuicultura en el CIBNOR

El Programa de Acuicultura está enfocado a la investigación y desarrollo de tecnologías de cultivo de organismos pertenecientes a 4 grandes grupos taxonómicos naturales: crustáceos, moluscos, peces y alimento vivo, o plancton. Para cada uno de estos grupos se generaron Líneas Estratégicas de Investigación integrando personal académico con diversas especialidades (biología de la reproducción, genética, nutrición, fisiología, zootecnia, etc.), encargados de atender de manera interdisciplinaria las necesidades de los diferentes sectores usuarios de la acuicultura (Fig. 4).

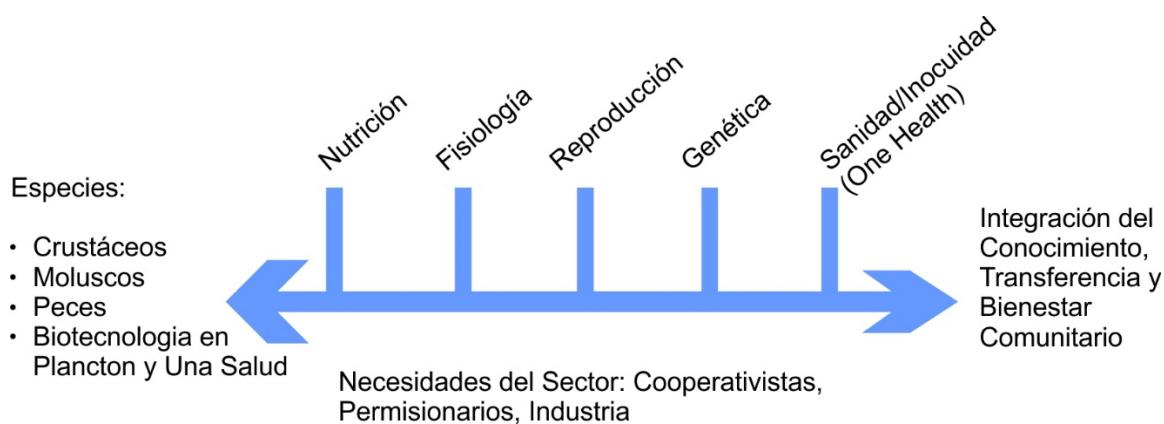


Figura 4. Integración del Conocimiento para el desarrollo de Tecnologías de Cultivo en diversas especies del Programa de Acuicultura del CIBNOR.

INVESTIGACIÓN PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO

La investigación sobre el desarrollo de tecnologías para el cultivo de moluscos bivalvos (Fig. 5) se extiende a diferentes especies a finales de la década de los ochenta. En 1988 se obtuvo el primer lote de semilla de almeja catarina *Argopecten ventricosus* producida a partir de desoves en laboratorio. La semilla generada fue utilizada para el desarrollo de una tecnología para la engorda de esta especie (Maeda et al., 1990). En la década de los noventa se genera un gran esfuerzo en el desarrollo de tecnología de captación y cultivo de ostras perleras y posteriormente de su producción en laboratorio, además de avances en la producción de perlas de cultivo. Similarmente, desde hace más de 20 años se ha trabajado en un programa de mejoramiento genético de ostión del Pacífico con estudios orientados al establecimiento de un pie de cría de alta variabilidad genética, con el objetivo de generar mayor tolerancia a altas temperaturas y resistencia a enfermedades de la región (Juárez et al., 2021).



Figura 5. Semilla de almeja mano de león y semilla triploide de ostión del Pacífico producidas en los laboratorios del CIBNOR

La investigación sobre el desarrollo de tecnologías para el cultivo de crustáceos (Fig. 6) creció rápidamente con la industria camaronícola, incorporando como especie de mayor importancia al camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, la que desplazó al camarón café *Farfantepenaeus californiensis*, debido a problemas en su manejo y las condiciones físico-químicas demandantes para su crecimiento en

cautiverio (Pérez-Enríquez et al., 2016). La investigación sobre la nutrición de camarón se vio fortalecida con la participación de empresas de producción de alimento para especies acuícolas como PURINA y PIASA, así como con la valoración nutricional de la fauna de acompañamiento en las pesquerías como la langostilla y otros subproductos.

Uno de los principales retos para el despegue del cultivo de camarón en la región noroeste del país, fue resolver los problemas de enfermedades que en su momento se presentaron en las principales granjas camaronícolas del noroeste. Enfermedades como la necrosis hepatopancreática (NHPB), el virus de la mancha blanca, el síndrome de Taura y vibriosis en general, causaron pérdidas importantes en la producción nacional de camarón y esto generó un plan estratégico con propuestas de investigación tanto básica como aplicada, orientadas a la sostenibilidad, inocuidad y seguridad alimentaria en el cultivo de camarón (Pérez-Enríquez et al., 2016). Adicionalmente a esto, se llevó a cabo un programa de mejoramiento genético del camarón blanco, cuyo objetivo era obtener rápido crecimiento y resistencia a enfermedades.

Se estableció una adecuada selección de reproductores de camarón de cada generación, con buenas características fenotípicas, estimando un aumento de talla en un promedio de 30 a 40% en un total de cinco generaciones seleccionadas (Martínez-García, M., 2006). De manera paralela el Programa de Acuicultura llevó a cabo investigación para la reconversión y aprovechamiento del agua dulce proveniente del sector agrícola, para implementar bicultivos “agro-acuícolas” a través del cultivo de la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* cuyo recambio de agua es casi inexistente y su producción mostraba rendimientos atractivos para los inversionistas.



Figura 6. La investigación en el cultivo de crustáceos en el CIBNOR se ha enfocado en especies marinas y dulceacuícolas como el camarón blanco y la langosta australiana.

Este tipo de investigaciones pudieron llevarse a cabo a partir del 2004 gracias a la Red Mexicana de Investigación en Acuicultura denominada “última milla” apoyada en su momento por CONACyT. Esta Red contaba con un enfoque de apoyo al sector rural y productivo para financiar investigaciones sobre el escalamiento de tecnologías para el cultivo de langosta de agua dulce, el mejoramiento genético de camarón, el diagnóstico de patógenos con las incipientes, pero novedosas herramientas de biología molecular a partir de PCR, y el manejo de enfermedades como el virus de la mancha blanca en el cultivo de camarón y otros crustáceos. Otras investigaciones que se llevaron a cabo se enfocaron en la evaluación de la capacidad de carga de cuerpos lagunares en las costas de Sinaloa y su relación con el cultivo de camarón.

Esto provocó una sinergia entre el Programa de Acuicultura, y el sector productivo acuícola y con las entidades gubernamentales en ese periodo como el INAPESCA y la CONAPESCA para financiar propuestas de proyectos de investigación por entidades como la misma CONAPESCA (Programas Alianza

ACUICULTURA

Contigo), CONACyT (Programas de Consorcios y AVANCE), Secretaría de Economía (PyMES), y Financiera Rural.

La investigación sobre el desarrollo de tecnologías para el cultivo de peces (Fig. 7) dio prioridad al trabajo con especies con potencial acuícola en la región, como el pargo amarillo, *Lutjanus argentiventris*, el pargo rojo *L. guttatus* y el huachinango *L. peru*; el robalo *Centropomus viridis* y la cabrilla sardinera o mero *Mycteroperca rosacea*. En todas estas especies se logró cerrar sus ciclos en cautividad. Se determinaron edades de primera maduración, condiciones fisicoquímicas para su mantenimiento en óptimas condiciones, requerimientos nutricionales, tanto para reproductores como para larvas y juveniles, además de dietas para maduración (Guerrero-Tortolero D.A., et al., 2010; 2016, Romo-Mendoza D., 2017).

En 2010 y 2012 se obtienen las primeras generaciones de juveniles de pargo amarillo y huachinango, provenientes de reproductores de cultivo (F2). Sin embargo, debido a la falta de una biotecnología de cultivo replicable, la expectativa de producción de estas especies se retrasó ampliamente.

El sector pesquero no vio interés en que despegara esta actividad, debido principalmente al alto rendimiento que aún se tiene en la región por parte de la producción de pesquerías artesanales y de cooperativas pesqueras en el estado. A partir de 2016, con el establecimiento de cultivos comerciales de jurel y otras especies, el Programa de Acuicultura colabora en la investigación sobre la producción de huevos, larvas y semilla de alta calidad, para ser llevadas a su crecimiento y engorda en diversos sistemas de cultivo, como tanques, estanques y jaulas flotantes.

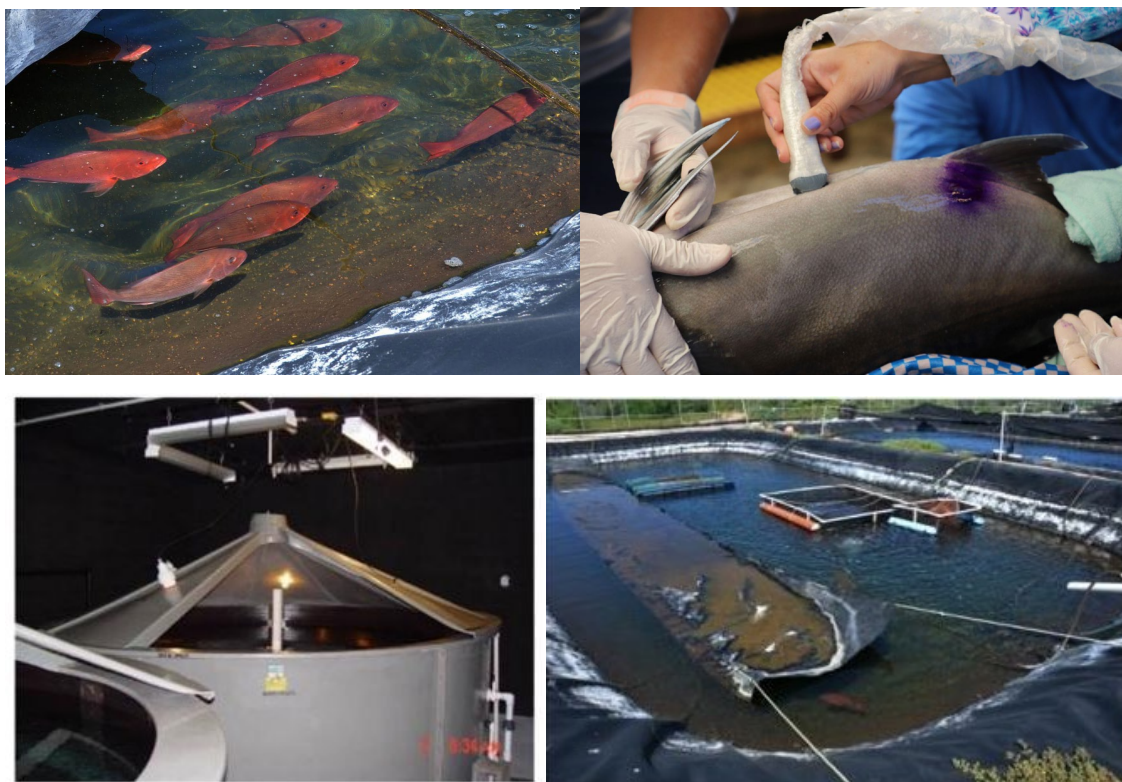


Figura 7. Sistemas de cultivo de peces en el CIBNOR (Fotos Acervo del CIBNOR).

La investigación sobre el desarrollo de tecnologías para el cultivo de microalgas (Fig. 8) se llevó a cabo paralelamente debido a las necesidades de investigación sobre cultivo de moluscos, crustáceos y peces, principalmente. Actualmente, la colección de microalgas del CIB alberga 167 cepas de especies nativas y exóticas, de ambientes marinos, dulceacuícolas y salobres, pertenecientes a diez grupos taxonómicos. Esta colección tiene como objetivo apoyar a la acuicultura, la investigación y la educación mediante la proveeduría de estas cepas aisladas, así como la capacitación y asesoría para su aislamiento, mantenimiento y cultivo, mediante cursos, conferencias y estancias.

ACUICULTURA



Figura 8. Laboratorio de cultivo de alimento vivo del CIBNOR (Fotografías J. Garzón)

Actualmente el Programa de Acuicultura cuenta con 45 laboratorios donde se llevan a cabo actividades acuícolas (producción de semilla de moluscos bivalvos, cultivo de microalgas, bioensayos con crustáceos y peces, etc) y trabajo analítico (análisis fisiológicos, metabólicos, genéticos, genómicos y nutricionales, entre otros).

Adicionalmente, el Programa de Acuicultura cuenta con laboratorios especializados en las distintas Unidades Foráneas (Guaymas, Guerrero Negro, Hermosillo y Nayarit), donde se atienden necesidades locales o regionales específicas. Para lograr el cumplimiento de las metas y objetivos académicos, así como de las obligaciones a que está sujeto el personal académico, el Programa de Acuicultura se organiza de tal manera que puede coordinar y ordenar los procesos a seguir para que las investigaciones que se anidan en el Programa puedan cumplir con trámites específicos relacionados a la actividad acuícola ante las autoridades correspondientes (SADER, SENASICA, CONAPESCA, SEMARNAT, IMIPAS, entre otros). En su estructura académica, el Programa de Acuicultura cuenta con una oficina de coordinación. Desde allí se gestionan y administran los recursos asignados para la operatividad interna de la infraestructura del Programa, así como del desarrollo de los proyectos adscritos. Además, se planifican, organizan, direccionan y ejecutan los procesos normativos y obligaciones a que están sujetos

el CIBNOR y los servidores públicos adscritos al Programa (Normateca, CIBNOR, MOEPA).

El Programa de Acuicultura del CIBNOR tiene una estructura académica sólida que le ha permitido incidir en las necesidades del sector acuícola, generando conocimiento de relevancia y utilidad, formando recursos humanos especializados, así como participando en la transferencia del conocimiento a la sociedad a través de acciones de divulgación y acercamientos al sector educativo, entre otras. Asimismo, el desarrollo del CIBNOR, el crecimiento del Programa, las políticas públicas y las disposiciones gubernamentales, han obligado al Programa de Acuicultura a adoptar nuevas funciones específicas para organizar procesos internos y dar cumplimiento a los requerimientos y observaciones por parte de las autoridades, así como a proporcionar información de valor a solicitud de autoridades y otras instituciones, que contribuya con el buen desarrollo del Programa y la amplificación de sus impactos. Para lograr todos los objetivos y cumplir con las obligaciones del Programa, la Coordinación está comprometida con mantener una buena comunicación, gestión, buena atención, organización y asesoramiento, desarrollando la administración como un servicio a la comunidad con responsabilidad y transparencia.

Conclusiones

El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste ha generado conocimiento a través de la investigación en acuicultura desde su creación en 1975. Este conocimiento se ha enfocado en el desarrollo de tecnologías para la producción de especies marinas de alto valor comercial, y ha generado importantes resultados para la actividad acuícola mexicana. Gracias a estos esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológico, se ha logrado transferir paquetes tecnológicos para la producción y cultivo de diferentes especies así como la resolución de problemas del sector. Actualmente la producción de semilla y la engorda de especies acuícolas

ACUICULTURA

(almejas catarina, mano de león, chocolata, generosa; ostiones de placer y del Pacífico, así como callo de hacha, camarones nativos, huachinango y cabrilla sardinera, entre otras) es una realidad.

De manera paralela, el CIBNOR a través de sus programas de posgrado, ha fungido como semillero de especialistas para todos los sectores relacionados con la actividad acuícola (gobierno, permisionarios, cooperativistas, iniciativa privada, organizaciones no gubernamentales y la academia), lo que le ha facilitado al CIBNOR la vinculación y colaboración. Es gracias a éstas que el Programa de Acuicultura ha participado activamente en la comunidad, coadyuvando y sentando las bases para que estos sectores se conjunten en diversos eventos tales como talleres, conferencias y actividades que el mismo Programa ha organizado desde su creación.

El Programa de Acuicultura a través de su estructura, líneas estratégicas de investigación, personal académico y capacidad administrativa oferta cuatro tipos de servicios a la comunidad, estos servicios especializados atienden, mediante estudios, análisis o diagnósticos, además de la venta de material biológico, las distintas necesidades del sector acuícola.

Para poder materializar lo anterior, el Programa de Acuicultura ha requerido de una estructura que haga frente tanto a trámites administrativos, normativa gubernamental, y otros requerimientos de los sectores interesados. Para atender estas necesidades se crearon las Coordinaciones de Programa donde se le facilita al personal académico, por ejemplo, trámites correspondientes ante dependencias como SADER, CONAPESCA, IMIPAS y CONAHCyT, entre otros. Adicionalmente al ser una institución pública el CIBNOR está sujeto a cumplir con obligaciones de transparencia, rendición de cuentas y todas aquellas inherentes al servicio público, para lo cual estas Coordinaciones integran la información requerida para dar cumplimiento.

Importancia social

En los últimos años, los retos ambientales y sociales que afronta el mundo se han pronunciado cada vez más. Esto ha obligado a las instituciones y organismos nacionales e internacionales a reconfigurar sus estrategias para mitigar estos problemas, lo que implica el reconocimiento de alternativas multifactoriales. Ante este escenario, los investigadores del Programa de Acuicultura están en constante evolución, a través de colaboraciones intra e interinstitucionales con el objeto de desarrollar proyectos más inclusivos de colaboración. Actualmente, la acuicultura es la industria de mayor crecimiento en el mundo. Para lograr que su desarrollo se sostenga, se requiere el desarrollo de tecnologías modernas y rentables, así como recursos humanos altamente capacitados. A medida que la generación de conocimiento y el desarrollo tecnológico en materia de acuicultura se fue expandiendo, se hizo evidente la necesidad de transferir estos avances a la sociedad y a la industria. Se llevaron a cabo distintas reuniones para lograr la instrumentación de proyectos acuícolas de base tecnológica que reunieron a productores privados y sociales de ostión, camarón y peces marinos, entre otros.

El cuerpo académico del Programa de Acuicultura ha participado y organizado, desde su creación, múltiples actividades académicas. A lo largo de los años, los investigadores y técnicos del Programa han adquirido y perfeccionado habilidades y técnicas para realizar investigaciones más finas y que tengan un mayor impacto social. Su gran trayectoria y experiencia, los ha convertido en autoridad en materia de acuicultura a nivel regional, y les ha permitido transmitir sus conocimientos a través de la formación de recursos humanos altamente capacitados, la publicación de artículos en revistas especializadas y el desarrollo de proyectos de investigación que logren atender las necesidades y resolver las problemáticas del sector acuícola para coadyuvar a garantizar la provisión de alimentos de alto valor nutricional. El estado de Baja California Sur tiene una oferta académica para educación media superior con orientación a la acuicultura y para educación superior orientada a la

ACUICULTURA

biología marina y recientemente, a la bioingeniería en acuicultura. Adicionalmente, la oferta académica para la especialización y posgrados en acuicultura y otras disciplinas afines a la biología y desarrollo de tecnologías de cultivo ha sido cubierta por los centros de investigación de la región.

El Programa de Acuicultura participa activamente, a través del Programa de Posgrado del CIBNOR, en la formación de recursos humanos en niveles de maestría y doctorado orientados a la acuicultura y a la biotecnología a través de la impartición de los cursos escolarizados y la dirección de las tesis. Además de la oferta de posgrados que ofrece el CIBNOR, los investigadores y técnicos desempeñan también actividades de capacitación a estudiantes internos y externos, así como a académicos de otras instituciones y centros de investigación. Al mismo tiempo, las estancias académicas de investigación para estudiantes e investigadores de otras instituciones nacionales y extranjeras han consolidado la vinculación y la colaboración académica a través de convenios interinstitucionales para la movilidad, lo que garantiza una constante actualización para poner en práctica los conocimientos adquiridos. Esta dinámica contribuye a que la acuicultura pueda continuar desarrollándose, por una parte, insertando a recursos humanos en el mercado laboral especializado, que conocen las necesidades y problemáticas de la industria, y, por otro lado, formando nuevas generaciones de científicos que continuarán respondiendo a las necesidades del sector.

La participación activa y constante en foros científico-académicos, ha permitido compartir y discutir los resultados de las investigaciones con otros especialistas en materia de acuicultura alrededor del mundo. Esto permite tener una perspectiva más integral sobre el estado actual del sector a nivel mundial y generar vinculaciones y colaboraciones científicas con instituciones del más alto nivel para resolver los problemas, procurar el ordenamiento e impulsar el desarrollo del sector acuícola en todas sus dimensiones.

INVESTIGACIÓN PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO

En la primera década de los 2000, el Programa de Acuicultura participó en la evaluación de más de 25 empresas y cooperativas acuícolas, que representaban a más de 150 familias en los estados de Baja California y Baja California Sur. A partir de este estudio se plantea la necesidad de la producción en laboratorio de la almeja mano de león, la almeja catarina y el ostión de placer. Las primeras dos especies presentaban altos niveles de explotación y enfermedades y un decremento en su producción pesquera regional, mientras que el ostión de placer se identificó como una especie endémica con alto potencial de producción por su fácil manejo, potencial para su mejoramiento genético y tasas de crecimiento atractivas con altos rendimientos. Posteriormente se ejecutaron proyectos de transferencia de tecnología con varios participantes en el estudio. El personal académico del Programa de Acuicultura también presta servicios o estudios de análisis o de diagnóstico a usuarios externos (academia, social, o empresarial). Estos servicios han ido en aumento y de 12 servicios atendidos en 2020, en 2022 se atendieron 36 servicios. El monto captado por estos servicios también se incrementó de \$222,000 en 2020 a \$3,050,000 en 2023. El 50% de estos servicios son solicitados por usuarios del sector social, siendo sociedades cooperativas de producción pesquera y acuícola las que se benefician de estos. El resto de los servicios son solicitados por el sector académico (universidades y otras instituciones de educación superior) y el sector empresarial.

De las cuatro Líneas Estratégicas de Investigación con las que cuenta el Programa de Acuicultura, el personal adscrito a la Línea Estratégica de Cultivo de Moluscos atiende la mayor parte de las solicitudes de servicios (57%) seguido por el personal adscrito a la Línea Estratégica de Biotecnología en Plancton y Una Salud quienes atienden el 40% de las solicitudes de servicios. La Línea Estratégica de Cultivo de Moluscos atiende en su gran mayoría (86%) al sector social principalmente como proveedor de semilla mejorada de ostión del Pacífico a sociedades cooperativas en la zona de Bahía Magdalena. En este sentido, el Programa de Acuicultura, ha tenido que transformarse y pasar de ser un programa con actividades rigurosamente científicas, a adoptar un enfoque más ecléctico, que

ACUICULTURA

además de cumplir con su quehacer esencial, le permite diversificar sus actividades a través de la participación y la vinculación con diferentes sectores e instituciones para realizar en conjunto aportes en beneficio directo de la sociedad.

En los últimos períodos gubernamentales, las políticas públicas se han orientado a implementar estrategias que impacten en el bienestar, garantizando la seguridad alimentaria y la conservación y cuidado del medio ambiente (PND). En consecuencia, el sector de Ciencia y Tecnología ha aplicado estas estrategias orientando las convocatorias y financiamientos hacia una investigación más incidente en el bienestar con el objeto de cubrir las necesidades y demandas de la sociedad.

El Programa de Acuicultura ha identificado las necesidades de la región y participa activamente en la instrumentación de esta política pública realizando investigaciones a un nivel epistemológico que contribuyen al conocimiento básico y de frontera, así como desarrollando y transfiriendo tecnología que favorezca el beneficio social y el desarrollo del país. Los investigadores y técnicos del Programa de Acuicultura participan activamente con el Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación (PACE) y el Departamento de Divulgación y Extensión Científica del CIBNOR en ferias y exposiciones en recintos diversos, entrevistas en radio, televisión y redes sociales institucionales, actividades recreativas, charlas en instituciones académicas, y visitas guiadas dentro del CIBNOR, entre otras.

Perspectivas

El Programa de Acuicultura continuará su tránsito hacia la investigación y el desarrollo tecnológico transdisciplinario, además del trabajo orientado a la consolidación de la vinculación y colaboración entre los sectores académico, gubernamental y social. El fortalecimiento de estas vinculaciones con los gobiernos estatales y municipales es clave para crear sinergias responsables que solucionen

demandas específicas de productores y grupos sociales de la región. Además, la participación del sector privado en la investigación y el desarrollo tecnológico será fundamental para que la actividad científica se enfoque al diagnóstico y solución de problemas vigentes, así como a generar propuestas de mejoras tecnológicas.

Literatura citada

- Avilés Quevedo, A. y Mazón Suastegui J.M. (1996). Cultivo de peces marinos. En M. Casas Valdez, y G. Ponce Díaz (eds.) *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur* (651-684). CIBNOR.
- Casanova Valero, C. (2016). *Gobernanza y desarrollo sustentable de la acuicultura en Baja California Sur*. [Tesis de Maestría en Ciencias], Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- CONAPESCA (2021). Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura. CONAPESCA
- FAO (1999). *FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. Desarrollo de la acuicultura*. FAO. URL <https://www.fao.org/4/W4493S/w4493s00.htm>
- Guerrero-Tortolero, D.A., Campos-Ramos R, Burgos-Aceves, M.A., Pérez-Urbiola, J.C. y Colado-Durán, J. G. (2010). Effects of compressed seasonally changing day-length cycles on spawning performance, production of viable eggs and levels of vitellogenin in plasma in female yellowtail snapper *Lutjanus argentiventris*. *Journal of Fish Biology*, 77, 2285–2297. <http://doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02806>
- Guerrero-Tortolero D.A., Romo-Mendoza D., Pérez-Urbiola J.C. y Campos-Ramos, R. (2016). Timing of Puberty and Reproductive Performance in Wild-Reared and Hatchery-Reared Pacific Red Snapper *Lutjanus peru*. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 68. <https://ija.scholasticahq.com/article/20806.pdf>
- Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S. y Smith, P., (2009). The carbon footprints of food crop production. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(2), 107-118.
- Juárez, O.E., Escobedo-Fregoso, C., Arredondo-Espinoza, R. y Ibarra, A.M., (2021). Development of SNP markers for identification of thermo-resistant families of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* based on RNA-seq. *Aquaculture*, 539, 736618.

ACUICULTURA

- Maeda, A.N., Reynoso T., Mazón J.M., Monsalvo P., Hernández O., Segovia E., Sicard M.T. y R. Morales, (1990). *Integral Culture of catarina scallop *Argopecten circularis*: The first experience*. Abstracts of The World Aquaculture Conference and Exposition. Halifax, N.S., Canadá.
- Martínez-García M., (2006). *Informe de Gestión 1997-2006*. CIBNOR
- Mazón Suastegui, J.M. (1996a). Cultivo de ostión japonés *Crassostrea gigas*. En M. Casas Valdez y G. Ponce Diaz (Eds.) *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. (pp. 625-650). CIBNOR
- Mazón Suastegui J.M. (1996b). Cultivo de la almeja catarina *Argopecten circularis*. En M. Casas Valdez y G. Ponce Diaz (Eds.) *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. 513-544. CIBNOR
- Mazón Suastegui J.M., Magallón Barajas, F., Portillo Clark, G., y Hernandez Llamas, A., (1996a). Cultivo de camarón *Penaeus* spp. En M. Casas Valdez y G. Ponce Diaz (Eds.) *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. (pp. 551-569). CIBNOR.
- Mazón Suastegui, J.M., Muciño Diaz, M., y Bazua Sicre, L.A., (1996b). Cultivo de abulón *Haliotis* spp. En M. Casas Valdez y G. Ponce Diaz (Eds.) *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. (pp. 475-511). CIBNOR.
- Monteforte M. (1996). Cultivo de ostras perleras y perlicultura. En M. Casas Valdez y G. Ponce Diaz (Eds.) *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. (pp. 571-613). CIBNOR
- Pérez-Enríquez R., Acosta-Salmón H., Arcos-Ortega F., Ascencio F., Campa-Córdova A.I., Campos-Ramos R., Civera-Cerecedo R., Cruz-Hernández P., Hernández-Llamas A., Ibarra-Humphries A.M., Mazón-Suástegui J.M., Mejía-Ruiz, C.H., Mercier L., Nolasco-Soria H., Palacios-Mechetnov E., Racotta I.S., Romero-Vivas E., Vázquez-Juárez R., y Villarreal-Colmenares H. (2016). *Reseña histórica y académica del cultivo de camarón en el CIBNOR*. Recursos Naturales y Sociedad 2 (1), 36-59.
- Romo-Mendoza D., Campos-Ramos R., Burgos-Aceves M.A. y Guerrero-Tortolero, D. A. (2017) Simultaneous Germinal Vesicle Migration and Oil Droplet Coalescence Predict Final Oocyte Maturation in the Leopard Grouper, *North American Journal of Aquaculture*, 79 (3), 197-204.
<http://dx.doi.org/10.1080/15222055.2017.1301605>

Para citar esta obra:

Casanova-Valero, C., H. Acosta-Salmon, P. S. Cervantes-Bernal y D. A. Guerrero-Tortolero. 2025. Aportaciones históricas del Programa de Acuicultura y su impacto en el bienestar comunitario. En: Ortega-Rubio (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 55-75). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C

CAPÍTULO 5

APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE ECOLOGÍA PESQUERA COMO VÍNCULO VITAL PARA EL BIENESTAR SOCIAL

Crisalejandra Rivera-Pérez

crivera@cibnor.mx

Resumen

El Programa de Ecología Pesquera del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR) ha desempeñado un papel fundamental en el sector pesquero. Desde su creación, ha realizado importantes contribuciones mediante la generación de conocimiento, enmarcadas en sus cinco líneas estratégicas de investigación. Estas abarcan diversos aspectos, desde el estudio de los recursos marinos comerciales y potenciales hasta el análisis de la fauna de acompañamiento. Destacadamente, se ha investigado la variabilidad ambiental en las pesquerías, dado su crucial importancia para comprender y gestionar eficazmente los recursos marinos, promoviendo así su sostenibilidad y resiliencia frente a los desafíos ambientales y climáticos presentes y futuros. Estos estudios han permitido identificar recursos marinos y/o subproductos que pueden ser valorizados, maximizando así los beneficios económicos y nutricionales, reduciendo el desperdicio y fomentando la sostenibilidad en toda la cadena de suministro pesquero. Además, se ha enfocado en esquemas de ordenamiento pesquero, los cuales son cruciales para garantizar la sostenibilidad de la pesca, proteger los ecosistemas marinos y promover el bienestar social y económico de las comunidades pesqueras. Estos esfuerzos también son esenciales para cumplir con

las obligaciones internacionales en materia de conservación marina. De esta manera, el Programa de Ecología Pesquera del CIBNOR ha sido un actor clave en la generación de conocimiento y la implementación de medidas para promover la sostenibilidad y la eficacia en el sector pesquero, contribuyendo así al bienestar tanto de las comunidades pesqueras como del medio ambiente marino.

Palabras clave: pesquerías, sustentabilidad, marinos, valorización, ordenamiento.

Abstract

The Fisheries Ecology Program of the Northwest Center for Biological Research (CIBNOR) has played a fundamental role in the fishing sector. Since its conception, it has made significant contributions through knowledge generation, framed within its five strategic lines of research. These includes various aspects, from the study of commercial and potential marine resources to the analysis of by-catch fishery. Notably, environmental variability in fisheries has been investigated, given its crucial importance in understanding, and effectively managing marine resources, thus promoting their sustainability and resilience against present and future environmental and climatic challenges. These studies have allowed the identification of marine resources and/or by-products that can be valorized, thereby maximizing economic and nutritional benefits, reducing waste, and fostering sustainability throughout the fishing supply chain. Additionally, focus has been placed on fisheries management schemes, which are crucial for ensuring the sustainability of fishing, protecting marine ecosystems, and promoting the social and economic well-being of fishing communities. These efforts are also essential for fulfilling international obligations regarding marine conservation. Thus, the Fisheries Ecology Program of CIBNOR has been a key actor in knowledge generation and the implementation of measures to promote sustainability and efficiency in the fishing sector, thereby

contributing to the well-being of both fishing communities and the marine environment.

Keywords: fisheries, sustainability, marine, valorization, management.

Introducción

El sector pesquero en conjunto con la acuicultura, han sido reconocidos cada vez más por su contribución esencial a la seguridad alimentaria y la nutrición a nivel mundial en el siglo XXI. La producción pesquera ha incrementado significativamente en los últimos siete decenios, pasando de 19 millones de toneladas en 1950 a un récord histórico de unos 179 millones de toneladas en 2018, con un crecimiento anual promedio de 3.3% (FAO, 2022). Sin embargo, en 2019 con el brote por coronavirus (COVID-19) la producción descendió ligeramente, para incrementarse apenas un 0.2% para 2020 con una producción de 178 millones de toneladas (FAO, 2022).

México es privilegiado por su posición geográfica al estar rodeado por el Océano Pacífico, Golfo de California, Golfo de México y el mar Caribe, además cuenta con un gran número de islas e islotes, dando como resultado una gran riqueza de ecosistemas y especies de gran importancia para el país. Una de las vocaciones naturales más importantes de México son la pesca y la acuicultura (CONAPESCA, 2021). A nivel mundial, nuestro país es el número 16 en cuanto a la producción de pescados y mariscos (EDF, 2019) y se estima que en México se consumen entre 4-6 g de proteína de pescado *per cápita* al día. Sin embargo, el desarrollo de estas actividades productivas está condicionada al estadio físico de los activos productivos (embarcaciones y unidades de producción), los cuales de acuerdo con el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA) la flota pesquera mexicana ésta constituida por 76,306 embarcaciones: 2,020 embarcaciones

mayores registradas y 74,286 embarcaciones menores (ribereñas) registradas (DOF, 2020).

Sin embargo, en México la pesca sigue siendo una actividad poco valorada. Históricamente no se ha considerado como una actividad económica prioritaria para el país; se destinan recursos muy limitados para promoverla y se subestima su gran potencial como fuente de alimentación saludable para los mexicanos (EDF, 2019).

El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), creado en 1975, ha enfocado su visión en contribuir al progreso económico y social sostenible del país, mediante la generación de conocimiento científico, formación de recursos humanos, desarrollo tecnológico y de innovación. En este marco, se creó la División de Biología Marina el cual años después se convirtió en el Programa Académico de Ecología Pesquera (PEP). Este Programa tiene sedes en La Paz, Baja California Sur y en Guaymas, Sonora, e incluye cinco líneas estratégicas que abordan desde diferentes aspectos los recursos marinos que actualmente se pescan y la identificación de nuevos recursos potenciales, además de la transformación de estos recursos en nuevos productos mediante herramientas biotecnológicas (Figura 9).

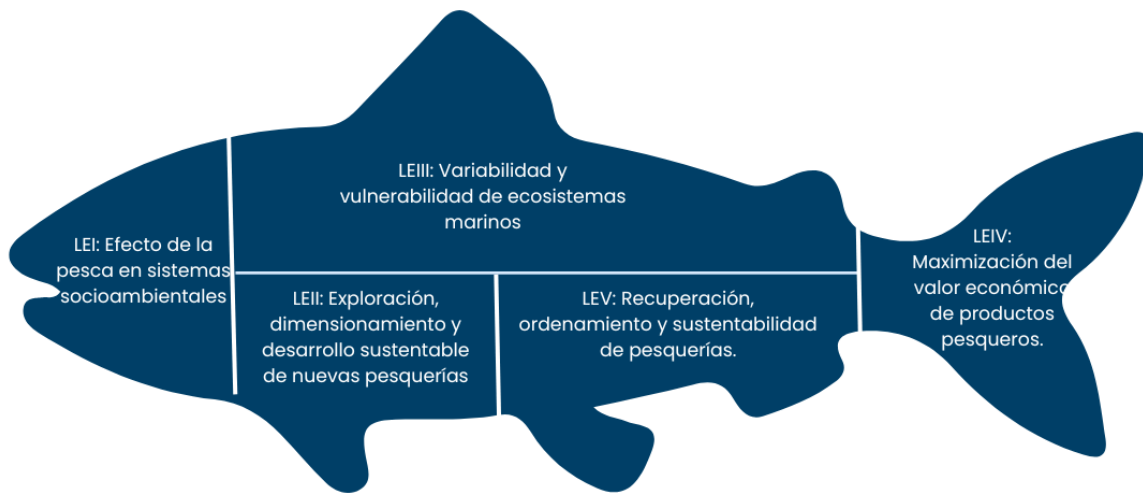


Figura 9. Líneas estratégicas del Programa de Ecología Pesquera de CIBNOR.

Impacto del PEP a través de sus líneas estratégicas

Las pesquerías mexicanas desempeñan un papel esencial en la seguridad alimentaria del país, al proporcionar una fuente crucial de proteínas y nutrientes (FAO 2022). Las comunidades costeras dependen directamente de la pesca como una fuente primaria de alimentos, y los productos del mar contribuyen significativamente a la dieta de la población mexicana. La diversidad de especies capturadas y cultivadas no solo enriquece la oferta alimentaria, sino que también refleja la riqueza de la biodiversidad marina que sustenta estos ecosistemas.

Desde tiempos ancestrales, la actividad pesquera han sido un pilar cultural y social en México. Las comunidades pesqueras, con sus tradiciones arraigadas, han forjado una conexión profunda con el mar y sus recursos. Además de proporcionar empleo, las pesquerías contribuyen a la cohesión comunitaria y al sentido de identidad local, formando parte integral del patrimonio cultural de muchas regiones costeras (Rodríguez Galicia, 2017).

Algunos hitos de las pesquerías en la última década incluyen la Certificación MSC para la Pesquería de Atún en el Pacífico Mexicano en 2012 (FAO, 2022). Este reconocimiento del Marine Stewardship Council subrayó los esfuerzos de México para gestionar de manera sostenible la pesquería de atún. Posteriormente, en 2017, la implementación de Dispositivos Excluidores de Tortugas (DET) marcó otro hito importante. México, en línea con las preocupaciones de conservación, adoptó medidas específicas para reducir la captura incidental de tortugas marinas en las operaciones pesqueras. La introducción de estos dispositivos en las redes de arrastre refleja el compromiso del país con la conservación de especies en peligro de extinción y ha influido en la adaptación de las prácticas pesqueras. Finalmente, en 2022, se resalta la restauración de los hábitats acuáticos y el cuidado a la biodiversidad, a través de la iniciativa de la transformación azul, la cual respalda una visión dinámica y positiva de la pesca y la acuicultura en el siglo XXI, en la que el sector goza del reconocimiento por su contribución a la lucha contra la pobreza, el hambre y la malnutrición (FAO, 2022).

El Programa de Ecología Pesquera del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) ha dejado una huella significativa en la investigación pesquera en México, como se refleja en las aproximadamente ~900 publicaciones generadas en la última década. Estas contribuciones se alinean estrechamente con las líneas estratégicas del programa, que abordan los desafíos y las oportunidades en el ámbito de las pesquerías.

Línea Estratégica 1: Efectos de la Pesca en Sistemas Socioambientales.

A lo largo de los años, el PEP ha investigado los problemas ambientales que impactan los ecosistemas mediante la integración de subsistemas bióticos y sociales. Un ejemplo destacado es el análisis de la pesca de arrastre de camarón

en el Golfo de California (GC) (Aurioles y Balart, 1995; Rábago-Quiroz et al., 2012; Morales Azpeitia et al., 2013; López-Martínez et al., 2014), donde se ha colaborado con instituciones como el Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, así como con la Subsecretaría de Pesca y Acuacultura del Estado de Sonora. Estas investigaciones han revelado que, aunque la pesca de arrastre perturba el ecosistema costero debido a su alto consumo de energía, el sistema puede recuperarse rápidamente. El estudio de la fauna de acompañamiento ha proporcionado información valiosa sobre diversas especies marinas (Balart, 1996), enriqueciendo nuestro conocimiento de la biodiversidad local. Este conocimiento también ayuda a identificar especies con potencial pesquero, ofreciendo alternativas a las autoridades para diversificar la pesca, reducir la presión sobre el camarón y aumentar los ingresos de los pescadores, contribuyendo así a la seguridad alimentaria del país.

Línea Estratégica 2: Exploración, Dimensionamiento y Desarrollo Sustentable de Nuevas Pesquerías.

Se admite que en México varios recursos pesqueros están sobre o cerca de los límites de sostenibilidad. A pesar de esta situación, se puede argumentar que el país no ha maximizado el uso de sus recursos pesqueros y que aún hay oportunidades relacionadas con los recursos potenciales abundantes, especialmente en zonas de alta productividad biológica, como la Costa Occidental de la Península de Baja California y el Golfo de California. Por ejemplo, La langostilla (*Pleuroncodes planipes*) ha sido vista como un recurso viable para la explotación pesquera durante varias décadas. Se han llevado a cabo diversos estudios sobre aspectos de su dinámica poblacional, como crecimiento, mortalidad, biología reproductiva, distribución, abundancia, estimaciones de biomasa, ecología del comportamiento, relación con el ambiente, genética poblacional, así como aspectos de fisiología y toxicología, entre otros (De Anda-Montañez et al., 2016; Martínez-Canto et al., 2013). Además, las investigaciones desarrolladas por personal del PEP Unidad

Guaymas ayudaron a detonar la pesca de la medusa bola de cañón (López-Martínez et al., 2006; López-Martínez & Ocampo-Victoria, 2008; Burrola et al., 2009; Carvalho-Saucedo et al., 2011; López-Martínez et al., 2017; López-Martínez et al., 2018), generando ~6,000 empleos con una derrama de 18 millones de dólares. Se integró la ficha técnica de la Carta Nacional Pesquera.

Se han realizado esfuerzos de pesca exploratoria para evaluar nuevos recursos potenciales, como la del Cangrejo Araña (*Maiopsis panamensis*) (Rodríguez-Jaramillo et al., 2021) y Terciopelo (*Stenocionops ovata*). Además, se han ejecutado proyectos diversos, como el estudio de la totoaba en el Golfo de California, abordando aspectos como dinámica poblacional, biología reproductiva, ecología trófica y diversidad genética (Valenzuela-Quiñonez et al., 2015; Valenzuela-Quiñonez et al., 2016; Hernández-Aguilar et al., 2017; Hernández-Tlapale et al., 2020). Estos proyectos han respaldado decisiones gubernamentales y respondido a demandas sociales, siendo difundidos en publicaciones científicas y utilizados en la formación de recursos humanos especializados.

Línea Estratégica 3: Variabilidad y Vulnerabilidad de Ecosistemas Marinos.

En la última década se han llevado a cabo estudios en el Golfo de California con especies bentónicas para comprender su distribución, dinámica poblacional y capacidad reproductiva, con el objetivo de identificar posibles especies invasoras y las zonas de riesgo (Pérez-Estrada et al., 2013; Moreno-Dávila et al., 2023). Estos estudios utilizan enfoques multidisciplinarios, combinando trabajo de campo, bioensayos de laboratorio y análisis de datos con diversas técnicas analíticas. Se investiga el impacto del cambio climático, proyectando escenarios de aumento de temperatura, acidificación y turbulencia del agua (López-Martínez et al., 2023; Lluch-Cota et al., 2023; Urcádiz-Cázares et al., 2023; Piñón-Gimate et al., 2022; Zamora-Sarabia et al., 2022; Farach-Espinoza et al., 2021; Bautista-Romero et al.,

2017). Además, se aborda la contaminación por microplásticos, evaluando la bioacumulación y transferencia de plásticos en cadenas tróficas marinas (Sánchez Osuna, 2023). Estas investigaciones buscan comprender las respuestas de las especies y los ecosistemas a los cambios ambientales y proporcionar información para la toma de decisiones en la preservación de los ecosistemas marinos y el aprovechamiento sostenible de los recursos en la región noroeste de México.

Línea Estratégica 4: Maximización del Valor Económico de Productos Pesqueros.

La bioprospección ha sido una estrategia para evaluar y aprovechar los recursos presentes en la biodiversidad. Estas actividades abarcan desde la investigación de compuestos innovadores obtenidos de organismos como bacterias, hongos, algas, plantas o animales, hasta la identificación de especies, variedades y recursos que puedan servir como base para el desarrollo de productos con valor comercial (CONACYT-PEI, 2018). La exploración biológica y/o genética, son fundamentales en este proceso. La Bioprospección también permite revelar nuevos usos para recursos ya conocidos y, en última instancia, busca ofrecer alternativas de producción para evitar el agotamiento de los recursos.

En la última década destacan investigaciones sobre la langostilla (García-Carreño, 1992; García-Carreño et al., 1996), abordando problemas para los pescadores y buscando su aprovechamiento integral. Además, se estudian microorganismos marinos para obtener pigmentos y enzimas antioxidantes, se ha aprovechado el camarón para obtener harinas (Ayala Borboa, 2014), proteínas, quitina y enzimas (Arreola et al., 2023), se han desarrollado estrategias para generar concentrados de proteína de calamar (Córdova-Murueta et al., 2013; Córdova-Murueta et al., 2018), se están desarrollando investigaciones de proteínas de conchas (Rivera-Pérez et al., 2019; Rivera-Pérez et al., 2022; Arroyo Loranca et al., 2023) con potencial aplicación médica y cosmética, además se han generado

péptidos bioactivos a partir de vísceras de moluscos y peces con propiedades anticancerígenas, antibióticas y antimicóticas (Rivera-Pérez et al., 2023), útiles también en la industria agroalimentaria.

Línea Estratégica 5: Recuperación, Ordenamiento y Sustentabilidad de Pesquerías.

En las últimas décadas, esta línea de investigación ha contribuido significativamente al manejo pesquero, participando en la creación de normativas y planes de manejo, como la Norma Oficial Mexicana para la pesquería de la almeja de sifón (Suárez-Moo et al., 2013; Aragón-Noriega et al., 2019; Hidalgo-de-la-Toba et al., 2021; Luquin-Covarrubias & Morales-Bojórquez, 2021; Larios-Castro et al., 2023; Hidalgo-de-la-Toba et al., 2023) y el plan de manejo de la curvina golfina (Mendivil-Mendoza et al., 2018). También ha respaldado la certificación internacional de sustentabilidad de las pesquerías de sardina en el Golfo de California, impactando en normativas nacionales y documentos de gestión pesquera. La línea ha influido en decisiones importantes, como el cierre a la pesca con ciertos tipos de redes en el Alto Golfo de California, y ha brindado asesoramiento a nivel internacional, asistiendo a los gobiernos de Perú y Ecuador en la gestión del calamar gigante (Hernández-Muñoz et al., 2016; Ramos et al., 2017; Goicochea-Vigo et al., 2019; Pérez-Palafox et al., 2019) y colaborando con la FAO en temas de pesca responsable y efectos climáticos.

Además, ha trabajado en conjunto con diferentes instancias y niveles de gobierno, atendiendo solicitudes de la Cámara de Diputados de la Federación y colaborando con el Gobierno del Estado de Baja California Sur en el desarrollo de programas y diagnósticos para la pesca y acuacultura. Se destaca su participación en mesas de trabajo del Senado de la República para la adecuación de la Ley de Pesca. La visión a largo plazo implica redoblar esfuerzos en enfoques tradicionales y expandir capacidades mediante nuevos temas y técnicas, como análisis,

modelación matemática, evaluación bioeconómica y enfoques socioecológicos para asegurar la viabilidad a largo plazo del sector pesquero.

Conclusiones

En conclusión, el Programa de Ecología Pesquera ha desempeñado un papel crucial en la mejora del bienestar social al examinar detenidamente el impacto de las actividades pesqueras en los ecosistemas marinos y las comunidades locales. La gestión sostenible de los recursos pesqueros ha sido una prioridad, buscando armonizar la explotación pesquera con la conservación de los ecosistemas y la protección de las comunidades dependientes de la pesca. Además, el programa está contribuyendo de manera significativa a la toma de decisiones informada, identificando cómo la actividad pesquera influye en las comunidades locales en términos de empleo, ingresos y calidad de vida.

La investigación también se centra en la reducción de los impactos ambientales y la mejora de la eficiencia de las actividades pesqueras, abordando cuestiones críticas para lograr una pesca más sostenible. Las conclusiones derivadas de estos estudios no solo informan sobre la situación actual de los recursos marinos, sino que también respaldan la formulación de políticas y estrategias de gestión, contribuyendo así al desarrollo de enfoques más equilibrados y sostenibles en el ámbito pesquero.

Importancia social

El impacto social de las pesquerías mexicanas es profundo y multifacético, ya que estas actividades no solo sostienen la seguridad alimentaria del país, sino que también representan un pilar económico y cultural para miles de comunidades costeras. La pesca proporciona empleos directos e indirectos, fomenta la identidad

local y preserva saberes tradicionales que se transmiten de generación en generación. La implementación de prácticas pesqueras sostenibles, como los Dispositivos Excluidores de Tortugas (DET) y la adopción de certificaciones internacionales, ha permitido conciliar la conservación ambiental con la protección del ingreso de los pescadores. A su vez, la exploración de nuevas pesquerías y la valorización de subproductos han generado alternativas económicas viables para comunidades vulnerables, como lo demuestra el aprovechamiento integral de especies como la langostilla o el callo de hacha. Estos esfuerzos promueven una economía circular, resiliente al cambio climático y con menor dependencia de especies sobreexplotadas. La investigación científica liderada por el Programa de Ecología Pesquera del CIBNOR ha fortalecido la toma de decisiones basada en evidencia, incidiendo en políticas públicas que buscan un equilibrio entre aprovechamiento y equidad social. En conjunto, estas acciones consolidan a las pesquerías como motores de desarrollo sostenible y bienestar comunitario en el México costero.

Perspectivas

Algunas de las perspectivas futuras del Programa apuntan a una mayor atención y acción en varios frentes:

Sostenibilidad y gestión de recursos: Implementación de prácticas sostenibles como cuotas de captura, áreas protegidas y regulaciones para evitar sobreexplotación.

Impacto de las pesquerías sobre la biodiversidad marina: Evaluación de las interacciones tróficas, la pérdida del hábitat y los efectos indirectos en especies no objetivo.

Impacto del cambio climático: evaluación del efecto del cambio climático como cambios de temperatura del agua, acidificación oceánica y alteración de los patrones de migración de las especies objetivo.

Impacto socioeconómico: A través de estudios bioeconómicos se espera obtener un enfoque renovado de los impactos socioeconómicos de la pesca en las comunidades costeras y los pescadores, p.e. evaluación de los efectos en la seguridad alimentaria, el empleo y la infraestructura de las comunidades pesqueras.

Innovación en monitoreos: Desarrollo de técnicas de pesca selectiva, monitoreo satelital y sistemas de posicionamiento.

Valorización de productos pesqueros: Desarrollo de productos de valor agregado, como alimentos procesados, suplementos nutricionales, cosméticos y productos farmacéuticos derivados de organismo marinos. Así mismo, valorización de subproductos pesqueros, como vísceras, escamas y piel para la generación de piensos, productos farmacéuticos y otros usos industriales.

Colaboración y desarrollo de cadenas de valor: Mayor participación en la cadena de valor, incluyendo pesadores, procesadores, distribuidores y minoristas, para maximizar el valor económico de los productos pesqueros, mediante la creación de asociaciones estratégicas para la recomendación de adopción de prácticas de gestión de la cadena de suministro más eficiente para los recursos pesqueros.

Gobernanza y colaboración internacional: Crear lazos de colaboración nacional e internacional en temas prioritarios como la pesca ilegal o no reportada. Así mismo, con el esclarecimiento de especies reguladas como en peligro de extinción y que carecen de información para mantenerse en ese estatus.

Literatura citada

- Aragón-Noriega, E. A., Alcántara-Razo, E., Cruz-Vásquez, R., Castillo-Vargasmachuca, S. G., Rodríguez-Domínguez, G., Ponce-Palafox, J. T., & López-Sánchez, J. A. (2019). Growth Variations in the Geoduck *Panopea globosa* in Different Climatological Regions of Northwestern Mexico. *Journal Of Shellfish Research*, 38(2), 279. <https://doi.org/10.2983/035.038.0208>
- Aurioles-Gamboa, D., & Balart, E. F. (Eds.). (1995). *La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México, 233 pp.
- Ayala Borboa, G. (2014). Efecto de la inclusión de harina de langostilla (*Pleuroncodes planipes*) en el alimento la expresión y actividad enzimática digestiva en el intestino del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Tesis. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/430>
- Balart, E. F. (1996). Recurso merluza. Pp. 263-271. En M. Casas-Valdez & G. Ponce-Díaz (Eds.), *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. SEMARNAP/Gobierno del Estado de B.C.S./FAO/INP/UABCS/CIBNOR/CICIMAR/CET-Mar., La Paz, B.C.S., México.
- Bautista-Romero, J. J., Funes-Rodríguez, R., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., & Lluch-Cota, D. B. (2018). Preferential distribution of fish larvae in the California Current system: time, space, and temperature. *Fisheries Oceanography*, 27, 259-273.
- Burrola Sánchez, M. S., López Martínez, J., Padilla Arredondo, G., Urias Laborín, D., & Padilla Serrato, P. (2009). Influencia de los procesos costeros sobre la distribución de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* (Agassiz, 1860) en el Golfo de California. Pp. 156-177. En J. López-Martínez (Ed.), *La Variabilidad Ambiental y las Pesquerías de México*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. 200 pp.
- Carvalho-Saucedo, L., López-Martínez, J., & García-Domínguez, F. (2011). Biología reproductiva de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* (Agassiz 1862) en la laguna Las Guásimas, Sonora, México. *Hidrobiológica*, 21(1), 77-88.
- Casas-Valdez, M., & Ponce-Díaz, G. (Eds.). (1996). *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. SEMARNAP/Gobierno del Estado de B.C.S./FAO/INP/UABCS/CIBNOR/CICIMAR/CET-Mar., La Paz, B.C.S., México.

- CONAPESCA. (2021). *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca*. <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx>
- Cooney, D. B. S., Fernández-Ríos, A., Mellett, S., Rowan, N., Morse, A. P., Hayes, M., Laso, J., Regueiro, L., Wan, A. H. L., & Clifford, E. (2023). A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive production and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126283>
- De Anda-Montañez, J. A., Martínez-Aguilar, S., Balart, E. F., Zenteno-Savín, T., Méndez-Rodríguez, L., Amador-Silva, E., & Figueroa-Rodríguez, M. (2015). Spatio-temporal distribution and abundance patterns of red crab *Pleuroncodes planipes* related to ocean temperature from the Pacific coast of the Baja California Peninsula. *Fisheries Science*, 82(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12562-015-0938-8>
- DOF. (2020). Comisión nacional de pesca y acuacultura 2020-2024. *Programa especial derivado del plan nacional de desarrollo 2019-2024*. 30/12/2020. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020
- EDF. (2019). El cambio climático amenaza pesquerías cruciales para la alimentación y el bienestar social de millones de mexicanos. Disponible en: <https://mexico.edf.org/prensa/el-cambio-climatico-amenaza-pesquerias-cruciales-para-la-alimentacion-y-el-bienestar-social>
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Farach-Espinoza, E. B., López-Martínez, J., García-Morales, R., Nevárez-Martínez, M. O., Lluch-Cota, D. B., & Ortega-García, S. (2021). Temporal Variability of Oceanic Mesoscale Events in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 13(9), 1774. <https://doi.org/10.3390/rs13091774>
- Goicochea-Vigo, C., Morales-Bojórquez, E., Zepeda-Benítez, V. Y., Hidalgo-De-La-Toba, J. Á., Aguirre-Villaseñor, H., Mostacero-Koc, J., & Atoche-Suclupe, D. (2019). Age and growth estimates of the jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off Peru. *Aquatic Living Resources*, 32, 7. <https://doi.org/10.1051/alr/2019007>
- Hernández-Muñoz, A. T., Rodríguez-Jaramillo, C., Mejía-Rebollo, A., & Salinas-Zavala, C. A. (2016). Reproductive strategy in jumbo squid *Dosidicus gigas* (D'Orbigny, 1835): A new perspective. *Fisheries Research*, 173, 145-150.
- Hernández-Aguilar, S. B., Zenteno-Savín, T., De Anda-Montañez, J. A., & Méndez-Rodríguez, L. C. (2017). Temporal variation in oxidative stress indicators in

- liver of totoaba (*Totoaba macdonaldi*) Perciformes: Scianidae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-12. doi: 10.1017/S0025315416001909.
- Hernández-Tlapale, C., De Anda-Montañez, J. A., Trasviña-Castro, A., Valenzuela-Quinonez, F., Ketchum, J. T., & Muhlia-Melo, A. (2020). First record of vertical movements of the totoaba (*Totoaba macdonaldi*) as evidenced by pop-up satellite tags in the Upper Gulf of California. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1–9. <https://doi.org/10.1017/S0025315419001188>
- Hidalgo de la Toba, J. A., González Peláez, S. S., & Lluch-Cota, D. B. (2023). Recruitment patterns in Mexican geoduck (*Panopea spp.*) populations: Reconstruction from age structure and mortality parameters. *Fisheries Research*, 257, 106512
- Hidalgo-de-la-Toba, J. A., Vadopalas, B., Lluch-Cota, D. B., Morales-Bojórquez, E., Bautista-Romero, J. J., & González-Peláez, S. S. (2021). Individual growth profiling improves growth modelling in the geoduck clam *Panopea generosa*. *ICES Journal of Marine Science*, 78(1), 112–124. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa197>
- INEGI. (2023). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto (PIB)*.
- Larios-Castro, E., Morales-Bojórquez, E., González Peláez, S. S., & Díaz-Uribe, J. G. (2023). An enhancement in the management practices of geoduck clam *Panopea globosa*: The estimation of reference points in the short and long term. *Ocean and Coastal Management*, 243, 106755. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106755>
- López Martínez, J., Porchas-Quijada, M., Álvarez-Tello, F. J., & Porchas-Cornejo, M. A. (2018). Association of the whale shark *Rhincodon typus* with the cannonball jellyfish *Stomolophus meleagris*. *Journal of Fish Biology*, 93(2), 401-404. <https://doi.org/10.1111/jfb.13664>
- López Martínez, J., Álvarez Tello, J., Arzola Sotelo, E. A., Herrera Valdivia, E., Morales Azpeitia, R., Herrera Cervantes, H., Nevárez Martínez, M. O., Padilla Serrato, J. G., García Morales, R., & Valdez Holguín, J. E. (2017). El cambio climático y la población de medusa *Stomolophus meleagris* en el Golfo de California. En Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Ed.), *Memorias del Primer Encuentro Científico y Técnico Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT* (pp. 105-111). México: Serie Avances de Investigación. 01/06/2017.

- López Martínez, J., Ocampo-Victoria, L., Rodríguez, J., & Hernández Saavedra, N. Y. (2006). Medusa bola de cañón: un recurso con potencial pesquero. *Biosis*, 1(2), 3-6.
- López Martínez, J., & Álvarez Tello, J. (2008). Medusa bola de cañón: recurso de exportación. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 34(226), 8-15.
- López-Martínez, J., López-Herrera, L., Valdez-Holguín, J. E., & Rábago-Quiroz, C. H. (2014). Population dynamics of the swimming crabs *Callinectes* (family: Portunidae) components of shrimp bycatch in the eastern coast of the Gulf of California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*.
- López Martínez, J., Farach Espinoza, E. B., Herrera Cervantes, H., & García Morales, R. (2023). Long-Term Variability in Sea Surface Temperature and Chlorophyll a Concentration in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 15, 4088. <https://doi.org/10.3390/rs15164088>
- Lluch-Cota, S. E., Sicard, M. T., Calderón-Liévanos, S., & Velasco-Echavarría, H. (2023). Empirical evidence of temperature variability as a concurrent limiting factor for abalone distribution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 282, 108252. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108252>
- Lluch Cota, D. B., Hernández Vázquez, S., Balart Paéz, E. F., Beltrán Morales, L. F., del Monte Luna, P., González Becerril, A., Lluch Cota, S. E., Navarrete del Proó, A. F., Ponce Díaz, G., Salinas Zavala, C. A., López Martínez, J., & Ortega García, S. (2006). *Desarrollo sustentable de la pesca en México: Orientaciones estratégicas*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C./Comisión Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca del Senado de la República. 436 pp.
- Luquin-Covarrubias, M., & Morales-Bojórquez, E. (2021). Effects of stochastic growth on population dynamics and management quantities estimated from an integrated catch-at-length assessment model: *Panopea globosa* as case study. *Ecological Modelling*, 440, 109384.
- Martínez-Canto, O., Olguín-Monroy, N. O., de Anda-Montañez, J. A., & Zenteno-Savín, T. (2013). Spatial and temporal variability of oxidative stress indicators in the red crab (*Pleuroncodes planipes*) from the west coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Ciencias Marinas*, 39, 41–53.
- Mendívil-Mendoza, J. E., Aragón-Noriega, E. A., Arreola-Lizárraga, J. A., Rodríguez-Domínguez, G., Castillo-Vargasmachuca, S. G., & Ortega-Lizárraga, G. G. (2018). Indicadores de sustentabilidad para la pesquería de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 53(1).

- Morales Azpeitia, R., López Martínez, J., Nevárez Martínez, M., & Herrera Valdivia, E. (2013). Population dynamics of *Pseudupeneus grandisquamis* and *Urobatis halleri* species in shrimp trawl bycatch in the Gulf of California. *Hidrobiológica*.
- Moreno-Dávila, B., Huato-Soberanis, L., Gómez-Gutiérrez, J., Galván-Tirado, C., Sánchez, C., Alcoverro, T., Balart, E. F., & Turon, X. (2023). Taxonomic identity of *Distaplia stylifera* (Tunicata, Ascidiacea), a new arrival to the eastern Pacific displaying invasive behavior in the Gulf of California, Mexico. *Zookeys*, 1157, 109-125. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1157.95986>
- Pérez-Estrada, C. J., Rodríguez-Estrella, R., Palacios-Salgado, D. S., et al. (2013). Initial spread of the invasive green alga *Caulerpa verticillata* over coral reef communities in the Gulf of California. *Coral Reefs*, 32, 865. <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1045-x>
- Pérez-Palafox, X. A., Morales-Bojórquez, E., Rodríguez-Jaramillo, M. C., Díaz-Uribe, J. G., Hernández-Herrera, A., Rodríguez-García, O. U., & Arizmendi-Rodríguez, D. I. (2019). Evidence of iteroparity in Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 38(1), 149-162.
- Piñón-Gimate, A., Serviere Zaragoza, E., Chávez-Sánchez, T., & Casas-Valdez, M. (2022). Macroalgae blooms, composition, abundance, and their relationship with environmental variables at a subtropical bay of the Gulf of California. *Hidrobiológica*, 32(3).
- Rábago-Quiroz, C. H., López-Martínez, J., Valdez-Holguín, J. E., Nevárez-Martínez, M. O., & Acevedo-Cervantes, A. (2012). Fish assemblages in the bycatch of bottom shrimp trawls in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biology Research*, 8(9), 865-876.
- Ramos, J. E., Ramos-Rodríguez, A., Bazzino-Ferreri, G., Kurczyn, J., Alejandro, D., Rivas, R., & Salinas-Zavala, C. (2017). Characterization of the northernmost spawning habitat of *Dosidicus gigas* with implications for its northwards range extension. *Marine Ecology Progress Series*, 572, 179-192.
- Rodríguez-Jaramillo, C., López-Martínez, J., Herrera-Valdivia, E., & Rábago-Quiroz, C. (2021). Reproduction in the spider crab *Maiopsis panamensis* (Decapoda: Majoidea) in the Gulf of California. *Invertebrate Biology*, 140(3), e12342.
- Sánchez Osuno, R. (2023). Abundancia de microplásticos en el mejillón (*Mytella strigata*) y la almeja chocolata (*Megapitaria squalida*) en la Bahía de la Paz, B.C.S., México. Tesis de maestría. Recuperado de <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3167>

- Suárez-Moo, P., Calderón-Aguilera, L. E., Reyes-Bonilla, H., et al. (2013). Integrating genetic, phenotypic and ecological analyses to assess the variation and clarify the distribution of the Cortes geoduck (*Panopea globosa*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(3), 809-816. <https://doi.org/10.1017/S0025315412001464>
- Rodríguez Domínguez, G., Castillo-Vargasmachuca, S. G., Pérez-González, R., & Aragón-Noriega, E. (2014). Catch – Maximum sustainable yield method applied to the crab fishery (*Callinectes* spp.) in the Gulf of California. *Journal of Shellfish Research*, 33(1), 45-51.
- Rodríguez Galicia, B. (2017). *La pesca mesoamericana: las artes de la actividad pesquera del pasado prehispánico y el presente*. ISBN: 978-607-02-9032-9.
- Urcádiz-Cázares, F. J., González-Peláez, S. S., Guerrero-Piñera, O., Peterson, M. S., López-García, J., & Cruz-Escalona, V. H. (2023). Environmental and geographic low suitability overlapping of geoduck clams in the Pacific Northeast predicted by Ecological Niche Modeling. *Regional Studies in Marine Science*, 69, 103333. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103333>
- Valenzuela-Quíñonez, F., De-Anda-Montañez, J. A., Gilbert-Horvath, E., Garza, J. C., & García-De León, F. J. (2016). Panmixia in a critically endangered fish: the totoaba (*Totoaba macdonaldi*) in the Gulf of California. *Journal of Heredity*, 107(6), 496-503. <https://doi.org/10.1093/jhered/esw046>
- Zamora-Sarabia, K. G., Arreguín-Sánchez, F., De Anda-Montañez, J. A., & Jacob-Cervantes, M. L. (2022). Effect of sea surface temperature on the growth performance of the thread herring (*Opisthonema libertate*) in the southern Gulf of California. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(1), 31-38. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue1-fulltext-2746>

Para citar esta obra:

Rivera-Pérez, C. 2025. Aportaciones históricas del Programa de Ecología Pesquera como vínculo vital para el bienestar social. En: Ortega-Rubio (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 77-96). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

SECCIÓN III

UNIDADES FORÁNEAS

CAPÍTULO 6

LA UNIDAD FORÁNEA GUERRERO NEGRO DEL CIBNOR: HISTORIA, HUMANISMO Y VINCULACIÓN

Raúl López Aguilar *, Rogelio Ramírez Serrano †, Rigoberto López Amador,
Andrés Orduño Cruz y Marco Antonio Ramírez Mosqueda

daguiar04@cibnor.mx

Resumen

La Unidad Foránea Guerrero Negro (UGN), del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), fue constituida oficialmente el 1 julio de 1997. Sin embargo, la investigación agrícola en el sitio que hoy constituye la UGN fue iniciada en 1990 por un convenio de colaboración entre los gobiernos de Japón y México para desarrollar agricultura sustentable en zonas áridas. La UGN se caracteriza por tener un fuerte compromiso de socialización del conocimiento, y día con día reafirma sus roles ante la sociedad, principalmente en comunidades rurales, grupos vulnerables y sector educativo. Sus más de 35 intervenciones de vinculación, transferencias tecnológicas, asesorías y capacitaciones han impulsado el desarrollo regional cuidando siempre el correcto funcionamiento de los ecosistemas áridos y semiáridos, principalmente por el uso del agua. El cambio de riego por surco o melgas a sistemas de riego por goteo para la producción de forrajes promovido por la UGN ha fomentado una ganadería con mayor sustentabilidad en las zonas áridas de la península de Baja California. En comunidades, como las de San Francisco de la Sierra, denominada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, se ha transferido tecnología para producir hortalizas, que al vincularse con el turismo como una estrategia eco-innovadora es de mucha importancia para las familias de estas comunidades. La utilización de huertos

escolares didácticos por estudiantes de nivel primaria hasta nivel universitario son un recurso muy útil para sensibilizarlos en temas ambientales y de salud; principalmente en el uso eficiente del agua y suelo para la producción de vegetales y la importancia de una alimentación sana. El sentido humanitario de la UGN para solidarizarse con los grupos vulnerables se puso de manifiesto de forma inmediata durante la fuerte crisis social impuesta por COVID-19. La UGN respaldó a los sectores más vulnerables de la zona compartiéndoles su conocimiento para establecer huertos de traspatio que no solamente aseguraron su alimentación, sino que también crearon un espacio de convivencia familiar que mitigó la afectación de su salud física y mental por el aislamiento impuesto para contener la propagación del virus SARS-CoV-2. La UGN continuará en la misma línea del desarrollo sostenible e insertando practicas innovadoras, como la biotecnología, para impulsar el desarrollo económico, biocultural y conservación de recursos fitogenéticos de la región.

Palabras clave: Desarrollo comunitario, humanismo, educación ambiental, biotecnología, vinculación.

Abstract

The Guerrero Negro Foreign Unit (UGN) of *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste*, S.C. (CIBNOR, in Spanish) was officially established on 1 July 1997. However, agricultural research at the UGN started in 1990 through a collaboration agreement between the Japan and Mexico governments to develop sustainable agriculture in arid zones. The UGN is firmly committed to the socialization of knowledge, and each day it reaffirms its roles in society, mainly in rural communities, vulnerable groups, and the education sector. Its more than 35 bridging interventions, technology transfers, advice and training have fostered regional development, always safeguarding the proper functioning of arid and semi-arid ecosystems, mainly in relation to the use of water. The shift from furrow irrigation to drip irrigation systems for forage production promoted by the UGN has promoted more sustainable

livestock farming in the arid zones of the Baja California peninsula. In communities like San Francisco de la Sierra, a UNESCO World Heritage Site, technology has been transferred to produce vegetables, and its relationship with tourism as an eco-innovative strategy, is of great importance for the families of these communities. The use of educational school gardens by students from primary to college level is a very useful resource to sensitize them on environmental and health issues, mainly as regards the efficient use of water and soil for vegetable production and the importance of a healthy diet. The humanitarian orientation of the UGN to show solidarity with vulnerable groups was immediately evident during the strong social crisis imposed by COVID-19. The UGN supported the most vulnerable sectors in the area by sharing its knowledge to establish backyard gardens that not only ensured a food supply but also created a space for family coexistence that mitigated the impact on their physical and mental health due to the isolation imposed to contain the spread of the SARS-CoV-2 virus. The UGN will continue operating along the same line of sustainable development and implementing innovative practices, such as biotechnology, to promote economic and biocultural development and conservation of plant genetic resources in the region.

Keywords: Community development, humanism, environmental education, biotechnology, bridging initiatives.

Historia

La Unidad Foránea Guerrero Negro (UGN), localizada en el municipio de Mulegé, Baja California Sur (B.C.S.), fue constituida oficialmente el 1 julio de 1997 (CIBNOR anuario, 1998) como una extensión de la División de Biología Terrestre del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C (CIBNOR). Sin embargo, este nacimiento se originó por la transferencia que realizó el Fideicomiso de Fomento Minero, sectorizada en ese entonces, en la Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal al CIBNOR del Proyecto de Desarrollo Agrícola en Poblaciones Mineras

UNIDAD GUERRERO NEGRO

en Zonas Áridas que se llevó a cabo de 1990 a 1997 en la población de Guerrero Negro como resultado del acuerdo sobre cooperación técnica celebrado entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el Gobierno del Japón, firmado en la ciudad de Tokio, Japón, el 2 de diciembre de 1986. En este proyecto, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) se comprometió a proporcionar el equipo, materiales, capacitación de la contraparte mexicana y otros insumos que fueran necesarios para su desarrollo, mientras que el Gobierno de México se comprometió a proporcionar terrenos, edificios y los servicios auxiliares que se requirieran para el mismo.

Aunque este Proyecto de Desarrollo Agrícola se llevó a cabo de 1990 a 1997, los primeros estudios relacionados con la agricultura en zonas áridas en el área de Guerrero Negro, B.C.S., fueron iniciados por la Universidad de Tottori, Japón en 1982 y se condujeron en colaboración con la empresa Exportadora de Sal, S.A. Desde este tiempo, se inculcó en los técnicos mexicanos la importancia de la educación comunitaria y se convirtió en parte de su enseñanza la responsabilidad de atender a grupos de estudiantes y personas de la población de Guerrero Negro a quienes se les ofrecían visitas guiadas por el área experimental en las cuales se abordaban temas muy promovidos en la actualidad como, el cuidado del agua, el valor del medioambiente y la sana alimentación.

En el periodo de 1990 a 1997, las líneas de capacitación para la contraparte mexicana fueron: 1) ciencias de los cultivos, 2) riego, 3) agroecología, 4) ciencias del suelo, y 5) fruticultura.

La transferencia de conocimiento a la contraparte mexicana se realizó tanto en Guerrero Negro como en universidades y centros de investigación de Japón. La metodología de transferencia fue muy simple y consistió en una estrategia de enseñanza-aprendizaje hombro con hombro que se llevó a cabo entre los profesores expertos japoneses y los técnicos mexicanos, la cual sentó las bases de

lo que actualmente se considera la identidad de la Unidad Guerrero Negro del CIBNOR.

Identidad

La Unidad Guerrero Negro se ha caracterizado por sus actividades de vinculación con los sectores productivos. Desde su formación, la UGN se ha enfocado en desarrollar proyectos, asesorías, componentes de desarrollo comunitario y servicios técnicos especializados con un fuerte compromiso de socialización y extensión del conocimiento técnico-científico surgido de sus investigaciones académicas. Como ya fue mencionado por Polanyi (1968) desde muchos años atrás, la ciencia debe servir a la sociedad y por lo tanto tiene una función social y una utilidad evidente para sus integrantes.

Es por esto, que la UGN busca reafirmar día con día sus roles ante la sociedad, principalmente en comunidades rurales, grupos vulnerables y sector educativo. En las comunidades rurales su intervención se enfoca en la transferencia de tecnología agrícola para mejorar los sistemas de producción que están usando y/o establecer uno nuevo de acuerdo con las características del ecosistema en el que se encuentra la comunidad. La atención de la UGN a grupos vulnerables por su situación de pobreza o aislamiento geográfico natural que coloca en riesgo su seguridad alimentaria se centra en la transferencia de tecnologías de bajo costo para que obtengan frutas y verduras que mejoren su dieta alimenticia. La vinculación con el sector educativo no solamente se enfoca en el desarrollo de tesis, servicio social o prácticas profesionales, sino que se tiene una interacción directa con las escuelas de todos los niveles escolares para impartirles a los estudiantes temas de educación ambiental y establecer huertos escolares didácticos que fortalecen el aprendizaje obtenido en las aulas y fomenten una alimentación sana.

En sí, cualquiera de estas intervenciones es una acción socioeducativa que la UGN efectúa de manera profesional, humana y respetuosa para que se sumen a los saberes ancestrales de las comunidades y a los planes de estudios en los distintos niveles educativos de México.

Impacto de la UGN en el desarrollo regional

La UGN ha colaborado en el desarrollo regional con más de 35 intervenciones mediante proyectos de vinculación, transferencias tecnológicas, asesorías y capacitaciones. Sin embargo, el principal reto que ha enfrentado es conciliar la actividad económica con el funcionamiento de los ecosistemas áridos y semiáridos, principalmente por el uso del agua (Martínez-Valderrama et al., 2023).

Enseguida se describen brevemente algunos resultados obtenidos desde el surgimiento de la UGN:

Ganadería sustentable regional

Mediante el establecimiento de parcelas demostrativas y capacitaciones directas en campo acerca del uso del riego por goteo y fertigación en más de 30 sitios a la fecha, los productores de ganado de la porción central de la península de Baja California aprendieron que el uso del riego rodado en melgas o surcos no es la técnica adecuada para producir forrajes en las zonas áridas y semiáridas del noroeste de México. Actualmente al adoptar las técnicas transferidas, se han multiplicado los rendimientos forrajeros y, se ha elevado el uso eficiente de los recursos naturales, principalmente agua y suelo (López-Aguilar et al., 2009, López-Aguilar et al., 2013) (Figura 10, A-B).



Figura 10. Cultivo de forrajes utilizando riego por goteo en un rancho ganadero del Valle de Vizcaino, B.C.S. (A) y cultivo de gramíneas forrajeras con riego por goteo en un rancho de la sierra de Mulegé, B.C.S. (B).

Desarrollo comunitario

La UGN ha colaborado en el desarrollo comunitario de la región con más de 30 intervenciones. En varias comunidades, como es el caso de San Francisco de la Sierra, municipio de Mulegé, B.C.S., que, por sus características y el aislamiento geográfico natural de esta zona, se combinan las tres formas de intervenciones básicas que está usando comúnmente la UGN: a) transferencia de tecnología, b) atención a grupos vulnerables, y c) educación ambiental a grupos escolares (Figura 11, A-C).



Figura 11. Transferencia de tecnología para la producción de hortalizas bajo condiciones protegidas y semi-hidroponía en la comunidad de San Francisco, sierra de San Francisco, B.C.S. (A). Atención de grupo vulnerable en el rancho Palo Rayo, sierra de San Francisco, B.C.S.(B) y educación ambiental de alumnos de la Telesecundaria de la sierra de San Francisco B.C.S. (C).

En la zona de San Francisco de la Sierra se tiene una articulación económica-cultural propia de los rancheros californios que es sostenida por la unidad productiva denominada como rancho y sus conexiones a través de caminos, brechas, terracerías, planicies, barrancos y mesas donde se localizan las áreas de pastoreo de ganadería extensiva, sitios e infraestructura turística, sitios arqueológicos, fuentes de agua naturales y represas (Rodríguez-Ventura & López-López, 2023). En concordancia con estas condiciones, la UGN está transfiriendo tecnología para producir hortalizas, que al vincularse con el turismo como una estrategia eco-innovadora se considera de mucha importancia para las familias de estas comunidades (Liu et al., 2017). Además, el acceso a verduras frescas está mejorando notablemente su dieta alimenticia y economía familiar.

La utilización de los huertos de hortalizas por los estudiantes de la primaria y telesecundaria del poblado de San Francisco como huertos didácticos son un recurso de enseñanza muy útil para sensibilizarlos en temas ambientales y de salud: principalmente, en el manejo adecuado del agua y suelo en la producción de vegetales, valorización del entorno, la importancia de una alimentación sana, uso de técnicas agronómicas respetuosas con el medioambiente y algunos aspectos socioemocionales que indirectamente fortalecen la educación ambiental, trabajo en equipo, convivencia, compromiso, empatía, conciencia social, entre otros.

Educación ambiental

Con base en la declaración aprobada por la UNESCO (1977) en la que se estipula que la educación ambiental debe impartirse a personas de todas las edades y niveles educacionales, en los marcos de la educación formal e informal, con carácter permanente, acorde con los cambios que se producen en un mundo cambiante, la UGN ha utilizado esta práctica en la porción central de la península de Baja California, por más de dos décadas, a través de los proyectos y líneas de investigación que se conducen en el CIBNOR. De esta manera se llevan a cabo

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

acciones permanentes para concientizar a niños y jóvenes, incluyendo a los participantes del Programa Jóvenes Construyendo el Futuro, impulsado por el gobierno federal, sobre los daños que causan las técnicas agropecuarias que impactan negativamente en el ambiente, asimismo, a la par que se buscan soluciones a los problemas que enfrenta el sector agropecuario en zonas áridas, se promueven continuamente talleres, visitas guiadas y pláticas enfocadas a la formación de una cultura sustentable en la población del área de influencia de la UGN, para encontrar soluciones ambientalmente amigables a los problemas actuales y trabajar en conjunto para prevenir lo que pudieran aparecer en el futuro (Figura 12, A-D).



Figura 12. Acciones de educación ambiental en el Centro de Atención de Desarrollo Infantil de Guerrero Negro (A). Producción de forrajes bajo condiciones adversas con estudiantes de la Telesecundaria de la comunidad de San Francisco, sierra de San Francisco (B). Enseñanza del manejo de sistemas de cultivo con uso eficiente del agua y fertilizantes en la escuela Telesecundaria No. 24 del ejido Benito Juárez, B.C.S. (C). Capacitación en la producción de plántulas de mezquite para reforestación a aprendices del Programa Jóvenes Construyendo el Futuro (D).

Humanismo

La pandemia por COVID-19 nos enseñó que las sociedades que se adaptaron más eficientemente a la crisis no fueron las de mayor tecnología o nivel educativo, sino aquellas que tuvieron instituciones empáticas y humanitarias, que les tendieron la mano a los grupos más vulnerables (Rodríguez-Quezada et al., 2021). En alianza con la UNESCO (Proyecto UNESCO, 2020), en medio de la fuerte crisis social impuesta por COVID-19, la UGN como institución especializada en la transferencia de tecnología para producir alimentos se solidarizó con los sectores más vulnerables de la zona de Guerrero Negro, compartiéndoles su conocimiento y acompañándolos con capacitación en el establecimiento de huertos de traspatio de bajo costo y uso eficiente del agua como una respuesta humanitaria y social para mitigar el daño por COVID-19.

La tecnología que la UGN transfirió de manera emergente para enfrentar la crisis alimentaria fue la de cultivar frutas, verduras y hierbas aromáticas en sistemas semihidropónicos con camas de arena de arroyo en los traspatios de las casas de este grupo económicamente vulnerable que nunca se había beneficiado del conocimiento surgido de universidades y centros de investigación. La producción continua de diversas verduras, frutas, hierbas aromáticas y medicinales, no solamente les permitió mejorar su alimentación y tener a su alcance plantas para la medicina tradicional, sino que también los huertos de traspatio crearon un espacio de convivencia familiar que sirvió para mitigar la afectación de su salud física y mental debida al asilamiento impuesto para contener la propagación del virus SARS-CoV-2 (FAO, 2020) (Figura 13 A-E).



Figura 13. Actividades del proyecto UNESCO “Capacitación técnico-ambiental de familias con carencia alimentaria agravada por la pandemia de COVID-19 en la operación de módulos hidropónicos de bajo costo para producción de frutas y verduras en La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno”. Capacitación en aula sobre la producción de vegetales (A). Producción de frutas y verduras en huertos de traspatio con sistema de uso eficiente de agua y fertilizantes (B, C, D, E).

Conclusiones

En este Capítulo se plasma el fuerte compromiso de la UGN en la orientación de la investigación al servicio de la sociedad para que sea de un beneficio evidente para sus integrantes. Los procesos vinculatorios que combinan la teoría y la práctica, empleados por la UGN, convierten a las personas apoyadas en actores esenciales para impulsar el desarrollo de las comunidades. La transferencia de tecnología no

solamente trasciende de los perímetros de la UGN como un conjunto de métodos y tecnicismos para establecer o mejorar un sistema de producción, sino que prioriza la motivación para que las comunidades desarrollen sus propias habilidades para investigar, innovar o adaptar los cambios que se realizan o surgen en su entorno.

Es evidente la importancia que para la UGN significa la educación ambiental en la región. Por lo tanto, el conocimiento que se transfiere en las escuelas de los diferentes niveles educativos es afín con las particularidades de los ecosistemas áridos, en los que además de las actividades agropecuarias se llevan a cabo otras labores como el turismo y la minería, y que deben ser consideradas como un todo para lograr el sostenimiento de estos ecosistemas tan frágiles, principalmente por la escasez de agua que los caracteriza.

Los huertos escolares didácticos que se establecen como escenarios nuevos de aprendizaje, ofrecen la oportunidad a los estudiantes de realizar nuevas actividades que enriquecen el conocimiento adquirido en aulas, mejora las relaciones personales, reduce el estrés, motiva el ejercicio y genera bienestar y libertad. Todo este contexto forma en los estudiantes desde temprana edad un enfoque integral para enfrentar dificultades y aplicar correctamente su conocimiento del entorno comunitario para que sus intervenciones contribuyan a elevar la calidad de vida de los pobladores de la región.

El sentido humanístico de la UGN

La aplicación de un importante sentido humanístico a la atención de grupos vulnerables por parte de la UGN se basa en la plena conciencia de que es un centro público que debe tener incidencia en todos los integrantes de la sociedad. El reconocimiento de la solidaridad como un derecho de los grupos vulnerables fue resaltado en todo su sentido humanístico por la UGN durante la crisis social ocasionada por COVID-19. La respuesta inmediata para respaldar a las personas afectadas, principalmente a aquellos grupos empobrecidos que nunca se habían beneficiado del conocimiento surgido de universidades y centros de investigación.

La comprensión de que muchas personas se encontraban en desventajas ante la crisis social sacó a relucir el sentimiento de mutuo apoyo en los integrantes de la UGN y en medio de la pandemia por COVID-19 se solidarizó con familias muy pobres y se les transfirió tecnología para que aseguraran tener en casa frutas, verduras y plantas medicinales que les ayudara en su alimentación y para enfrentar enfermedades no graves. Esto no solo les ayudo en su economía familiar, sino que también los huertos de traspatio crearon un sitio de convivencia familiar que favoreció a la reducción del estrés, activación física, trabajo en equipo y acercamientos personales.

Los pasos por seguir en la UGN son muchos, pero todos siguen una misma dirección por su compromiso institucional; lograr desarrollo y progreso en las comunidades, garantizar el futuro de niños y jóvenes a través de su educación ambiental, generar oportunidades de inclusión, no solo para los integrantes de la sociedad actual, sino también para las futuras generaciones.

Importancia social

La Unidad Guerrero Negro del CIBNOR enfoca sus acciones científicas y tecnológicas en la plena conciencia de que es un centro público que debe tener incidencia en todos los integrantes de la sociedad con el objetivo de generar bienestar y mejores condiciones para todas y todos. En este sentido, el constante sentido humanístico para solidarizarse con grupos vulnerables, entendiendo que la atención del ser humano es parte esencial de su quehacer, y que la educación ambiental de niños y jóvenes es indispensable para la salud del planeta son contribuciones en los ámbitos social, ambiental y económico que la UGN durante años ha puesto a disposición de la sociedad.

Perspectivas

Las actividades agropecuarias en las zonas áridas implican un reto de aprovechamiento y cuidado de los recursos naturales, principalmente el agua. La UGN ha hecho frente a este uso eficiente del agua a través de tecnologías como la hidroponía y el riego por goteo para el cultivo de hortalizas y algunas otras especies vegetales. Lo anterior ha hecho que el uso del agua sea cada vez más eficiente. Los investigadores y técnicos pertenecientes a esta institución han forjado a través de los años gran experticia y contribuido al desarrollo de actividades agropecuarias sustentables. Llevando a la UGN a convertirse en un punto de convergencia entre la investigación científica y el sector productivo.

En el presente, a nivel mundial se busca la innovación agroalimentaria a través de la implementación de nuevas tecnologías, recientes herramientas y desafiantes paradigmas de la ciencia. Cabe señalar que estas innovaciones complementan los conocimientos adquiridos por la experiencia para fortalecer los alcances del saber. La UGN con miras al futuro busca fortalecer y desarrollar investigaciones de vanguardia, pertinentes que sigan la misma línea del desarrollo sostenible, insertando conocimientos innovadores y la práctica de nuevas ciencias.

En este sentido, la UGN buscaría seguir aportando conocimientos sobre la práctica de actividades agropecuarias en zonas áridas, así como implementar estrategias innovadoras con este fin. Una de ellas son los módulos hidropónicos para producir alimentos que se están adaptando y desarrollando en la UGN, principalmente los de sistema cerrado que no vierten agua y fertilizantes al medioambiente (Figura 14 A-D).

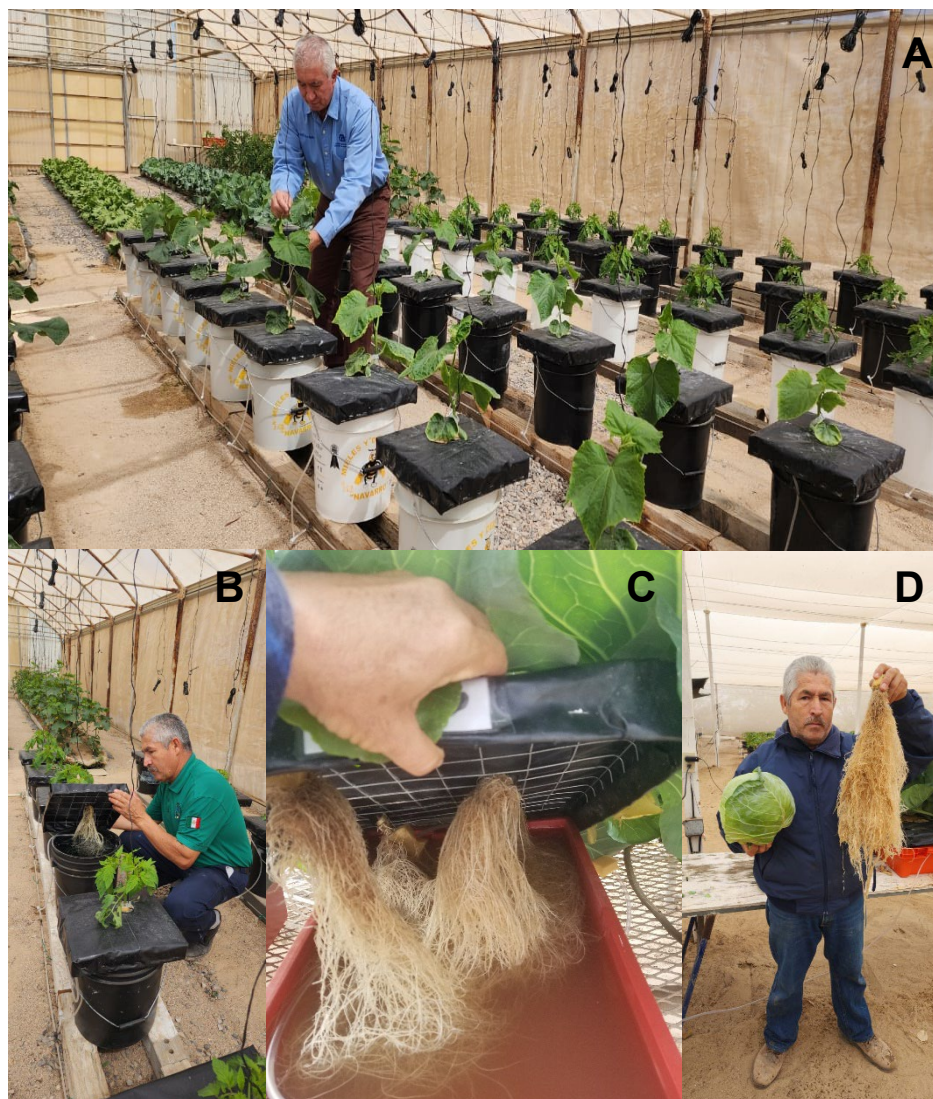


Figura 14. Sistemas hidropónicos de tipo cerrado con “cero descarga” (A) Cultivo de pepino. (B) Cultivo de tomate. (C) Raíces de repollo en sistema hidropónico. (D) Cosecha de repollo en sistema hidropónico.

Esta es una tecnología imprescindible para enfrentar a la seguridad alimentaria, principalmente en regiones con sequías graves y recurrentes como las del noroeste de México en donde la seguridad hídrica cada vez se ve más amenazada y ya se predice el “día cero”. Además, en muchos sitios con alta y muy alta marginación localizados en el noroeste de México no existe otra opción viable más que la utilización de sistemas hidropónicos cerrados para lograr la producción de frutas y

verdura en los cuales la productividad del agua debe elevarse al máximo por ser sitios con una frágil seguridad hídrica.

Otra estrategia de la UGN la constituye la biotecnología. Esta es una rama de la ciencia que permite el máximo aprovechamiento biológico de seres vivos para el beneficio humano (Hesham et al., 2021); sin embargo, debe combinarse con prácticas sustentables para poder hacer frente a los nuevos retos socioambientales (Zhao et al., 2020). Por tanto, se podrán aplicar técnicas biotecnológicas como el aumento en la propagación de especies vegetales con interés económico y biocultural, el rescate y conservación de recursos fitogenéticos de la región; así como la obtención de plantas tolerantes a condiciones de déficit hídrico, evitando el uso excesivo de agua en la agricultura y obtener plantas resistentes a diversos patógenos, evitando el uso de pesticidas dañinos para el ambiente, entre otras técnicas biotecnológicas (Figura 15 A-D).

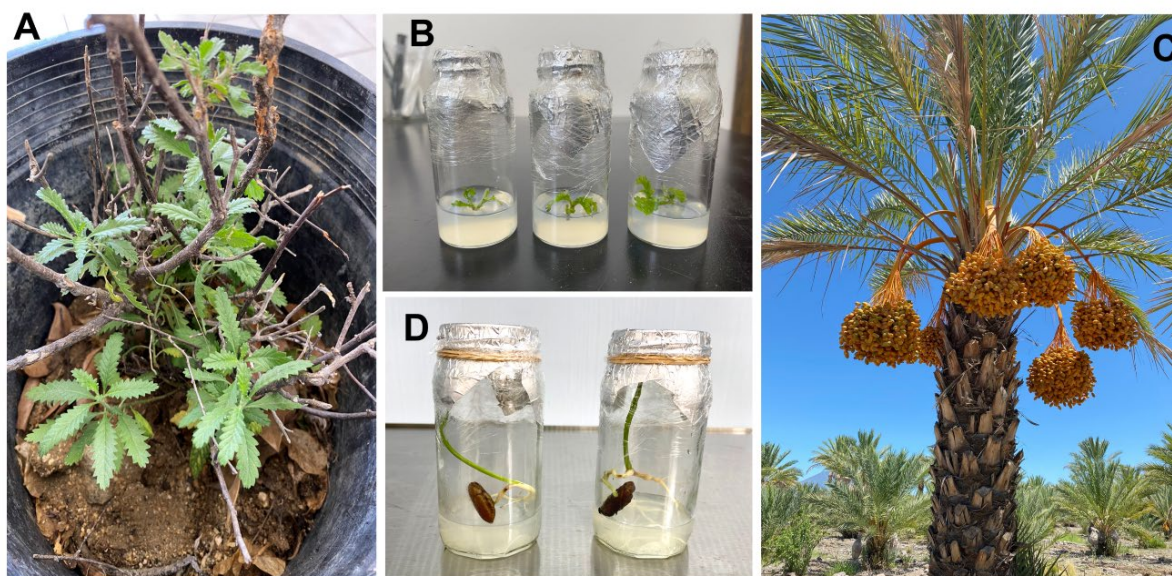


Figura 15. Aplicación de la biotecnología en la planta de Damiana (*Turnera diffusa*) y en la palma datilera (*Phoenix dactylifera*) (A) Colecta de material silvestre de Damiana. (B) Cultivo de tejidos vegetales de Damiana. (C) Material silvestre de la palma datilera. (D) Cultivo de tejidos vegetales de palma datilera.

Literatura citada

- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. (1998). Anuario 1998. La Paz, Baja California Sur: CONAHCYT, Sistema de Centros Públicos de Investigación.
- FAO. (2020). Ciudades y gobiernos locales a la vanguardia en la construcción de sistemas alimentarios inclusivos y resilientes: Principales resultados de la encuesta de la FAO “Sistemas alimentarios urbanos y COVID-19”. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb0407es>
- Hesham, AE-L., Kaur, T., Devi, R., Kour, D., Prasad, S., Yadav, N., Singh, C., Singh, J. y Yadav, A.N. (2021) Current trends in microbial biotechnology for agricultural sustainability: conclusion and future challenges. En: A.N. Yadav, J. Singh, C. Singh y N. Yadav (Eds.) Current trends in microbial biotechnology for sustainable agriculture (pp. 555-572). Springer.
- Liu, S.Y., Yen, C.Y., Tsai, K.N. y Lo, W.S. (2017). A Conceptual Framework for Agri-Food Tourism as an Eco-Innovation Strategy in Small Farms. *Sustainability*, 9, 1683.
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B. y Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121- 126.
- López-Aguilar, R., Rodríguez-Quezada, G., Lucero-Arce, A. y Naranjo-Murillo, A. (2013). Use of high salinity waters to grow *Kochia scoparia* L. Schrad. as alternative fodder in saline environments in northwestern Mexico. *Interciencia*, 38(5), 325-331.
- Martínez-Valderrama, J., Olcina, J., Delacámara, G., Guirado, E. y Maestre, F.T. (2023). Complex Policy Mixes are Needed to Cope with Agricultural Water Demands Under Climate Change. *Water Resources Management* 37, 2805-2834.
- Polanyi, K. (1968). Primitive, Archaic, and Modern Economies: Essays of Karl Polanyi, edited by Dalton, G., New York, NY, Anchor Books.
- Proyecto UNESCO. “Capacitación técnico-ambiental de familias con carencia alimentaria agravada por la pandemia de COVID-19 en la operación de módulos hidropónicos de bajo costo para producción de frutas y verduras en La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno”. 2020-2021. Responsable Técnico, Xochilth Aguilar Murillo. CIBNOR. Unidad Guerrero Negro.

- Rodríguez-Ventura, D., y López, A. (2023). Subsistema vida cotidiana: aporte metodológico al ordenamiento territorial desde la Zona Arqueológica de la Sierra de San Francisco, México. *PatryTer – Revista Latinoamericana e Caribenha de Geografia e Humanidades*, 6(12), e42828. DOI: <https://doi.org/10.26512/patryter.v6i12.42828>
- Rodríguez-Quezada, G., González-Rosales, G., Aguilar-Murillo, X., López-Amador, R., Villavicencio-Floriani, E., Real-Rosas, M., Angulo, C. y López-Aguilar, R. (2021). El cultivo semi-hidropónico en arena como técnica de producción de alimentos de traspatio para familias con carencia alimentaria agravada por COVID-19. *Recursos Naturales y Sociedad*, 7(3), 43-57. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.03.0005>.
- UNESCO. (1977). Intergovernmental Conference on Environmental Education: Final Report. Tbilisi, USSR 14-26 October 1977. Paris. UNESCO-UNEP.
- Zhao, L., Lu, L., Wang, A., Zhang, H., Huang, M., Wu, H., Xing, B., Wang, Z. y Ji, R. (2020). Nano-biotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(7), 1935-1947.

Para citar esta obra:

López Aguilar R., R. Ramírez Serrano†, R. López Amador, A. Orduño Cruz y M. A. Ramírez Mosqueda. 2025. La Unidad Foránea Guerrero Negro: historia, humanismo y vinculación. En: Ortega-Rubio (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 99-116). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 7

CONTRIBUCIÓN AL BIENESTAR COMUNITARIO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA UNIDAD HERMOSILLO

Juan Bautista Vega Peralta* y Arturo Sánchez-Paz

bvega04@cibnor.mx

Resumen

La Unidad Hermosillo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) ha tenido un papel crucial en el aprovechamiento de los recursos naturales para el beneficio comunitario a lo largo de los años. Desde su establecimiento en 1993 como entidad de instrumentación electrónica, la unidad ha evolucionado para centrarse en la investigación científica y el desarrollo tecnológico, especialmente en el ámbito de la sanidad acuícola. Inicialmente, la Unidad proporcionó apoyo técnico y científico a investigadores y comunidades, desarrollando equipos especializados y participando en proyectos de investigación. Se destacan logros como el diseño de sistemas de seguimiento solar, control de invernaderos y simuladores térmicos marinos, que han contribuido significativamente al avance de la investigación en diversas áreas.

A partir del año 2002, la Unidad cambió su enfoque hacia la sanidad acuícola, estableciendo el Laboratorio de Referencia, Análisis y Diagnóstico en Sanidad Acuícola (LARADSA) y el Laboratorio de Virología. Ambos laboratorios han jugado un papel fundamental en la detección eficiente de patógenos en organismos

acuáticos, así como en la concientización y capacitación de productores acuícolas en la región noroeste de México.

La colaboración con diversas instituciones académicas, productivas y gubernamentales ha resultado en la realización de proyectos significativos, como el Programa Integral de Sanidad Acuícola en Camarón y la Alianza Estratégica y Red de Innovación de la Industria Acuícola. Estos proyectos han contribuido al desarrollo y fortalecimiento del sector acuícola en México. Además, la Unidad ha destacado en la formación de recursos humanos, atendiendo a numerosos estudiantes en diversas modalidades educativas y facilitando su participación en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico.

Durante la pandemia de SARS-CoV-2, la Unidad ha continuado su compromiso con el bienestar comunitario, brindando apoyo en análisis y estudios de laboratorio, así como en la divulgación científica. Su participación en la detección de partículas virales en el aire y el análisis de muestras de SAR-CoV-2 ha sido crucial para mejorar las medidas de bioseguridad y apoyar al sector salud.

Palabras clave: Recursos naturales, Investigación científica, Sanidad acuícola, Colaboración institucional, Bienestar comunitario.

Abstract

The Hermosillo Unit of Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) has played a crucial role in the sustainable utilization of natural resources for community benefit. Since its establishment in 1993 as an electronic instrumentation entity, the Unit has evolved to focus on scientific research and technological development, especially in aquaculture health, sanity, and welfare. Initially, the Unit provided technical and scientific support to researchers and communities, developing specialized equipment and participating in research projects. Achievements such as the design of solar tracking systems, greenhouse controls,

and marine thermal simulators have significantly contributed to advancements in various research areas.

Early in 2002, the Unit shifted its focus to aquaculture health, establishing the Laboratorio de Referencia, Análisis y Diagnóstico en Sanidad Acuícola (LARADSA) and Laboratorio de Virología. Both laboratories have played a fundamental role in efficiently detecting pathogens in aquatic organisms, raising awareness, and providing technical training to aquaculture producers in the northwest region of Mexico. Collaboration with various academic, productive, and governmental institutions has resulted in significant projects, such as the Comprehensive Aquaculture Health Program in Shrimp and the Strategic Alliance and Innovation Network of the Aquaculture Industry. These projects have contributed to developing and strengthening the aquaculture sector in Mexico.

Additionally, the Unit has excelled in human resource development, serving numerous students in various educational modalities and facilitating their participation in research and technological development projects. During the SARS-CoV-2 pandemic, the Unit continued its commitment to community welfare by supporting laboratory analysis, studies, and scientific outreach. Its involvement in detecting viral particles in the air and analyzing SAR-CoV-2 samples has been crucial in improving biosecurity measures and supporting the health sector.

Keywords: Natural resources, Scientific research, Aquaculture health, Institutional collaboration, Community welfare.

Introducción

La Unidad Hermosillo del CIBNOR fue creada en noviembre de 1993 como una entidad de instrumentación electrónica, cuyo propósito era responder a las

necesidades específicas de proyectos de investigación en cuanto a equipo científico altamente especializado.

Desde el inicio de operaciones, hasta el año 2000 se brindó apoyo, asesoría, reparación y diseño de equipos para los diferentes investigadores del CIBNOR e instituciones dedicadas a la investigación de la región. De igual forma, se apoyó la formación de recursos humanos de distintas instituciones educativas del Estado de Sonora, tanto de servicio social como de prácticas profesionales. Por otro lado, se realizaron diseños y se coadyuvó en la selección de equipos que, a su vez, auxiliaron en la investigación que apoyaba a la población en comunidades y granjas acuícolas. Entre los equipos diseñados se encuentran un Seguidor Solar de Bajo Costo (en conjunto con Universidad de Sonora), un Sistema de Control de Invernaderos, un Sistema de Adquisición de Datos para Estación Meteorológica (EMET 2000), y un Simulador Térmico Marino (SITMA), el cual fue parte importante para desarrollar el sistema que se utiliza actualmente.

Con respecto al apoyo en investigación, el CIBNOR participó en los siguientes proyectos: 1) Modalidad particular y estudio de riesgo modalidad nivel 2 para central de ciclo combinado en Tamazunchale, San Luis Potosí; 2) Caracterización de los factores físicos, químicos y biológicos para el diagnóstico ambiental de playas de Rosarito Baja California y Puerto Peñasco, Sonora; 3) Evaluación de nivel de contaminación atmosférica de partículas PM₁₀, SO₂ y NO_x en las ciudades de Uruapan y Zitácuaro Michoacán, con financiamiento del Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Michoacán; y 4) Evaluación del nivel de contaminación atmosférica de partículas PM₁₀, SO₂, NO_x y CO en la ciudad de Hermosillo, Sonora, con financiamiento del Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Sonora. Los resultados obtenidos se utilizaron en investigación y análisis para la toma de decisiones en beneficio de la comunidad.

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

En el año 2002 el objetivo de la Unidad Hermosillo cambió para enfocarse en servicios de sanidad acuícola, considerando que el CIBNOR tiene, como uno de sus objetivos estratégicos, “contribuir a la solución de problemas del sector productivo, social y gubernamental, afines a las áreas científicas y tecnológicas del Centro”, por lo cual se creó el Laboratorio de Análisis Integrales Acuícolas (LAIA). A partir de ese momento, se implementaron técnicas de detección de patógenos de manera más eficiente y confiable en moluscos, peces y crustáceos, con un menor tiempo y costo que los que existían en ese momento.

Con la convicción de que el diagnóstico de enfermedades en organismos acuáticos no se reduce solo a la búsqueda de los patógenos, sino que debe tomar en cuenta las alteraciones en el medio ambiente y el factor humano, se inició una campaña de concientización, dirigida a productores de la región del noroeste del país, sobre la importancia del análisis y el seguimiento en sanidad acuícola. Lo anterior implicó la impartición de cursos y capacitaciones, tanto en granjas y empresas productoras como en las Universidades y Comités de Sanidad Acuícola del Noroeste de México, lo cual generó un interés en profesionales de la acuicultura y en estudiantes de diversas instituciones del país.

Con relación a la formación de recursos humanos, se han atendido a más de 30 estudiantes en las modalidades de servicio social, prácticas profesionales, estancias educativas, entrenamiento técnico, trabajos de tesis de licenciatura, maestría y doctorado, y estancias posdoctorales. Durante su estancia los estudiantes adquirieron conocimientos sobre diversas técnicas de laboratorio actualizadas e innovadoras referentes a sanidad acuícola.

Desde su origen, el LAIA estuvo vinculado con el sector acuícola a través de la atención y el respaldo técnico y científico a los Comités de Sanidad Acuícola del noroeste de México. Unas de las acciones más relevantes, y que tuvo impacto en la sociedad, apoyando de forma indirecta la creación de empleos y capacitación de personas, fue que el laboratorio formó parte de la Red Nacional de Laboratorios

dentro del proyecto, liderado por la Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA), denominado Programa Nacional de Sanidad Acuícola (PRONALSA), esta red estuvo activa hasta 2007, y derivó en la creación de la Alianza Estratégica y Red de Innovación de la Industria Acuícola (AERI), un grupo coordinado por CIBNOR, que vinculó el sector académico con el sector productivo y el gubernamental. La AERI tuvo como misión realizar investigación científica y tecnológica dirigida a proponer soluciones a las problemáticas del sector acuícola de México.

Las instituciones académicas que participaron con CIBNOR en AERI fueron: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Centro Interdisciplinario de investigación y Desarrollo Integral-Regional (CIDIR-IPN), Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), además se colaboró con instituciones como el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Por parte del sector productivo se colaboró con los Comités de Sanidad Acuícola de B.C.S. (CSABCS), Sonora (COSAES), Sinaloa (CESASIN) y Nayarit (CESANAY), así como la Asociación Nacional de productores de Larvas de Camarón A.C. (ANPLAC). Con el sector gubernamental la vinculación se dio directamente con dependencias de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). De las anteriores colaboraciones resultaron proyectos tales como: 1) Programa Integral de Sanidad Acuícola en Camarón, con fondos CONAHCYT-Consorcios de Innovación para la Competitividad; 2) Alianza Estratégica y Red de Innovación de la Industria Acuícola, con fondos CONAHCYT-Alianzas Estratégicas y Redes de Innovación; y 3) Bioseguridad y Ecoeficiencia en el Cultivo del Camarón, Fondo de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación de CONAHCYT (FORDECYT).

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

Conforme avanzaban las actividades de la AERI se impartieron cursos y capacitaciones, sobre técnicas para la detección de enfermedades, a personal de SAGARPA-SENASICA. Esta relación fue un parteaguas para consolidar varias colaboraciones. Por ejemplo, derivado de un convenio de colaboración CIBNOR-SENASICA, el H. Ayuntamiento de Hermosillo, Sonora, donó un terreno para la reubicación de las instalaciones de la Unidad Hermosillo del CIBNOR, debido a problemas estructurales de las instalaciones. La nueva edificación de la Unidad incluyó un Laboratorio de Nivel de Bioseguridad 2.

En 2011 se iniciaron las operaciones en las nuevas instalaciones, lo cual representó una nueva etapa donde el LAIA se transformó en el Laboratorio de Referencia, Análisis y Diagnóstico en Sanidad Acuícola (LARADSA), logrando convenios de colaboración con algunos de los comités de sanidad acuícola nacionales, siendo los de Sonora, Sinaloa y Nayarit los de mayor incidencia en sanidad acuícola.

Con el esfuerzo del personal se obtuvo la acreditación de la norma 17025 ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), así como la aprobación de SAGARPA-SENASICA como órgano de coadyuvancia para el diagnóstico de enfermedades virales que afectan a los crustáceos. Esto generó nuevas oportunidades tanto en el ámbito de servicios de laboratorio como el de formación de recursos humanos procedentes de distintas universidades, atendiendo hasta el 2023 a 25 estudiantes.

Derivado del apoyo que se dio a SENASICA, el 3 de agosto de 2012, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el ACUERDO POR EL QUE SE DECLARA AL TERRITORIO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, COMO ZONA LIBRE DE LA ENFERMEDAD DE MIONECROSIS INFECCIOSA EN CAMARON DE CULTIVO.

Posteriormente, se creó el Laboratorio de Virología, con fines de investigación básica y formación de recursos humanos, en el cual, se ha generado conocimiento que ha permitido desarrollar técnicas sensibles para la detección de patógenos virales que afectan especies marinas de interés comercial como el camarón, así como entender algunos procesos moleculares utilizados por dichos virus para poder replicarse en sus hospederos (Sánchez-Paz, 2010; Galván-Álvarez et al., 2012; Mendoza-Cano y Sánchez-Paz, 2013; Encinas-García et al., 2015; Encinas-García et al., 2019). A la fecha, el Laboratorio de Virología ha publicado más de 40 artículos científicos en revistas internacionales indizadas y se han atendido 28 estudiantes procedentes de distintas Universidades.

Una de las tareas sustantivas de CIBNOR es la generación de conocimiento de frontera y de recursos humanos de alto nivel, dando como resultado, artículos científicos y de divulgación, por mencionar algunos, de los que más pudiesen haber impactado al bienestar comunitario: 1) White spot syndrome virus: an overview on an emergent concern (Sánchez-Paz, 2010), 2) Development and validation of a quantitative real-time polimerase chain assay for universal detection of the white spot syndrome (Mendoza-Cano, F., & Sánchez-Paz, A. 2013), 3) Experimental evidence of metabolic disturbance in the white shrimp *Penaeus vannamei* induced by the Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis Virus (IHHNV) (Galván-Alvarez, D., Mendoza-Cano, F., Hernández-López, J., & Sánchez-Paz, A. 2012), 4) An improved validated SYBR green-based real-time quantitative PCR assay for the detection of the *Penaeus stylirostris* densovirus in penaeid shrimp (Encinas-García, T., Mendoza-Cano, F., Enríquez-Espinoza, T., Luken-Vega, L., Vichido-Chávez, R., & Sánchez-Paz, A. (2015), 5) The white spot syndrome virus hijacks the expression of the *Penaeus vannamei* Toll signaling pathway to evade host immunity and facilitate its replication (Encinas García, T., F. Mendoza Cano., M. Porchas Cornejo., A. Peña Rodríguez., T. Enríquez Espinoza., y A. Sánchez Paz 2019), 6) Probióticos en acuicultura de camarón ¿verdad o fantasía? (Hernández López, J., D. Coronado Molina., J.F. Mendoza Cano., D. Galván Álvarez., T. Encinas García., J.G. Cruz Ruiz., M.A. Quijada Vázquez., J.C. Gastelum., A. Gastelum., y C.E. Patiño 2012), 7)

Sedimentación: estrategia para disminuir la concentración de WSSV y *Vibrio* spp. en la columna de agua (Mendoza Cano, F., T. Encinas García., A. Galván Álvarez., D. Coronado Molina., R. Vazquez Sánchez., N. Sau Acosta., y J. Hernández-López 2014); así como cursos dirigidos a personal técnico de granjas acuícolas y comités de sanidad acuícola.

Durante la pandemia de SARS-CoV2 (2020-2022) ambos laboratorios de CIBNOR Unidad Hermosillo incidieron en el bienestar comunitario, brindando información y realizando análisis y estudios de laboratorio. Además, se realizó divulgación científica, destacando 3 artículos publicados en medios de difusión nacional:

“Yo, Coronavirus” (Sánchez-Paz *et al.*, 2020)

“Yo, Coronavirus. El Viaje” (Sánchez-Paz *et al.*, 2020)

“Yo, Coronavirus: ¿A dónde vamos a parar?” (Sánchez-Paz *et al.*, 2020)

También, se publicó un artículo en la revista científica *International Journal of Infectious Diseases*, que aportó nuevo conocimiento acerca de tecnología de bajo costo para muestrear y analizar componentes biológicos en aire y uso de técnicas moleculares para detección de patógenos en el aire. Con lo anterior, los logros más relevantes fueron: Detectar partículas virales de SARS-CoV-2 en aire de hospitales, se aportó información importante al sector salud que mejoró las medidas de bioseguridad en las áreas de enfermos con COVID-19, además de detectar las zonas de mayor riesgo en las áreas COVID de hospitales (Hernandez-Lopez *et al.*, 2021).

El LARADSA obtuvo autorización del Instituto de Referencia y Diagnóstico Epidemiológico (InDRE) para procesar muestras de SAR-CoV2; con esto se proporcionó apoyo a distintos centros de salud de la localidad, así como al Laboratorio Estatal del Estado de Sonora. En conjunto con instituciones educativas, como la Universidad de Sonora, el Instituto Tecnológico de Sonora, el Colegio de

UNIDAD HERMOSILLO

Sonora, el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y la Secretaría de Salud del Estado de Sonora, se formaron mesas de trabajo para mantener informado al Comité de Protección Civil del Estado de Sonora para la toma de decisiones durante la pandemia. Además, la Unidad Hermosillo contribuyó en el análisis de muestras de SAR-CoV2 para el sector privado y se colaboró en el proyecto CONACYT “Contribución técnica y científica para el fortalecimiento de la capacidad diagnostica en B.C.S., en la detección de COVID-19”.

La Unidad Hermosillo asumió su importante rol social apoyando al PROGRAMA ROSTROS FELICES con el análisis de muestras de SARS-CoV2, para que 55 niños con labio leporino pudiesen ser tratados. En el CIBNOR Unidad Hermosillo se analizaron cerca de 3,000 muestras para detección de COVID-19.

Una vez que la Organización Mundial de la Salud y el Gobierno de México declararon finalizada la pandemia, el personal de la Unidad Hermosillo realizó actividades de divulgación mediante conferencias, pláticas, mesas de trabajo, seminarios y artículos en medios de prensa. También, se continuó trabajando con diferentes instituciones educativas, invitando a grupos de estudiantes a nuestras instalaciones para conversar sobre los quehaceres cotidianos del Centro, para generar un interés en la juventud por la investigación científica.

Recientemente se organizó, en conjunto con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Acuicultura (IICA)-SENASICA-CIBNOR, un WEBINARIO de sanidad acuícola abierto para todo el público.

En CIBNOR Hermosillo atendemos las demandas provenientes de individuos, grupos sociales, empresas o gobierno, enfocándonos en la ciencia, tecnología, innovación y humanidades.

Conclusiones

La contribución de la Unidad Hermosillo del CIBNOR al bienestar comunitario ha sido significativa y multifacética a lo largo de los años. Desde sus inicios como un centro de instrumentación electrónica hasta su evolución como un laboratorio en sanidad acuícola y virología, esta unidad ha demostrado un compromiso constante con la generación de conocimiento de vanguardia y la formación de recursos humanos de alto nivel.

A través de proyectos de investigación, colaboraciones con instituciones gubernamentales, académicas y del sector productivo, así como el desarrollo de tecnologías innovadoras, la Unidad Hermosillo ha impactado positivamente en diversos aspectos. Desde la mejora de la salud ambiental mediante la evaluación y monitoreo de la contaminación atmosférica, hasta el impulso a la industria acuícola a través del desarrollo de técnicas de diagnóstico y prevención de enfermedades en organismos acuáticos, su labor ha sido fundamental para el progreso regional.

Además, durante la pandemia de SARS-CoV-2, la Unidad Hermosillo demostró su relevancia al proporcionar análisis de laboratorio y apoyo técnico, así como participar en proyectos de investigación para prevenir la propagación del virus y mejorar las medidas de bioseguridad.

A través de actividades de divulgación científica y educativa, la Unidad Hermosillo también ha buscado fomentar el interés por la investigación en la comunidad, involucrando a estudiantes y público en general en sus iniciativas.

En resumen, la Unidad Hermosillo del CIBNOR ha sido un actor clave en la promoción del bienestar comunitario a través de su compromiso con la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos, destacándose por su impacto tanto a nivel local como nacional e incluso internacional. Su continua labor en áreas de vital importancia, como la salud

ambiental y la seguridad alimentaria, garantiza su relevancia y contribución continua al desarrollo sostenible de la región y del país.

Importancia social

La Unidad Hermosillo del CIBNOR ha generado un impacto social profundo y sostenido al vincular la ciencia con las necesidades reales de la comunidad, especialmente en la región noroeste de México. Desde su origen, ha contribuido al desarrollo tecnológico, la sanidad acuícola y la salud pública, impulsando soluciones innovadoras que han fortalecido la seguridad alimentaria, la protección ambiental y la resiliencia ante crisis sanitarias como la pandemia de COVID-19. A través de colaboraciones con instituciones académicas, productivas y gubernamentales, así como la formación de recursos humanos altamente capacitados y actividades de divulgación científica, la Unidad ha promovido el bienestar comunitario, generado empleo indirecto y fortalecido capacidades locales, consolidándose como un pilar estratégico para el desarrollo sostenible regional y nacional.

Perspectivas

Desarrollo Tecnológico para la Investigación Científica: la implementación de equipos científicos altamente especializados, así como la selección de equipos para apoyar la investigación en comunidades y granjas acuícolas. Esto demuestra que el CIBNOR Hermosillo posee las capacidades y un enfoque que impulsan la innovación tecnológica para abordar problemas específicos en el campo de la investigación científica.

Impacto en la Comunidad: Mantener colaboraciones con instituciones educativas, empresas y entidades gubernamentales, lo que sugiere un impacto significativo en la comunidad local y regional. La formación de recursos humanos y la transferencia de conocimientos a través de cursos, capacitaciones y

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

colaboraciones indican un compromiso con el desarrollo de capacidades locales y la mejora de las prácticas en el sector acuícola.

Contribución a la Sanidad Acuícola: La creación de laboratorios especializados demuestran una respuesta efectiva a las necesidades del sector. El diagnóstico oportuno de enfermedades virales muestra un alto nivel de calidad y confianza en los servicios proporcionados, lo que es crucial para proteger la salud de los organismos acuáticos y garantizar tanto la sostenibilidad del sector acuícola como la seguridad alimentaria.

Salud: La Unidad Hermosillo del CIBNOR, demostró durante la pandemia de COVID-19 la capacidad de realizar de análisis y estudios de laboratorio hasta la divulgación científica y la colaboración con instituciones de salud, un compromiso con la salud pública y el bienestar de la sociedad en general.

Divulgación Científica y Educación: Además de su enfoque en la investigación y los servicios técnicos, la Unidad Hermosillo también se dedica a la divulgación científica y la educación, organizando conferencias, seminarios y actividades para fomentar el interés en la investigación científica entre los jóvenes y la comunidad en general.

El personal del CIBNOR Unidad Hermosillo está altamente capacitado y es reconocido a nivel nacional e internacional, y que se mantiene vigente al asistir a diferentes cursos de capacitación. Esto se ve reflejado en que sea reconocido en el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) y en la Academia Mexicana de Ciencias, así como en la membresía de diversas Sociedades científicas nacionales e internacionales.

El papel integral que juega la Unidad Hermosillo del CIBNOR en la investigación, el desarrollo tecnológico, la sanidad acuícola y la respuesta a emergencias de salud pública, mostrando un compromiso continuo con el avance científico y el bienestar comunitario.

Literatura citada:

Acuerdo por el que se declara al territorio de los Estados Unidos Mexicanos, como zona libre de la enfermedad mionecrosis infecciosa en el camarón de cultivo (03 de agosto de 2012). *Diario Oficial de la Federación*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5262319&fecha=03/08/2012#gsc.tab=0

Encinas-García, T., Mendoza-Cano, F., Porchas-Cornejo, M., Peña-Rodríguez, A., Enríquez-Espinoza, T. y Sánchez-Paz, A. (2019). The white spot syndrome virus hijacks the expression of the *Penaeus vannamei* Toll signaling pathway to evade host immunity and facilitate its replication. *Fish & Shellfish Immunology*, 92, 905–912. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.07.026>

Encinas-García, T., Mendoza-Cano, F., Enríquez-Espinoza, T., Luken-Vega, L., Vichido-Chávez, R. y Sánchez-Paz, A. (2015). An improved validated SYBR green-based real-time quantitative PCR assay for the detection of the *Penaeus stylirostris* densovirus in penaeid shrimp. *Journal of Virological Methods*, 212, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2014.10.014>

Galván-Álvarez, D., Mendoza-Cano, F., Hernández-López, J. y Sánchez-Paz, A. (2012). Experimental evidence of metabolic disturbance in the white shrimp *Penaeus vannamei* induced by the Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis Virus (IHHNV). *Journal of Invertebrate Pathology*, 111(1), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.06.005>

Hernández López, J., Coronado Molina, D., Mendoza Cano, J.F., Galván Álvarez, D., Encinas García, T., Cruz Ruiz, J.G., Quijada Vázquez, M.A., Gastelum, J.C., Gastelum, A. y Patiño, C.E. (2012). Probióticos en acuicultura de camarón ¿verdad ó fantasía? *Industria Acuícola*, 9(1), 28-32. https://issuu.com/industriaacuicola/docs/edicion9_1

- López, J.H., Romo, Á.S., Molina, D.C., Hernández, G.A., Cureño, A.B.G., Acosta, M.A., Gaxiola, C.A.A., Félix, M.J.S. y T.G. Galván (2021). Detection of Sars-Cov-2 in the air of two hospitals in Hermosillo, Sonora, México, utilizing a low-cost environmental monitoring system. *International Journal of Infectious Diseases*, 102, 478-482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.089>
- Mendoza Cano, F., Encinas García, T., Galván Álvarez, A., Coronado Molina, D., Vazquez Sánchez, R., Sau Acosta, N. y J. Hernández-López (2014.) Sedimentación: estrategia para disminuir la concentración de WSSV y *Vibrio* spp. en la columna de agua. *Industria Acuicola*, 10(2), 40-43. https://issuu.com/industriaacuicola/docs/edicion10_2
- Mendoza-Cano, F. y Sánchez-Paz, A. (2013). Development and validation of a quantitative real-time polymerase chain assay for universal detection of the White Spot Syndrome Virus in marine crustaceans. *Virology Journal*, 10(186), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-10-186>
- Sánchez Paz, A (2010). White spot syndrome virus: an overview on an emergent concern. *Veterinary Research*, 41(6), 43, 1-34. <https://doi.org/10.1051/vetres/2010015>
- Sánchez-Paz, J.A., Mendoza-Cano, J.F., y T. Encinas-García (10 de abril de 2020). Yo, Coronavirus. *El Sol de México*:1-7. <https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/yo-coronavirus-5083119.html>
- Sánchez-Paz, J.A., Mendoza-Cano, J.F., Encinas-García, T. y Muhlia-Almazán, A. (24 de julio de 2020). Yo, Coronavirus: ¿A dónde vamos a parar?. *El Sol de México*. <https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/yo-coronavirus-a-donde-vamos-a-parar-5534188.html>
- Sánchez-Paz, J.A., Mendoza-Cano, J.F. y Encinas-García, T. (14 de mayo de 2020). Yo, coronavirus El Viaje. *El Sol de México*:1-1. <https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/yo-coronavirus.-el-viaje-5232596.html>

Para citar esta obra:

Vega Peralta J.B., y A. Sánchez-Paz. 2025. Contribución al bienestar comunitario de la investigación científica y desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de los recursos naturales de la Unidad Hermosillo. En: Ortega-Rubio (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 117-132). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 8

UNIDAD GUAYMAS: UNA TRAYECTORIA DE QUEHACER CIENTÍFICO CON COMPROMISO SOCIAL

José Alfredo Arreola Lizárraga

aarreola04@cibnor.mx

Resumen

Esta contribución expone la trayectoria y el papel que ha tenido la Unidad Guaymas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), en realizar el quehacer científico con incidencia en bienestar social. Esta Unidad del CIBNOR se estableció en la ciudad de Guaymas, Sonora, en 1993, y con una trayectoria de más de 30 años, ha realizado investigación científica en temas de ecología pesquera, acuicultura, así como de planeación ambiental y conservación de la zona costera. Los logros cuantitativos y cualitativos de la Unidad Guaymas aportan evidencia de que se ha incidido en el bienestar de la sociedad, en formar capital humano con compromiso social y en inducir la apropiación social del conocimiento. Esta experiencia y aprendizaje fortalece la práctica de la ciencia para continuar la atención a los problemas y desafíos en el aprovechamiento sustentable y conservación de los recursos naturales costeros y marinos de la región noroeste de México.

Palabras clave: Ciencia y sociedad, ecología pesquera, acuicultura, conservación ambiental, manejo costero

Abstract

This contribution exposes the trajectory and the role that the Guaymas Unit of the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) has had in carrying out scientific work with an impact on social welfare. This CIBNOR Unit was established in the city of Guaymas, Sonora, in 1993, and with a trajectory of more than 30 years, has conducted scientific research in fisheries ecology, aquaculture, as well as environmental planning and coastal zone conservation. The quantitative and qualitative achievements of the Guaymas Unit provide evidence that it has had an impact on the welfare of society, in training human capital with social commitment and in inducing social appropriation of knowledge. This experience and learning strengthens the practice of science to continue addressing the problems and challenges in the sustainable use and conservation of coastal and marine natural resources in the northwestern region of Mexico.

Keywords: science and society, fishery ecology, aquaculture, environmental conservation, coastal management

Introducción

La ciencia es una actividad humana creativa cuyo objetivo es la comprensión de la naturaleza y cuyo producto es el conocimiento, obtenido por medio de un método científico organizado en forma deductiva y que aspira a alcanzar el mayor consenso entre los sujetos técnicamente capacitados (Pérez-Tamayo, 2017) y la práctica de la ciencia se refiere colectivamente como investigación científica, la cual se realiza en centros de investigación y universidades de los sectores público y privado.

La realización de la investigación científica requiere: recursos humanos calificados que puedan proponer y desarrollar iniciativas y proyectos sujetos a la evaluación de pares calificados; recursos financieros, suficientes y administrados

en plazos adecuados al quehacer de generación del conocimiento y formación de recursos humanos; infraestructura física, en donde llevar a cabo las actividades sustantivas y adjetivas; y un marco normativo adecuado y flexible que permita la ejecución de proyectos (UNAM, 2018 p.11). En la actualidad, existe suficiente evidencia de que la generación del conocimiento científico y tecnológico lleva a un mayor desarrollo económico y social que impulsa el bienestar de la población. De acuerdo con Lee (2019 p.18), la implementación de una adecuada política de difusión y divulgación de la ciencia, constituye un factor de orgullo y cohesión nacional, y en México los casos ejemplares son ya numerosos y merecen ser reconocidos, consolidados y fomentados.

En México, el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) coordina un Sistema de 26 Centros Públicos de Investigación (CPI) que comparten cuatro ejes fundamentales en su quehacer: 1) realizar actividades de investigación, 2) formar recursos humanos altamente especializados, principalmente a través de programas de posgrado, 3) promover la mejora y el avance científico con el objetivo de impactar en los sectores públicos, productivo y social, 4) generar información técnica y científica derivada de sus procesos de investigación y generación del conocimiento (CONAHCYT, 2024).

Uno de estos CPI, es el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), creado en 1975 en la ciudad de La Paz, BCS. Posteriormente, como una estrategia para ampliar el ámbito geográfico de sus actividades y atender demandas de diversos sectores de la sociedad, se crearon unidades en Guerrero Negro (BCS), Tepic (Nayarit), Hermosillo y Guaymas (Sonora). En particular, la Unidad Guaymas (UG), inició labores el 16 de octubre de 1993 para atender la misión del CIBNOR de generación de conocimiento, formación de recursos humanos y vinculación con la sociedad, orientada a los ámbitos pesquero, acuícola y de gestión de la zona costera.

Es importante considerar que la ciudad y puerto de Guaymas, colinda al sur con la ciudad de Empalme, y estas ciudades, junto con la comisaría de San Carlos

(municipio de Guaymas) conforman una zona conurbada costera con una población de 156,139 habitantes (INEGI, 2020). En esta región del Golfo de California se realizan diversas actividades productivas incluyendo pesca, camaronicultura, turismo, movimiento de carga portuaria, agricultura costera y desarrollo urbano e industrial pesquero, en un escenario costero caracterizado por su diversidad de ecosistemas costeros: playas, costas rocosas, manglares, pastos marinos, islas, lagunas costeras y bahías.

El propósito de este capítulo es exponer la trayectoria y el papel que ha tenido la Unidad Guaymas del CIBNOR en la generación de conocimiento científico, la formación de capital humano y la apropiación social del conocimiento para el bienestar de la sociedad de esta región del Noroeste de México.

Estructura y líneas de investigación

El personal científico y técnico (CyT) de la Unidad Guaymas está constituido por cinco investigadores y doce técnicos. Este personal está adscrito a los programas académicos de ecología pesquera (dos investigadores y tres técnicos), acuicultura (un investigador y dos técnicos), y planeación ambiental y conservación (dos investigadores y dos técnicos). Adicionalmente, tres técnicos están adscritos a la Subdirección de Estudios Socio-ambientales y Servicios Especializados, y dos técnicos apoyan las áreas de informática y mantenimiento de equipos electrónicos, respectivamente. La consolidación del personal CyT se manifiesta con su pertenencia al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores: tres investigadores nivel 3, dos investigadores nivel 2, dos técnicos nivel candidato. Asimismo, el personal administrativo y de apoyo se conforma por once personas. El quehacer de la Unidad Guaymas es guiado por un(a) coordinador(a) cuya función es dirigir el desarrollo de las actividades sustantivas, así como promover y vincular sus actividades científicas y técnicas con los sectores público, social y privado en la

región y el país, recibiendo el apoyo de la Dirección General y de la Unidad de Administración y Finanzas del CIBNOR.

El quehacer científico se apoya en seis laboratorios: experimental acuícola, ecología pesquera, ecología aplicada y pesquerías, calidad del agua, modelación espacial y sensores remotos, y manejo costero.

La investigación científica se desarrolla en torno a cinco líneas:

1) Evaluación y manejo de recursos pesqueros potenciales, relación ambiente-recurso, y efectos ecológicos de la pesca en ecosistemas marinos. Se investigan potenciales recursos pesqueros y se evalúa la ocurrencia de nuevas especies con la finalidad de diversificar la pesca, siempre buscando el manejo sustentable y ayudando a la adaptación del sector pesquero.

2) Recuperación, ordenamiento y sustentabilidad de nuevas pesquerías. Las investigaciones se enfocan en pesquerías costeras. Se han realizado estudios pioneros en almeja generosa y se estudian otras especies como camarón, jaiba y peces. Las temáticas abordadas incluyen la evaluación de stocks, biología reproductiva y crecimiento individual.

3) Crecimiento, reproducción y manejo de moluscos bivalvos. Se estudia el crecimiento y los principales aspectos reproductivos de diversas especies de moluscos bivalvos de interés comercial, tanto en condiciones de cultivo como en el medio natural. Las especies estudiadas comprenden el ostión japonés, el ostión de placer, la almeja negra, el callo de hacha, las almejas de sifón, la concha nácar, entre otras.

4) Hidroclimatología. El principal interés es entender el origen y la distribución de las precipitaciones y escurrimientos superficiales en México. Elucidar las causas que fortalecen o debilitan sus cambios en el tiempo y el espacio, con especial interés en la ocurrencia de períodos prolongados de sequía o de inundaciones. La utilidad

de este conocimiento es su potencial aportación en la mejora de pronósticos y sus posibles repercusiones sociales, económicas y ambientales.

5) Ecología y manejo de ecosistemas costeros. Se estudian procesos ecológicos de ecosistemas costeros para evaluar su condición ambiental, detectar tendencias de cambio por influencia de las actividades humanas y aplicar este conocimiento al diseño, actualización e implementación de políticas públicas, incluyendo áreas naturales protegidas, ordenamientos ecológicos, refugios pesqueros, evaluaciones de impacto ambiental y gestión de playas recreativas.

El personal CyT de la Unidad Guaymas se ha destacado por su trabajo en colaboración con colegas de las otras Unidades del CIBNOR y de otras instituciones del país y del extranjero. Esto ha contribuido a una trayectoria exitosa, cuya evidencia se aporta a continuación.

Logros cuantitativos

Los logros cuantitativos se exponen en publicaciones científicas, proyectos de investigación y de servicios, formación de capital humano y actividades de acceso universal al conocimiento.

El número de publicaciones científicas para el periodo 1993-2023 denota un esfuerzo significativo y la mayoría (~ 84 %) corresponden a generación de nuevo conocimiento expuesto en artículos publicados en revistas científicas indizadas en el Journal Citation Report (JCR) y/o en el padrón de revistas del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Tabla 3).

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

Tabla 3. Publicaciones científicas generadas en el periodo 1993-2023 en la Unidad Guaymas del CIBNOR.

Publicaciones	1993-2023
Artículos científicos (Revistas indizadas JCR/CONAHCYT)	392
Capítulos de libro	70
Libros	6
Total	468

El número de proyectos de investigación y de servicios en el periodo 1993-2023 (aproximadamente cuatro por año) se han desarrollado en los ámbitos pesquero, acuícola, hidroclimatología, así como de ecología y gestión de la zona costera (Tabla 4).

Estos proyectos han atendido demandas de sectores productivos de pesca, acuicultura, turismo y movimiento marítimo, así como de diversas dependencias del sector gubernamental para apoyar la toma de decisiones en aspectos pesqueros, acuícolas y de gestión de la zona costera.

Las fuentes de financiamiento han sido el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, Secretarías de Estado, Dependencias Estatales, Fondos mixtos, Fundaciones, así como los Sectores productivos social y privado.

UNIDAD GUAYMAS

Tabla 4. Proyectos de investigación científica realizados en el periodo 1993-2023 en la Unidad Guaymas del CIBNOR.

Programa	Proyectos 1993-2023
Ecología pesquera	54
Acuicultura	19
Planeación ambiental y conservación	45
Total	118

La formación de recursos humanos en el periodo 1993-2023, por parte del personal CyT de la Unidad Guaymas, se ha realizado mediante la dirección y co-dirección de tesis de estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado, provenientes de 20 instituciones externas, así como de los programas de maestría y doctorado en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales del CIBNOR (Tabla 5). En el periodo 1993-2023, la dirección y co-dirección de tesis de maestría y doctorado de los programas del CIBNOR representaron el 53 % y el resto fue de instituciones externas.

Tabla 5. Tesis dirigidas o co-dirigidas por personal Científico y Técnico de la Unidad Guaymas del CIBNOR (1993-2023).

Tesis	Proyectos 1993-2023
Licenciatura	94
Maestría	85
Doctorado	41
Total	220

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

Las actividades de acceso universal al conocimiento se resumen para el periodo 2019-2023 (Tabla 6). La participación en medios de comunicación corresponde a artículos en periódicos, así como a entrevistas en radio, televisión y periódicos. La organización de eventos corresponde a la Semana de Posgrado en Guaymas que se organiza cada año con otras instituciones académicas que ofrecen posgrados en Guaymas y cuya novena edición se realizó en junio 2023. Otros eventos como la Expociencias también se realizan con otras instituciones educativas y en conjunto con el Ayuntamiento de Guaymas, ciclos de conferencias en el día internacional de los humedales (tres ediciones) organizados en conjunto con la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora. En su mayoría, las actividades de acceso universal al conocimiento se realizan en el marco del Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación del CIBNOR y corresponden a conferencias de divulgación en escuelas de todos los niveles educativos, visitas de grupos escolares a los laboratorios de la Unidad Guaymas, así como webinarios y mesas redondas.

Tabla 6. Actividades de acceso universal al conocimiento en la Unidad Guaymas del CIBNOR.

Actividades de acceso universal al conocimiento	2019-2023
Artículos en revistas de divulgación	7
Participación en medios de comunicación	34
Participación en congresos	44
Organización de eventos	19
Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación	190
Total	294

Logros cualitativos

Es importante considerar que el quehacer científico en la Unidad Guaymas del CIBNOR, S.C., se ha caracterizado por una estrecha vinculación con dependencias de los tres niveles de gobierno, así como con sectores productivos social y privado. El personal CyT de la Unidad Guaymas ha participado como miembros de Consejos Asesores de Pesca y Acuicultura, Comités de Sanidad Acuícola, Consejos Asesores de Áreas Naturales Protegidas, Consejos de Ordenamientos Ecológicos Marino y Estatal, así como Ordenamiento Territorial Municipal, apoyando la toma de decisiones, así como la formulación y seguimiento de políticas públicas en materia ambiental, pesquera y acuícola.

El nuevo conocimiento generado en los proyectos de investigación y de servicios, expuesto en las publicaciones científicas, han atendido problemas locales y regionales y han contribuido a orientar el aprovechamiento y conservación de recursos naturales de la región del Golfo de California, proporcionando bases científicas para apoyar la toma de decisiones de los sectores productivo y gubernamental. Ejemplos que cabe destacar en acuicultura: establecimiento de una red de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el fortalecimiento del cultivo de moluscos bivalvos; evaluación de la calidad de semillas de ostión provenientes de los diferentes laboratorios de la región noroeste de México; evaluación multianual del desempeño de alimentos microparticulados y alimentos sustitutos de *Artemia*, en el desarrollo larvario de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. En ecología pesquera: estudios de la medusa bola de cañón, cuyas bases científicas generadas detonaron la pesquería incidiendo en la generación de 6000 empleos con una derrama de 18 millones de dólares en esta región del Golfo de California y además se integraron las fichas técnicas en la Carta Nacional Pesquera y en la Carta Nacional Acuícola; estudios de los efectos de la pesca de arrastre del Golfo de California para apoyar la toma de decisiones de la Comisión de Pesca de la Cámara de diputados, Gobierno de Sonora, Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura; un diagnóstico pesquero, social, económico y ambiental de las

comunidades del Alto Golfo de California puso en agenda que el problema ecológico del Alto Golfo es binacional México-EUA, por los cambios ambientales del hábitat, debido al represamiento del Río Colorado.

En planeación ambiental y conservación: modelo conceptual de la circulación atmosférica que explica las sequías en el Altiplano mexicano; una propuesta de una metodología para monitorear la sequía; información acerca del Capital Natural y Bienestar Social de la comunidad Yaqui que fue referencia útil para apoyar el Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui (INPI, 2020); propuesta de manejo para lagunas costeras prioritarias del Golfo de California para apoyar la toma de decisiones del Instituto Nacional de Ecología; monitoreo ambiental para el desarrollo de proyectos de dragado en lagunas costeras de Sonora en apoyo a programa de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura; diseño y seguimiento de un programa vigilancia ambiental de una Central de Ciclo Combinado de la Comisión Federal de Electricidad.

Lo expuesto aporta evidencia de la incidencia e impacto de los resultados de la investigación científica de la Unidad Guaymas en el desarrollo regional.

La formación de capital humano en el periodo 1993-2023, ha sido relevante porque la(o)s estudiantes formados en la Unidad Guaymas se han insertado en el mercado laboral en áreas de investigación, docencia, así como en los sectores privado y gubernamental, alguna(o)s de ella(o)s ingresando al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, otra(o)s ocupando cargos importantes en la toma de decisiones en dependencias de gobierno o laborando en empresas acuícolas y pesqueras de la región.

La divulgación de la ciencia ha sido una práctica cotidiana del personal CyT de la Unidad Guaymas que ha dejado un aprendizaje y satisfacción por las respuestas de profesores y estudiantes, medios de comunicación y de la sociedad en general. Sobre esto, es importante destacar un par de recientes experiencias

exitosas: 1) el programa de actividades en ocasión del 30 aniversario de la Unidad Guaymas realizado en octubre 2023, que incluyó mesas redondas con niñas y niños de nivel básico abordando temas ambientales, con funcionarios de gobierno examinando aspectos de desarrollo local, ciclo de conferencias al público general y concurso de dibujo infantil y 2) la EXPOCIENCIAS realizada el 10 de noviembre 2023 en el malecón de Guaymas y que fue organizada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR-Guaymas), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD-Guaymas), Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON-Guaymas), Tecnológico Nacional de México (TNM-Guaymas) y el H. Ayuntamiento de Guaymas.

Conclusiones

La Unidad Guaymas del CIBNOR, debe continuar con el enfoque del quehacer científico orientado a que los resultados de las investigaciones incidan en beneficio de la sociedad, de formar capital humano con compromiso social y de inducir la apropiación social del conocimiento. Las líneas de investigación científica que se abordan en Ecología pesquera, Acuicultura y Planeación Ambiental y Conservación, resultan estratégicas en un escenario costero y marino regional con incremento en el desarrollo de actividades pesqueras, acuícolas, turísticas, agrícolas, movimiento de carga marítima, así como desarrollo urbano e industrial. Los retos actuales plantean continuar fortaleciendo la articulación de diferentes actores —gobierno, sector académico, sector privado y sociedad civil—, así como incrementar los esfuerzos para incorporar a la ciencia en la toma de decisiones de gobierno y fortalecer actividades productivas con el fin de mejorar el bienestar de las personas. Se requiere continuar el fomento de una cultura científica proporcionando información a los medios de comunicación, a las escuelas y a la ciudadanía.

Importancia social

El impacto social de la investigación científica realizada en la Unidad Guaymas, se ha expresado mediante evaluación de recursos pesqueros y directrices para su aprovechamiento ordenado, recomendaciones de mejores prácticas y estrategias para el cultivo de moluscos bivalvos y crustáceos, aportaciones para sustentar ordenamientos ecológicos marinos y costeros, manejo de áreas naturales protegidas marinas y costeras, así como diagnósticos socio-ambientales de zonas costeras para apoyar la gestión ambiental. La formación de capital humano con bases académicas y éticas ha sido trascendente para la atención de asuntos asociados al uso, manejo y preservación de los recursos naturales de la región noroeste de México. El trabajo ininterrumpido de acercar la ciencia a la educación y a la sociedad ha sido un proceso muy fructífero y muy satisfactorio. En resumen, esta evidencia exhibe la importancia social del quehacer de la Unidad Guaymas del CIBNOR.

Perspectivas

Con 30 años de trayectoria, es trascendente que la Unidad Guaymas tenga puesto en su agenda de corto y mediano plazo, el fortalecimiento de su infraestructura y el cambio generacional de su personal, esto permitirá asegurar la continuación del cumplimiento de su Misión con éxito.

Es fundamental considerar lo establecido por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, en el sentido de que: 1) las políticas de ciencia, tecnología e innovación deben desempeñar un papel central no solo en la construcción de capacidades nacionales en materia de Investigación y Desarrollo, sino también en la solución de problemas y desafíos nacionales, 2) es necesario

impulsar e implementar en forma decidida políticas activas en materia de ciencia, tecnología e innovación, respaldadas con recursos humanos y financieros, y enmarcadas en políticas de desarrollo productivo más profundas (CEPAL, 2024).

Literatura citada:

- CEPAL (2024) *Ciencia, tecnología e innovación para un desarrollo productivo sostenible e inclusivo: lineamientos para el período 2024-2025* (LC/CCITIC.4/3), Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile. Disponible en:
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/69093-ciencia-tecnologia-innovacion-un-desarrollo-productivo-sostenible-inclusivo>
- CONAHCYT (2024, 14 de febrero). *Sistemas de Centros Públicos*. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. Disponible en:
<https://conahcyt.mx/conahcyt/areas-del-conahcyt/uasr/sistema-de-centros-de-investigacion/>
- INEGI (2020). *Censo Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en:
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- INPI (2020). *Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui*. Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. Gobierno de México. Disponible en:
<https://www.inpi.gob.mx/gobmx-2021/Plan-de-Justicia-del-Pueblo-Yaqui.pdf>
- Lee, W.H. (2019). Ciencia, tecnología e innovación: una agenda para 2018-2024. *Ciencia*, 70 (2): 16-23. Disponible en:
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/70_2/PDF/05_70_2_1169_AgendaMexicana.pdf
- Pérez-Tamayo, R. (2017). *La estructura de la ciencia*. México: El Colegio Nacional-Fondo de Cultura Económica.
- UNAM (2018). *Hacia la consolidación y desarrollo de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación: Objetivo estratégico para una política de Estado 2018-2024*. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:
<http://www.dgcs.unam.mx/CTI-180822.pdf>

Para citar esta obra:

Arreola Lizárraga, J.A. 2025. Unidad Guaymas: una trayectoria de quehacer científico con compromiso social. en: Ortega-Rubio A. (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 133-147). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 9

APORTACIONES DE LA UNIDAD NAYARIT DEL CIBNOR 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

amaeda04@cibnor.mx

Resumen

En el presente capítulo se describe brevemente la historia de la creación y desarrollo de la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT, y los impactos sociales que ha producido durante los 10 años de existencia (2015-2025). Se reporta la producción de crías y sus impactos sociales, las contribuciones científicas y tecnológicas sobre la tilapia, ostión de placer y otros temas relevantes, las actividades de formación de recursos humanos, y la participación directa de la UNCIBNOR con donativos crías de tilapia y de pescado en momentos de crisis a las comunidades marginadas del Estado de Nayarit. Se concluye que se han cumplido los objetivos de creación de la UNCIBNOR y que su presencia en Nayarit ha sido pertinente y productiva. Las perspectivas se tornan favorables ya que se cuenta con la infraestructura física y humana para continuar su misión en el campo de la acuicultura, en beneficio de la sociedad Nayarita y de México.

Palabras Clave: Acuicultura, tilapia, impacto social, investigación científica, formación de recursos humanos.

Abstract

This chapter briefly describes the history of the creation and development of the Nayarit Unit of CIBNOR-CONAHCYT, and the social impacts it has produced during the 10 years of its existence (2015-2025). It reports on the production of fry and their social impacts, the scientific and technological contributions on tilapia, pleasure oysters and other relevant topics, the training activities of human resources, and the direct participation of UNCIBNOR with donations of tilapia and fish farms in times of crisis to marginalized communities in the State of Nayarit. It is concluded that the objectives of the creation of UNCIBNOR have been fulfilled and that its presence in Nayarit has been pertinent and productive. The prospects are favorable since it has the physical and human infrastructure to continue its mission in the field of aquaculture, for the benefit of the society of Nayarit and Mexico.

Keywords: Aquaculture, tilapia, social impact, scientific research, human resources training.

Introducción

La Unidad Foránea UNCIBNOR se creó a iniciativa conjunta del Gobierno del Estado de Nayarit y del CONACHYT, ya que en el 2010 era uno de los pocos estados de la República Mexicana que carecía de un Centro Público de Investigación (CPI), y el número de doctores en ciencias PRODEP en la Universidad Autónoma de Nayarit era de 216 (Joel Salomón Herrera com. pers.). y solo 10 de ellos eran miembros del SNII (Girón-Pérez, et al., 2017).

Como resultado de un estudio para empatar las capacidades científicas y tecnológicas del CIBNOR-CONAHCYT con las necesidades de los productores acuícolas del estado de Nayarit, se detectó una demanda insatisfecha de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a partir de las cuales, los productores pudiesen realizar sus cultivos. Además, la producción y los precios de la tilapia a nivel mundial se estaban incrementando rápidamente y por lo tanto, su cultivo representaba una oportunidad de desarrollo económico para los grupos sociales más necesitados del estado de Nayarit y de México.

La tilapia es un pez de agua dulce de origen africano cuyo incremento en producción a nivel mundial se cuadruplicó en solo 20 años, pasando de 1,001.5 ton en 2000, a 4,407,2 (FAO, 2022). Esto se debe a su fácil manejo, baja susceptibilidad a enfermedades, rápido crecimiento a temperaturas del agua en zonas tropicales (25-32 °C), alto contenido proteico y sabor sutil de su carne, pero sobre todo, por poseer uno de los factores de conversión alimenticio más bajos (1.2-1.4 Kg de alimento consumido por kilogramo de pez producido) comparados con los de otros animales de granja acuáticos o terrestres. Esta última cualidad y por su hábito alimenticio herbívoro-omnívoro la convierten en una de las especies más sustentables del mundo.

En los años 70's del siglo pasado, la producción global de tilapia no rebasaba las 25,000 ton, pero a partir de 1980, la producción y el consumo de tilapia a nivel mundial tuvo un crecimiento exponencial sin precedentes alcanzando en 2007 los 2.1 millones de toneladas (FAO, 2009). Esa tendencia se ha mantenido a la fecha. Sin embargo, en México existe un problema ya que a pesar de que el consumo aparente de tilapia fue de 275,800 toneladas en 2017 y que el consumo per cápita de tilapia aumentó 2.84 veces al pasar de 0.78 a 2.21 kilogramos del 2008 al 2017 (Téllez, 2019), la producción de tilapia por acuicultura y pesca disminuyó de las 152,840 ton en 2016 a 45,064 ton en 2021 (CONAPESCA, 2021). Por lo tanto, México tiene que importar tilapia de China para abastecer el déficit.

UNIDAD NAYARIT

En el 2010, conociendo las tendencias y perspectivas de la tilapia como un recurso de alta importancia para la alimentación humana, el CIBNOR participó en la Convocatoria 2010-2 del Fondo Mixto (FOMIX) de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Nayarit y propuso la construcción de la Unidad Nayarit (UNCIBNOR), en el parque Ciudad del Conocimiento e Innovación de Nayarit en la ciudad de Tepic, para coadyuvar al desarrollo de la acuicultura e incrementar las pesquerías de esta especie en el estado de Nayarit y en la región Occidente de México.

Además de diseñar las áreas de producción, el proyecto ejecutivo incluyó el área de investigación científica y tecnológica con el fin de mejorar las tecnologías de producción y formar recursos humanos de todos los niveles en beneficio de la sociedad nayarita. En el 2013 se inició su construcción en un terreno donado por el Gobierno del Estado de 1.1 hectáreas y finalmente en febrero de 2015 se inauguró la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT (Fig. 16).

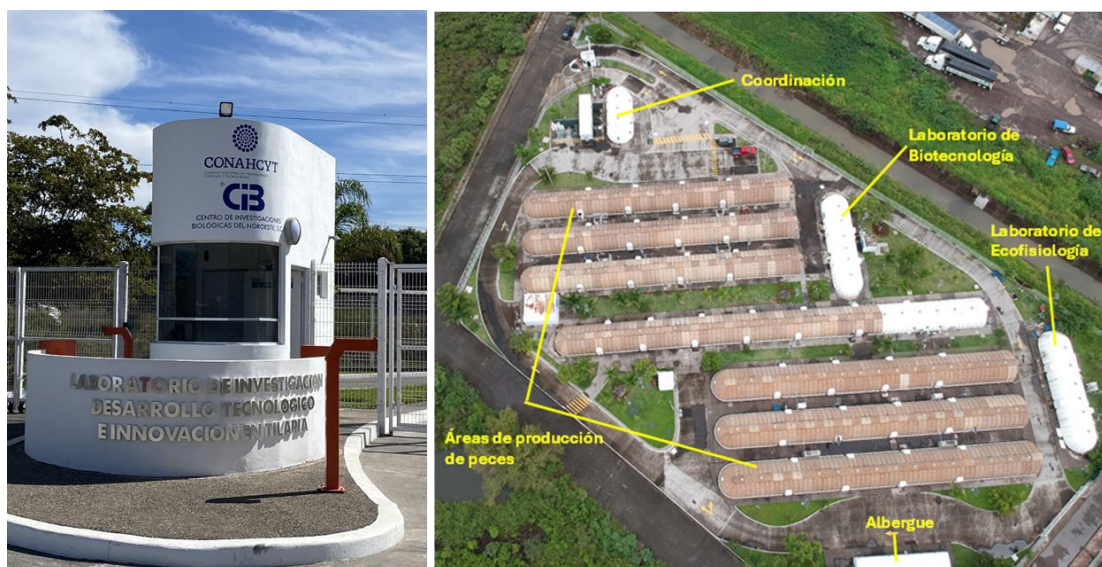


Figura 16. Fotografías de la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.-CONAHCYT, ubicada en el parque tecnológico Ciudad del Conocimiento de Tepic, Nayarit, México.

En la Figura 17, se muestra la evolución de la UNCIBNOR en cuanto al desarrollo de la infraestructura, así como de los esquemas de producción. Desde un inicio, solo el coordinador de la Unidad estaba en la nómina institucional, pero gracias al programa de Cátedras (ahora Investigadores por México) del CONAHCYT, se incorporaron tres investigadores en la convocatoria 2015 y dos investigadores más en la convocatoria 2017. El financiamiento de la UNCIBNOR fue concebido bajo el modelo de “Círculo Virtuoso” (Fig. 18) que consiste en financiar las investigaciones científicas con los recursos autogenerados con las ventas de las crías. Los procesos administrativos los ha realizado una sola persona ya contratada por el CIBNOR, pero el grupo de técnicos ha sido contratado por honorarios con recursos autogenerados por la venta de las crías.



Figura 17. Línea de tiempo que describe el desarrollo de la infraestructura de la UNCIBNOR y de los esquemas de producción.



Figura 18. Modelo de autosostenibilidad financiera “Círculo Virtuoso” de la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT.

Adicionalmente a la tilapia, la UNCIBNOR ha realizado proyectos de investigación sobre el ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*) para tratar de incrementar el su valor en el mercado. Esta especie es nativa de la costa del Pacífico mexicano y se cultiva masivamente en dos áreas cercanas a Tepic Nayarit (Boca de Camichín y Pozo Chino) con alto impacto social. Los volúmenes de producción promedio han sido de 912 toneladas anuales durante 20 años (2002-2021), pero con una variación muy grande entre las 259 ton en 2005, y las 1709 ton en 2021 sin un patrón definido (CESANAY, 2021).

En este capítulo se hace una recopilación de los logros de la UNCIBNOR durante los 10 años de existencia (2015-2025), en cuanto a la producción e investigación sobre la tilapia, el ostión de placer y sobre otros temas relevantes, las actividades de formación de recursos humanos, y la participación directa de la

UNCIBNOR con donativos crías de tilapia y de pescado en momentos de crisis a las comunidades marginadas del Estado de Nayarit.

La producción de crías de tilapia en la UNCIBNOR

La producción de crías de tilapia UNCIBNOR ha evolucionado desde ser una unidad solamente de pre-engorda en el 2015, hasta lograr el ciclo completo en el 2021 (Fig. 17). En la etapa inicial los alevines de solo 0.2 g se adquirían de productores que poseían programas de mejoramiento genético, para luego ser cultivados en la UNCIBNOR hasta 1 -10 g antes de ser comercializados. En la actualidad el ciclo completo se realiza a partir de un pie de cría compuesto por 1,100 reproductores seleccionados por sus características fenotípicas, los cuales producen embriones que son incubados, masculinizados y pre-engordados hasta alcanzar un peso mayor a los 0.2 g.

El crecimiento y la supervivencia de esta nueva estirpe “ESTIRPE CIBNOR” fueron comparados contra los de las mejores estirpes de México, con resultados satisfactorios (Espinosa-Chaurand et al., 2019).

Desde el 2015 a la fecha se han atendido 454 pedidos de crías de 337 productores (Fig. 18) distribuidos en 23 estados de la República Mexicana (Fig. 19). La mayor parte de los productores atendidos se ubicaron en los estados de Nayarit (194), Sinaloa (40), Jalisco (39), Michoacán (17), Aguascalientes (9) y Durango (9). El total de crías entregadas y sembradas en diferentes sistemas de cultivo y embalses artificiales fue de 20.1 millones de crías, las cuales se distribuyeron principalmente en los estados de Nayarit (6.9 millones), Michoacán (4.8 millones), Sinaloa (1.7 millones), Guerrero (1.1 millones y Jalisco (0.9 millones) (Fig. 20).

UNIDAD NAYARIT

El impacto de esta producción de crías sobre la producción nacional de tilapia se calculó asumiendo que los productores cosecharon el 70% de esas crías con un peso promedio de 0.5 Kg.

Los resultados (Fig. 21) muestran una producción hipotética de 7,049 toneladas, las cuales se distribuyeron de la misma forma que las crías. Los productores que cultivaron las crías de la UNCIBNOR se clasificaron en seis categorías: a) Cooperativas y grupos sociales, b) Productores independientes pequeños, c) Productores independientes medianos, d) Microempresa, e) Pequeña empresa, y f) Escuela, Universidad o Centro Público de Investigación (CPI).

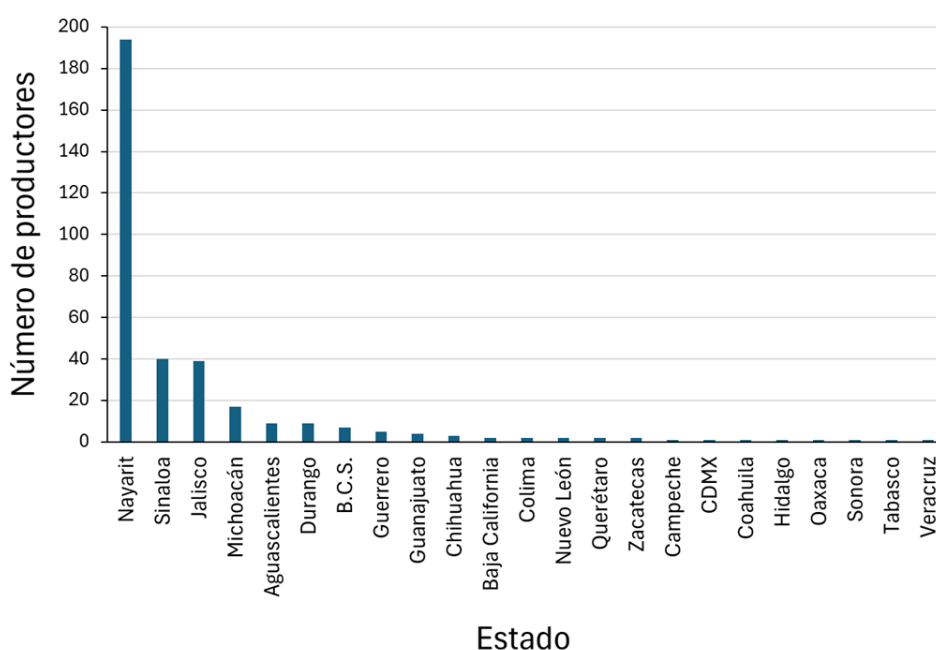


Figura 19. Productores de tilapia atendidos por la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT de 2015 al 2023. por estado de la República Mexicana



Figura 20. Distribución de productores de tilapia atendidos por la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT en el periodo de 2015 al 2023.

UNIDAD NAYARIT

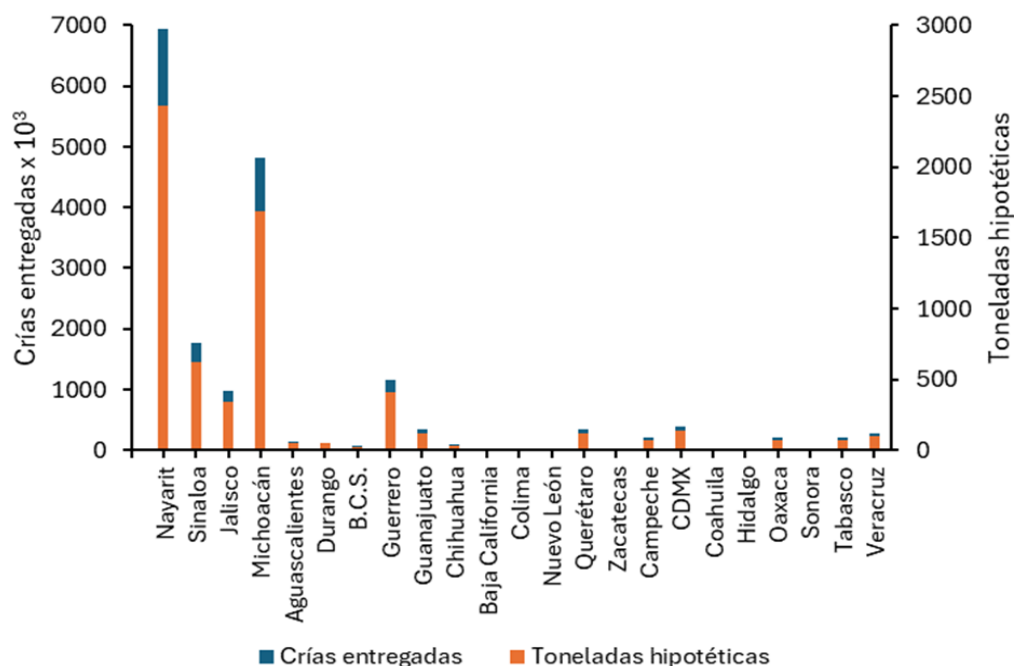


Figura 21. Crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) producidas en la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT, entregadas a los acuicultores de diferentes estados de la República Mexicana, y su producción hipotética a la cosecha. La producción se calculó considerando 70% de supervivencia y una cosecha de peces de 0.5 Kg de peso promedio.

La clasificación de los productores y de las empresas se realizó con base a la estratificación de las empresas publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2002). En la Figura 22 se muestra la distribución de las crías entre los productores de las seis categorías. Aquí se puede observar que más del 70 % de las crías producidas fueron adquiridas por cooperativas y grupos sociales y por productores independientes pequeños y medianos. El 29.2 % restante fue cultivado por micro y pequeñas empresas y un 0.6% fue adquirido por centros educativos o de investigación. La Figura 23 muestra la producción hipotética por tipo de productor tomando en cuenta un 70% de supervivencia y una biomasa cosechada de 0.5 Kg por pez.

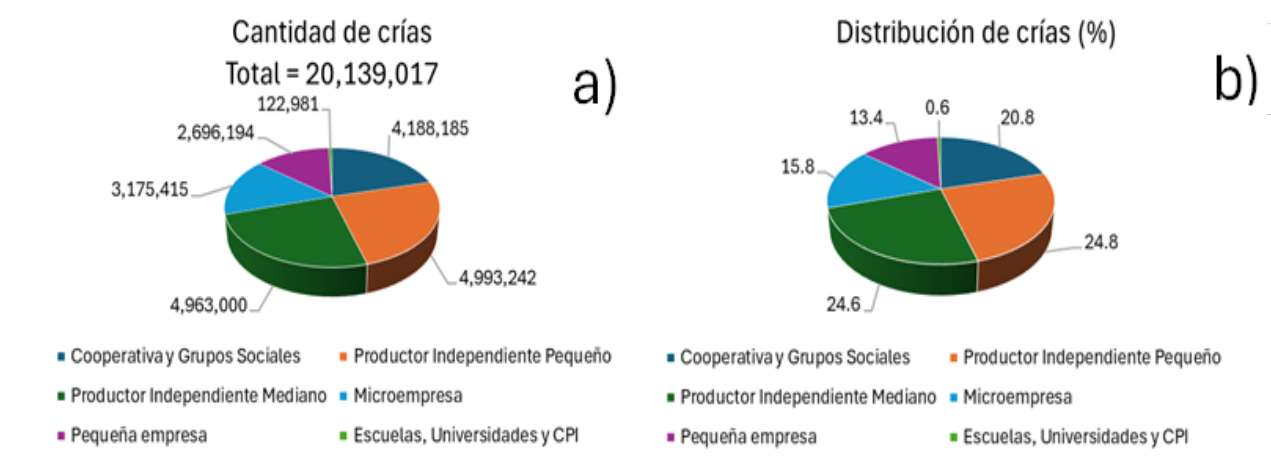


Figura 22. Distribución absoluta (a) y porcentual (b) de las crías de tilapia producidas en la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT, entre los tipos de productores de México, en el periodo de 2015-2023.

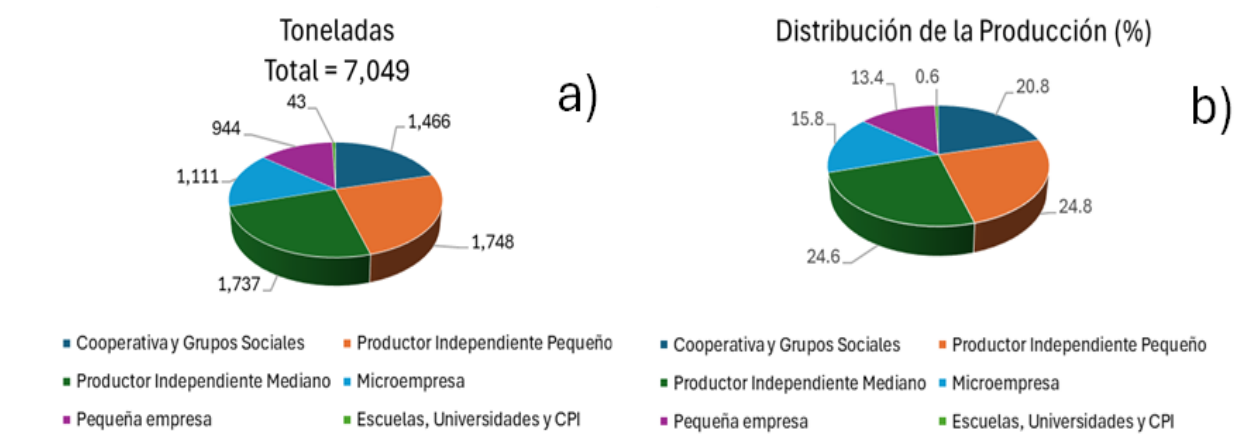


Figura 23. Producción hipotética absoluta (a) y porcentual (b) de tilapia a partir de las crías de tilapia producidas en la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT, por tipo de productor, en el periodo de 2015-2023. Para el cálculo se consideró un 70% de supervivencia y un peso promedio por pez de 0.5 Kg.

Aquí se observa que, de las 7,049 toneladas de peces, casi 5,000 toneladas fueron producidas por cooperativas y grupos sociales, y por productores independientes pequeños y medianos. El resto fueron producidos por micro y pequeñas empresas y 43 toneladas por los centros educativos y de investigación.

De acuerdo con la base de datos generada por la UNCIBNOR, el impacto de la producción de crías sobre los empleos generados por los seis tipos de productores fue muy elevado (Fig. 24). Se generaron 4,650 empleos directos, de los cuales el 71.4% pertenecieron a cooperativas o grupos sociales, seguido por el 13.6% de productores independientes pequeños y el resto se distribuyeron en los cuatro tipos de productores restantes.

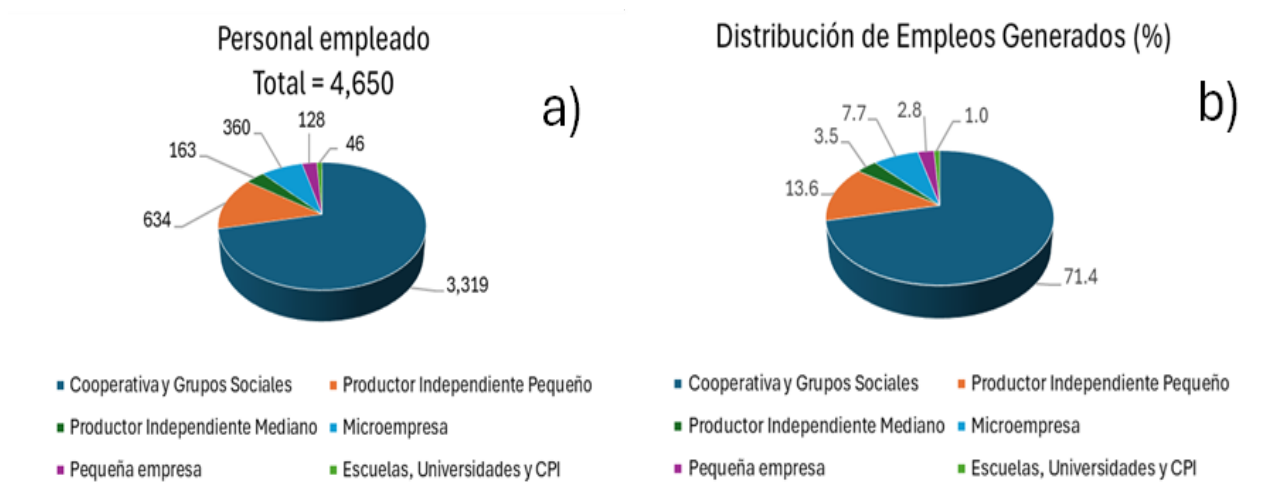


Figura 24. Empleos generados absolutos (a) y porcentuales (b) generados por la actividad acuícola partiendo de las crías de tilapia producidas en la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT, por tipo de productor, en el periodo de 2015-2023.

Investigación científica y tecnológica en la UNCIBNOR

Las aportaciones científicas y tecnológicas de la UNCIBNOR durante los 8 años de operación se resumen en la Figura 25. La publicación de artículos científicos con arbitraje ha variado entre 3 y 14 artículos por año, con un promedio mínimo y máximo de artículos por investigador por año entre 1 y 3.3 respectivamente (Fig. 25a). Se publicaron 78 artículos científicos con arbitraje, 20 de divulgación y 6 capítulos de libro, además de otros productos (Fig. 25b).

Las aportaciones al conocimiento y producción de la tilapia se centran en varios temas incluyendo, la evaluación del crecimiento de la nueva estirpe CIBNOR (Espinosa-Chaurand, et al., 2019) y de la primera generación (F1) resultante (Espinosa-Chaurand, et al., 2025, el efecto nutricional de Biofloc (conjunto flóculos formados por bacterias protozoos, fitoplancton y zooplancton) nucleado con macroalgas sobre el crecimiento de las crías (Aparicio-Simón et al., 2020), una revisión de la bioeconomía del cultivo de tilapia (Dorantes-de-la-O et al., 2023) y la bioeconomía del cultivo de tilapia en traspatio (Dorantes-de-la-O y Maeda-Martínez, 2023), los parámetros reproductivos en la producción de la tilapia (Reyes-Trigueros et al., 2023), la vida de anaquel de los filetes y del pescado entero eviscerado de tilapia almacenada en hielo (Jiménez-Ruiz et al., 2019; Jiménez-Ruiz et al., 2020), y el estatus de la producción de tilapia en México (Urías-Sotomayor y Maeda-Martínez, 2023).

Con respecto a la genética de tilapia, se realizó el análisis de la estructura poblacional de la tilapia *Oreochromis* sp. de los embalses La Yesca, Ahuapán y San Rafael Nayarit, con marcadores moleculares tipo SNP's, encontrando que las dos primeras están genéticamente relacionadas y son poblaciones diferentes a San Rafael. Además, se estandarizó un marcador molecular tipo SCAR para la determinación del sexo genético y un marcador del ADN mitocondrial (D-loop) que ha servido para la identificación de especies de tilapia por medio de análisis filogenético (Morelos et al., 2024). Este último trabajo es de alta relevancia ya que

se presenta como un modelo que debería aplicarse antes de que se pretendan liberar crías de tilapia en embalses naturales.

En cuanto al mejoramiento genético de nuestra estirpe, se tiene proyectada la generación de familias por medio de la selección genómica. La genotipificación por medio de marcadores moleculares tipo SNP's de los candidatos permitirán la evaluación de la consanguinidad, diversidad y variabilidad genética y la identificación de las especies. Esto permitirá hacer apareamientos dirigidos para evitar la endogamia, y se podrá controlar la hibridación y la introgresión génica.

En cuanto al ostión de placer, esta es una especie de alto potencial para desarrollarse en las costas del Pacífico Mexicano tropical por su exquisito sabor y rápido crecimiento. Actualmente los habitantes de Boca de Camichín y de Pozo Chino realizan cultivos en balsas a partir de semillas silvestres. El problema de esta actividad es la estrecha ventana de solo 4 meses (mayo-agosto) y un mes en invierno (diciembre) para su comercialización ya que es cuando el factor de condición del ostión es aceptablemente alto. El resto del tiempo el factor de condición (cantidad de carne por ostión) cae debido a que el ostión desova y pierde su atractivo comercial.

La triploidización es una técnica que se ha explorado en la UNCIBNOR para evitar la pérdida del factor de condición del ostión. La UNCIBNOR participó en un proyecto liderado por el Instituto Mexicano de Investigación Pesquera y Acuícola Sustentables (IMIPAS) para ese fin. Sin embargo, no se logró producir semillas triploides pero que se continuará intentándolo. Para ir avanzando con esta idea, paralelamente se realizó investigación sobre el cultivo de semillas de ostión de placer en el sistema de costales sobre camas instaladas en la zona intermareal de Boca de Camichín con resultados satisfactorios (Maeda-Martínez et al., 2023). En el futuro se explorará el cultivo en canastas australianas en conjunto con el IMIPAS.

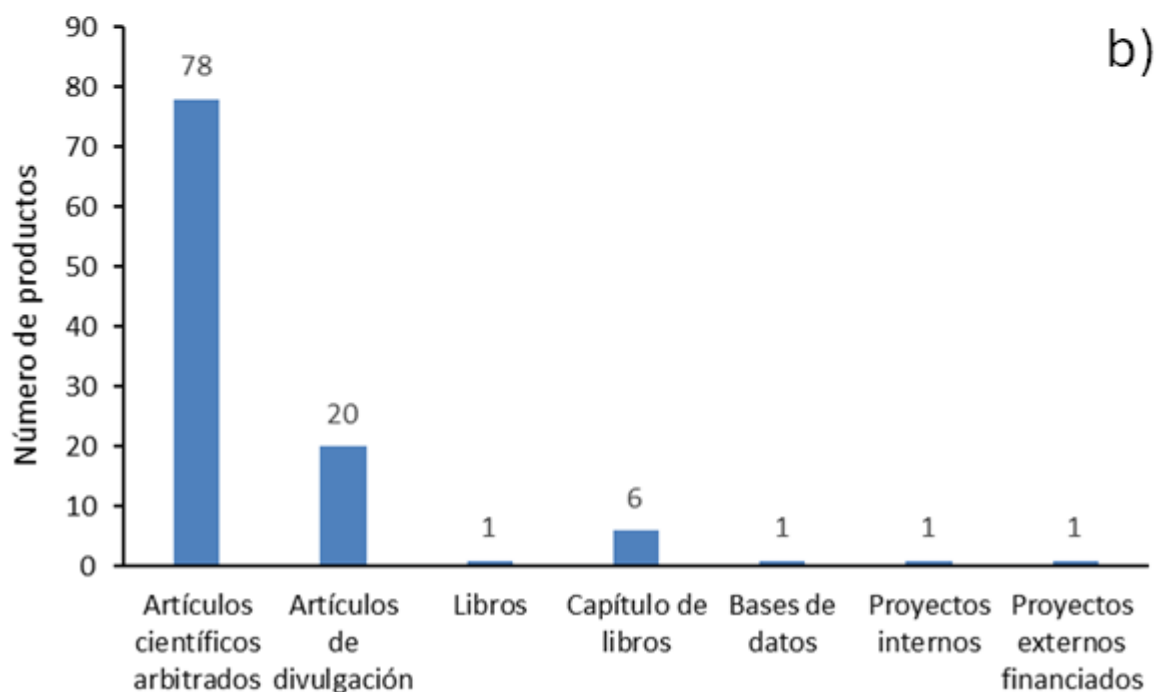
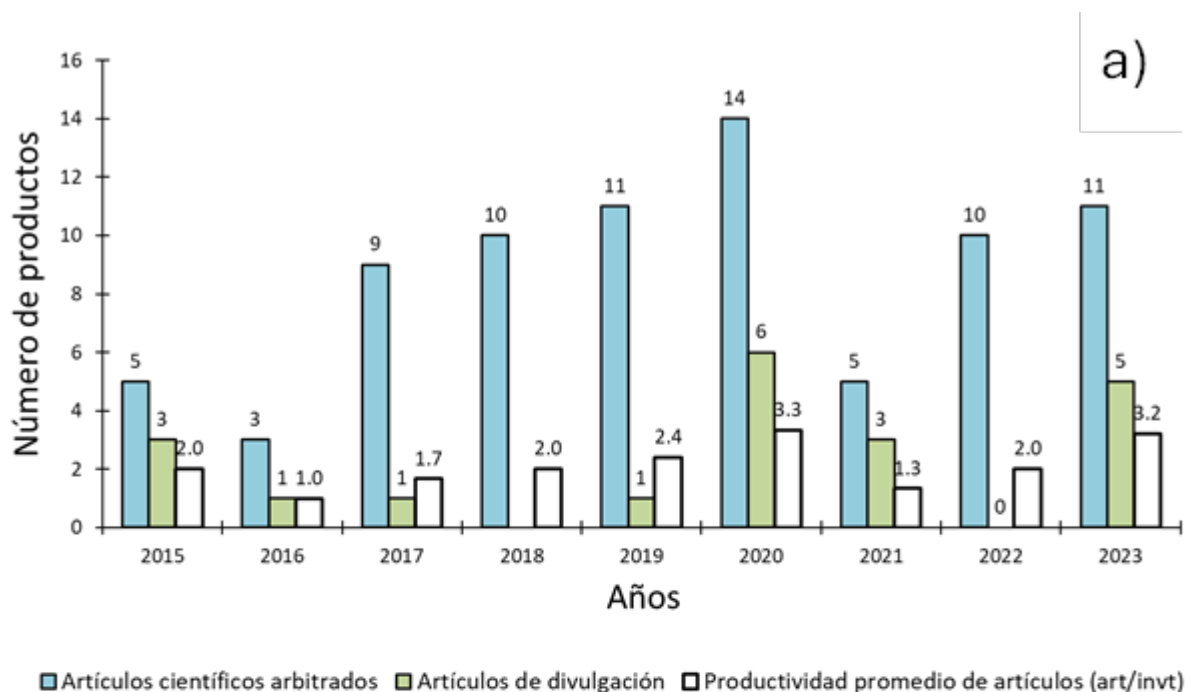


Figura 25. Productos académicos generados por investigadores y técnicos de la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT por año (a) y totales (b) durante el periodo 2015-2023.

Así mismo se ha venido desarrollando investigación sobre los impactos de la variabilidad ambiental por efectos del cambio climático sobre los ecosistemas y regiones marinas prioritarias del Noroeste de México (García-Morales et al., 2017a, 2017b; Robles-Tamayo et al., 2018, 2020, 2022; Farach-Espinoza et al., 2021; López Martínez et al., 2023) y recursos marinos de interés pequeño del Noroeste de México, destacando especies como la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) (Farach-Espinoza et al., 2022), chano norteño (*Micropogonias megalop*) (Arzola Sotelo et al., 2022), camarón (Porchas-Cornejo et al., 2017), en conjunto con la Dra. Juana López Martínez del CIBNOR Unidad Guaymas. Dicha investigación coadyuvará a plantear estrategias de planificación y mitigación de actividades productivas y pesqueras que se podrían ver afectadas por el clima y por ende al sector social que se beneficia de estas actividades.

Formación de Recursos Humanos en la UNCIBNOR

Una parte importante de la misión de la Unidad Nayarit del CIBNOR ha sido la formación de recursos humanos de todos los niveles (Fig. 26a). En la Figura 26a, se presenta la evolución de los estudiantes que han sido atendidos por los investigadores de la UNCIBNOR desde el 2015 al 2023. La dirección de tesis de licenciatura, maestría y doctorado ha sido constante, dando un total de 43 estudiantes graduados durante los 8 años, de los cuales, 30 han sido de licenciatura, 10 de maestría y 3 de doctorado (Fig. 26b). Se han tenido además 2 posdoctorantes y 2 han realizado sus estancias sabáticas. Finalmente se han dirigido a 73 estudiantes de servicio social, residencia profesional, entrenamiento técnico y estancias de investigación.

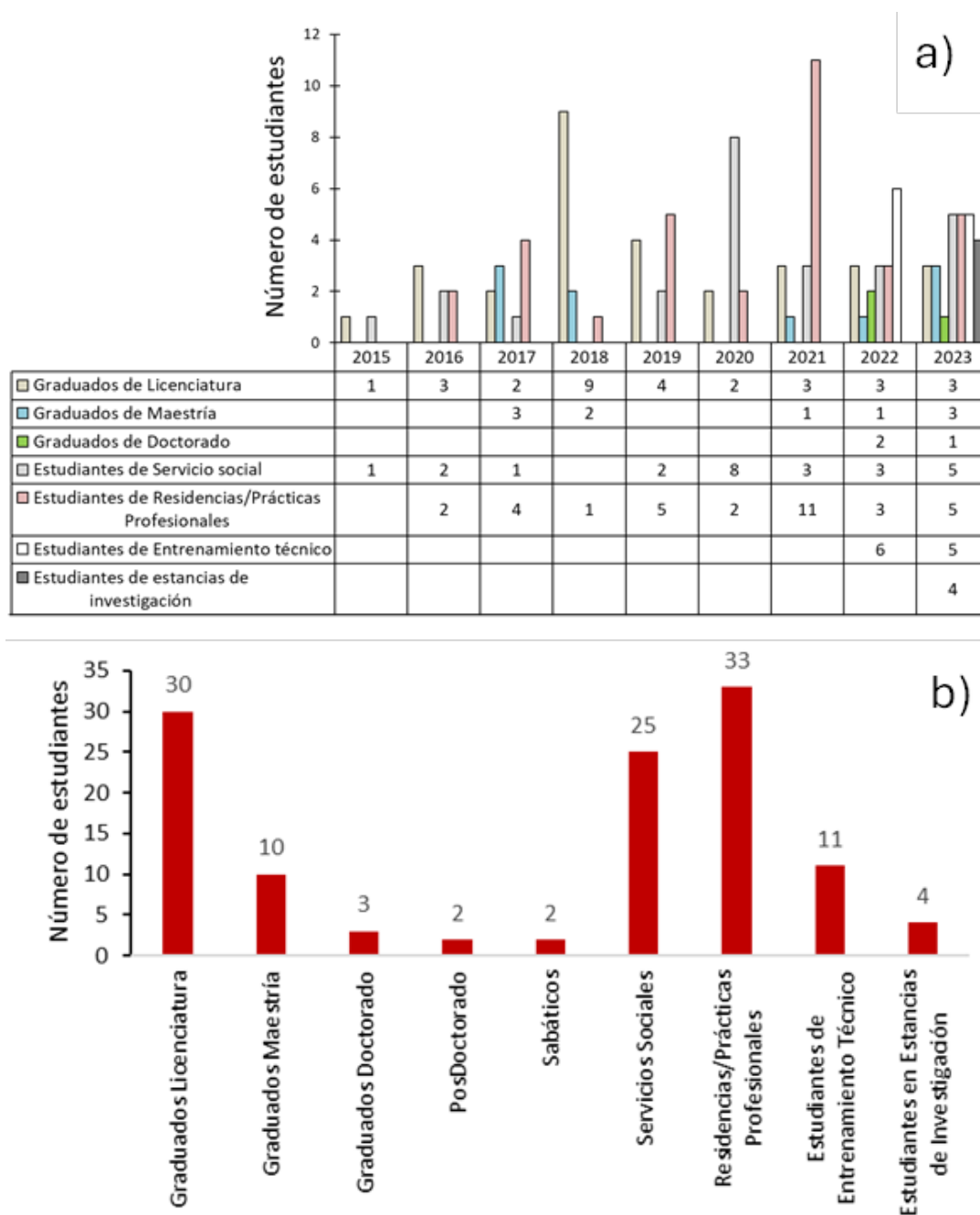


Figura 26. Formación de recursos humanos realizada por investigadores de la Unidad Nayarit del CIBNOR-CONAHCYT por año (a) y totales (b), durante el periodo 2015-2023

Donativos de Tilapia de la UNCIBNOR en Momentos de Crisis

El CIBNOR-CONAHCYT a través de su Unidad Nayarit, ha participado en dos ocasiones con la donación de pescado a las comunidades marginadas del Estado de Nayarit, en coordinación con el Instituto de Capacitación para el Trabajo del Estado de Nayarit (ICATEN) (Fig. 27a) y el Banco de Alimentos de México (BAMX) en el Estado de Nayarit (Fig. 27b). En la primera acción se donaron peces de más de 300g a los comedores comunitarios instalados por el Gobierno del Estado, para apoyar a las personas que perdieron su empleo por efectos del COVID-19 (ver video en <https://www.youtube.com/watch?v=nvhvpuRyNEU>). En la segunda acción se donaron peces del mismo peso al BAMX-NAYARIT para complementar la alimentación de las personas afectadas por el Huracán Roslyn en la comunidad de Los Medina, Nayarit, en octubre del 2022. Adicionalmente se han donado crías de tilapia a productores marginados del estado de Nayarit, particularmente de la cooperativa Isla Emprendedora, con las cuales pudiesen iniciar sus cultivos (ver video en https://www.youtube.com/watch?v=aWwG-Y_WI3g).

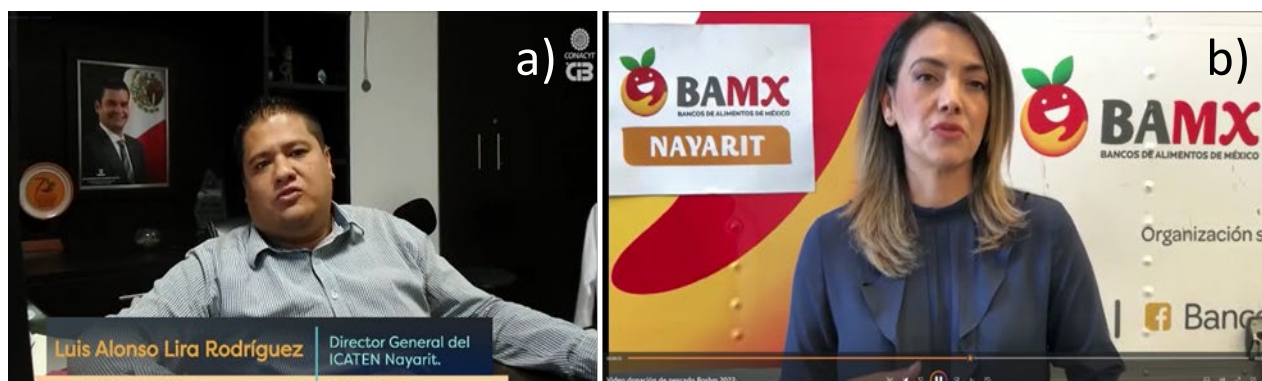


Figura 27. Videos que relatan las actividades de apoyo de la UNCIBNOR-CONAHCYT a las comunidades marginadas del Estado de Nayarit, en momentos de crisis.

Reconocimientos

El 24 de enero de 2025, la XXXIV Legislatura del Congreso del Estado de Nayarit, decretó otorgar a la Medalla Nayarit a la Investigación Científica y Tecnológica 2024 al Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez en la categoría: Medalla al Mérito a la Investigación Científica y Tecnológica. con la obra: Creación de la Unidad Nayarit del CIBNOR, como centro de referencia en investigación científica, producción de crías y capacitación en tilapia para el desarrollo acuícola del Estado de Nayarit y de México. También esta presea Dr. le fue entregada al Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand en la categoría Medalla para Nuevas Personas Investigadoras con la obra: Manejo, nutrición y fisiología acuícola para el desarrollo de la acuicultura.

Conclusiones

Los resultados presentados permiten concluir que se están cumpliendo los objetivos por los que se creó la UNCIBNOR. Su presencia en Nayarit ha sido pertinente y productiva.

Importancia social

La Unidad Nayarit del CIBNOR fue diseñada y construida con el fin de apoyar el desarrollo de la acuicultura de tilapia de México, a través de la producción de crías, la capacitación de productores, y el mejoramiento de las tecnologías de producción, realizando investigación científica, tecnológica e innovación. A la fecha se han atendido 454 pedidos de crías de 337 productores de 23 estados de la República Mexicana. Mas del 70 % de las crías producidas fueron adquiridas por cooperativas

y grupos sociales y por productores pequeños y medianos. El impacto de la producción de crías sobre la producción nacional de tilapia se calcula en 7,049 toneladas, por lo que el impacto social de la Unidad Nayarit es evidente.

Perspectivas

Las perspectivas se tornan favorables ya que se cuenta con la infraestructura física y humana para continuar su misión en el campo de la acuicultura, en beneficio de la sociedad Nayarita y de México.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Juan Manuel Lemus y al Lic. Joel Salomón por haber tenido la visión y haber apoyado el desarrollo de la UNCIBNOR-CONACHYT. Se agradece las aportaciones financieras del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, del Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables, del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Nayarit y de la empresa Maricultura del Pacífico, S.A. de C.V.

Literatura citada:

- Aparicio-Simón, B., Real-Moreno, E., Espinosa, D., García-Morales, R., Garza-Torres, R., Cortés-Sánchez, A.J., Lora-Sanchez, D., and Maeda-Martínez, A.N. (2020). Giant bladder kelp (*Macrocystis pyrifera*) and maize (*Zea mays*) meals as nucleation sites for biofloc formation. *Aquaculture Reports*, 16. 100289. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100289>
- Arzola-Sotelo, E.A., López-Martínez, J., Nevárez-Martínez, M.O., Morales-Bojórquez, E., García-Morales, R., Herrera-Cervantes, H. (2022). Variation in population dynamics and abundance of the bigeye croaker *Micropogonias megalops* in the northern Gulf of California, *Regional Studies in Marine*

- Science, 52, 102301. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102301>CESANAY 2021. Campaña moluscos. Recuperado el 8 de marzo de 2024 de <https://cesanay.org/cesanay/moluscos/produccion/>.
- CONAPESCA. (2021). *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca*. 291p.
- DOF. (2002). *Estratificación de empresas*. 30 de diciembre de 2002.
- Dorantes-de-la-O, J.C.R., Maeda-Martínez, A.N., Espinosa-Chaurand, L.D., Garza-Torres, R. (2023). Bioeconomic modeling in Tilapia aquaculture: A Review. *Reviews in Aquaculture*. 15, 1765–1777.
- Dorantes-de-la-O, J.C.R., y Maeda-Martínez, A.N. (2023). Bioeconomic model for the evaluation of a backyard aquaculture system for tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(2), 282-294.
- FAO. (2009). *Oreochromis niloticus*. En: Cultured aquatic species fact sheets. Text by Rakocy, J. E. Editado y compilado por Valerio Crespi y Michael New. CD-ROM (multilingual). https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/en/en_niletilapia.htm
- FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Jiménez-Ruiz, E.I., Maeda-Martínez, A.N., Sumaya-Martínez, M.T., Sánchez-Herrera, L.M., Balois-Morales, R., López-Guzmán, G.G. Palomino-Hermosillo, Y.A., Tortoledo-Ortiz, O. (2019). Vida de anaquel de tilapia *Oreochromis niloticus* eviscerada transportada y almacenada en hielo. *Inteciencia*, 44(2), 82-87.
- Jiménez-Ruiz, E.I., Maeda-Martínez, A.N., Ocaño-Higuera, V.M., Sumaya-Martínez, M.T., Sánchez-Herrera, L.M., Fregoso-Aguirre, O.A., Rincones-López, J.E., Palomino-Hermosillo, Y.A. (2020). Shelf life of fresh fillets from eviscerated farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) handled at different pre-filleting times. *Journal of Food Processing and Preservation* 44(7), e14529. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14529>
- Espinosa-Chaurand, D., Aparicio-Simón, B., Cortés-Sánchez, A.D.J., Garza-Torres, R., García-Morales, R., Maeda-Martínez, A.N. (2019). The productive assessment of two tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) commercial strains in Sinaloa Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(3), 440-448.
- Espinosa-Chaurand, L.D., Morelos-Castro, R.M., García-Morales, R., Garza-Torres, R., Cortés-Sánchez, A.J., Maeda-Martínez, A.N. Comparative growth, survival, and feed conversion factor of the F1 generation of two new strains

- of tilapia *Oreochromis niloticus* produced by mass selection. *Aquaculture*, 595 (2025) 741509. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741509>
- Farach-Espinoza, E.B., López-Martínez, J., García-Morales, R., Nevárez-Martínez, M.O., Lluch-Cota, D.B., Ortega-García, S. (2021). Temporal variability of oceanic mesoscale events in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 13, 1774. <https://doi.org/10.3390/rs13091774>
- Farach-Espinoza, E.B., López-Martínez, J., García-Morales, R., Nevárez-Martínez, M.O., Ortega-García, S., Lluch-Cota, D.B. (2022). Coupling oceanic mesoscale events with catches of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California. *Progress in Oceanography*, 206, 102858. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102858>
- García-Morales, R., López-Martínez, J., Valdez-Holguin, J.E., Herrera-Cervantes, H., Espinosa-Chaurand, L.D. (2017). Environmental variability and oceanographic dynamics of the central and southern coastal zone of Sonora in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 9, 925. <https://doi.org/10.3390/rs9090925>
- García-Morales R., Pérez-Lezama E.L., Shirasago-Germán B. (2017). Influence of environmental variability on distribution and relative abundance of baleen whales (suborder Mysticeti) in the Gulf of California. *Marine Ecology*, e12479. <https://doi.org/10.1111/maec.12479>
- Girón-Pérez, M.I., Huerta-Hernández, A.V., Quintero-Hernández, B. (2017). Ciencia en Nayarit, a 100 años de la creación del estado: antecedentes históricos, situación actual, retos y perspectivas. *Ciencia* 68(3), 82-90. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/2045>
- López-Jiménez, D., Espinosa-Chaurand, L.D., Maeda-Martínez, A.N., Peraza-Gómez, V. (2024). Combined effect of temperature, salinity and dissolved oxygen on the survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry during transportation, at different densities and durations. *Aquaculture*, 580, 740283. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740283>
- López-Martínez, J., Farach-Espinoza, E.B., Herrera-Cervantes, H., García-Morales, R. (2023). Long-term variability in sea surface temperature and Chlorophyll *a* concentration in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 15, 4088. <https://doi.org/10.3390/rs15164088>
- Maeda-Martínez, A.N. García-Murillo, A.G., Espinosa-Chaurand, D., Garza-Torres, R., García-Morales, R. (2023). Growth, survival and morphometric relationships of *Crassostrea corteziensis* cultivated during the nursery stage in oyster bags at different tidal levels, in Boca de Camichín Nayarit, Mexico. *Ciencias Marinas* 49, e3388. <https://doi.org/10.7773/cm.y2023.3388>

- Morelos-Castro, R.M., Aparicio-Simón, B., García-Morales, R., Cruz-Hernández, P., Campos-Ramos, R., Espinosa-Chaurand, D., Garza Torres, R., Maeda-Martínez, A.N. (2024). Exploring the presence of tilapia species in a central western Mexican reservoir using mitochondrial DNA control region sequencing. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 52(4), <https://doi.org/10.3856/vol52-issue4fulltext-X>
- Porchas-Cornejo, M. A., Álvarez-Ruiz, P., Álvarez-Tello, F. J., Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L.R., López-Martínez, J., García-Morales, R. (2018). Detection of the white spot syndrome virus in zooplankton samples collected off the coast of Sonora, Mexico. *Aquaculture Research*, 49, 48-56. <https://doi.org/10.1111/are.13431>
- Reyes-Trigueros L, Monroy-Dosta MC, Torres-Ochoa E, Cortés-Sánchez ADJ, Espinosa-Chaurand LD. (2023). Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia *Oreochromis niloticus*: revisión. La Granja: *Revista de Ciencias de la Vida* 38(2): 124-137. <https://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.09>
- Robles-Tamayo, C.M., Valdez-Holguín, J.E., García-Morales, R., Figueroa-Preciado, G., Herrera-Cervantes, H., López-Martínez, J., Enríquez-Ocaña, L.F. (2018). Sea surface temperature (SST) variability of the eastern coastal zone of the Gulf of California. *Remote Sensing* 10, 1434. <https://doi.org/10.3390/rs10091434>
- Robles-Tamayo, C.M., García-Morales, R., Romo-León, J.R., Figueroa-Preciado, G., Peñalba-Garmendia, M.C., Enríquez-Ocaña, L.F. (2022). Variability of Chl a concentration of priority marine regions of the northwest of Mexico. *Remote Sensing*, 14, 4891. <https://doi.org/10.3390/rs14194891>
- Robles-Tamayo, C.M., García-Morales, R., Valdez-Holguín, J.E., Figueroa-Preciado, G., Herrera-Cervantes, H., López-Martínez, J., Enríquez-Ocaña, L.F. (2019). Chlorophyll a concentration distribution on the mainland coast of the Gulf of California, Mexico. *Remote Sensing* 12, 1335. <https://doi.org/10.3390/rs12081335>
- Téllez, M. (2019, 8 de marzo). Perspectivas en la industria del cultivo de tilapia en México. <https://panoramaacuicola.com/2019/03/21/perspectivas-en-la-industria-del-cultivo-de-tilapia-en-mexico/>
- Urías-Sotomayor, R. y Maeda-Martínez, A.N. (2023). La producción de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en México como una alternativa para fortalecer la seguridad alimentaria nacional. *Estudios Sociales* 33(62), 1-24. <https://doi.org/10.24836/es.v33i62.1322>

Para citar esta obra:

Maeda-Martínez, A.N., R. Navarro-Murillo, R. García-Morales, L.D. Espinosa-Chaurand, R. M. Morelos-Castro y R. Garza-Torres. 2025. Aportaciones de la Unidad Nayarit al Bienestar Comunitario. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 149-172). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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

lbeltran04@cibnor.mx

Resumen

El objetivo de este estudio es identificar el uso actual y potencial de recursos genéticos asociados a conocimiento tradicionales en Baja California Sur. Para ello, se describe el marco teórico de valoración de la biodiversidad por valores de uso y no uso, así como la idoneidad de los métodos de valoración de preferencias de mercados convencionales (reveladas) o hipotéticos (declaradas). Se describen los principales hallazgos de estudios realizados en Baja California Sur. Finalmente se concluye la necesidad de investigar el potencial de uso comercial de recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales en beneficio de comunidades locales de Baja California Sur, esto mediante el uso de métodos de preferencias reveladas, así como de mecanismos de acceso, participación justa y equitativa derivada del uso de recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales.

Palabras clave: Valoración económica, Recursos genéticos, Conocimientos Tradicionales, Valor de uso, Flora.

Abstract

The objective of this study is to identify the current and potential use of genetic resources associated with traditional knowledge in Baja California Sur. To this end, the theoretical framework for valuing biodiversity by use and non-use values is described, as well as the suitability of methods for valuing conventional (revealed) or hypothetical (declared) market preferences. The main findings of studies carried out in Baja California Sur are described. Finally, the need to investigate the potential for commercial use of genetic resources associated with traditional knowledge for the benefit of local communities in Baja California Sur is concluded, this through the use of revealed preference methods, as well as access mechanisms, fair and equitable participation. derived from the use of genetic resources associated with traditional knowledge.

Keywords: Economic valuation, Genetic resources, Traditional Knowledge, Use value, Flora.

Introducción

La Organización Mundial de Propiedad Intelectual (WIPO por sus siglas en inglés) define a los recursos genéticos como aquellos que provienen de material biológico y cuentan con información genética con valor, ya sea actual o potencial, derivado de su uso en todos los campos de la actividad humana (WIPO 2019). Este material genético en un contexto tradicional se asocia a procesos, métodos, conocimiento, prácticas y habilidades desarrolladas por comunidades y culturas, y que se heredan de generación a generación. En este sentido, el conocimiento tradicional de recursos genéticos forma parte del estilo de vida de grupos y comunidades indígenas que a lo largo del tiempo contribuyen a la conservación del medio ambiente, la agricultura

sostenible y la seguridad alimentaria. El conocimiento tradicional surge a partir de descubrimientos e innovaciones desarrollados por grupos étnicos y comunidades locales, y puede ser transmitido de forma escrita y oral entre generaciones (WIPO 2019).

A la fecha, en Baja California Sur se cuenta con 256 especies de flora terrestre, donde al menos para 26% se tiene conocimiento de uso tradicional (Dimayuga 1996, León de la Luz *et al.* 2015, Pío-León *et al.* 2018). Para el caso de mamíferos, se han registrado 104 especies en la entidad (72 terrestres y 32 marinas), y para 22% de éstas se conoce algún tipo de aprovechamiento tradicional (Dimayuga, 1996; León de la Luz *et al.*, 2015; Pío-León *et al.*, 2018). En el caso de la flora, el principal uso corresponde a medicina tradicional. Los beneficios obtenidos por las comunidades para tratar enfermedades provienen de recursos genéticos en forma de bienes y servicios ambientales (Dimayuga, 1996; León de la Luz *et al.*, 2015; Pío-León *et al.*, 2018).

Valor económico de la biodiversidad

Los ecosistemas proveen bienes y servicios ambientales en forma directa o indirecta, los cuales constituyen el soporte para la existencia de la sociedad. Estos servicios pueden clasificarse en cuatro categorías (de soporte, de provisión, de regulación y culturales) y en ocasiones son incorporados a procesos de producción, de tal manera que al ser empleados adquieren valor de uso. En caso de destinarse a la conservación toman valor de no uso, beneficio que puede variar en función del tiempo y el espacio. Algunos ejemplos de servicios ecosistémicos son la regulación del clima, la formación de suelos, la producción de alimentos, la recreación y la generación de recursos genéticos (Constanza *et al.*, 1998; Vásquez-Lavín *et al.*, 2007).

VALORACIÓN RECURSOS GENÉTICOS

Desde una perspectiva utilitarista, los servicios ambientales tienen valor porque proporcionan beneficios a la sociedad; en este sentido, la biodiversidad es la base para brindar un gran número de beneficios a la humanidad. Una forma de cuantificar estos beneficios es asignar precios o valores monetarios a los servicios ambientales. La valoración económica proporciona un indicador monetario del valor de la biodiversidad y su base teórica es la variación monetaria como compensación o equivalencia de cambios en el nivel de bienestar, causados por alteraciones en la diversidad biológica. En este caso, la variación compensatoria (VC) mide la cantidad máxima que una persona está dispuesta a pagar por acceder a un cambio favorable en su bienestar, derivado de una modificación en la biodiversidad; o bien, la cantidad mínima que está dispuesto a aceptar como compensación por un cambio desfavorable. Por su parte, la variación equivalente (VE) hace referencia a la cantidad que un individuo está dispuesto a pagar por evitar un cambio desfavorable, o el monto mínimo que está dispuesto a aceptar por renunciar a un cambio favorable.

Uno de los principales retos de la ciencia económica para valorar la biodiversidad consiste identificar y seleccionar adecuadamente su nivel, para evitar incurrir en sesgos de información y agregación (Nunes y van den Bergh, 2001). El nivel básico es la diversidad genética, la cual refiere a la variedad de genes en el ADN de los seres vivos (Wilson, 1994). El siguiente nivel es la diversidad de especies, donde algunos estudios sugieren que el planeta tiene entre 5 y 30 millones de especies, y menos de medio millón han sido analizado para explorar su potencial uso y beneficio económico (Wilson, 1988; Nunes y van den Bergh, 2001). Es importante resaltar que la diversidad genética y de especies están directamente vinculadas, ya que cambios genéticos modifican la morfología y función, y por consiguiente, generan diversidad.

Otro nivel de la biodiversidad es el que se refiere a la diversidad de ecosistemas, el cual abarca las comunidades de organismos, sus hábitats y condiciones físicas de su entorno. La capacidad de estos ecosistemas para soportar la vida ante perturbaciones depende de otro nivel de diversidad, denominada biodiversidad funcional; ésta determina la capacidad que tienen los ecosistemas de recuperarse ante eventos adversos: resiliencia. Cabe señalar que existe una relación causal entre bajos niveles de resiliencia y pérdidas funcionales irreversibles dentro de los ecosistemas (Arrow *et al.*, 1995).

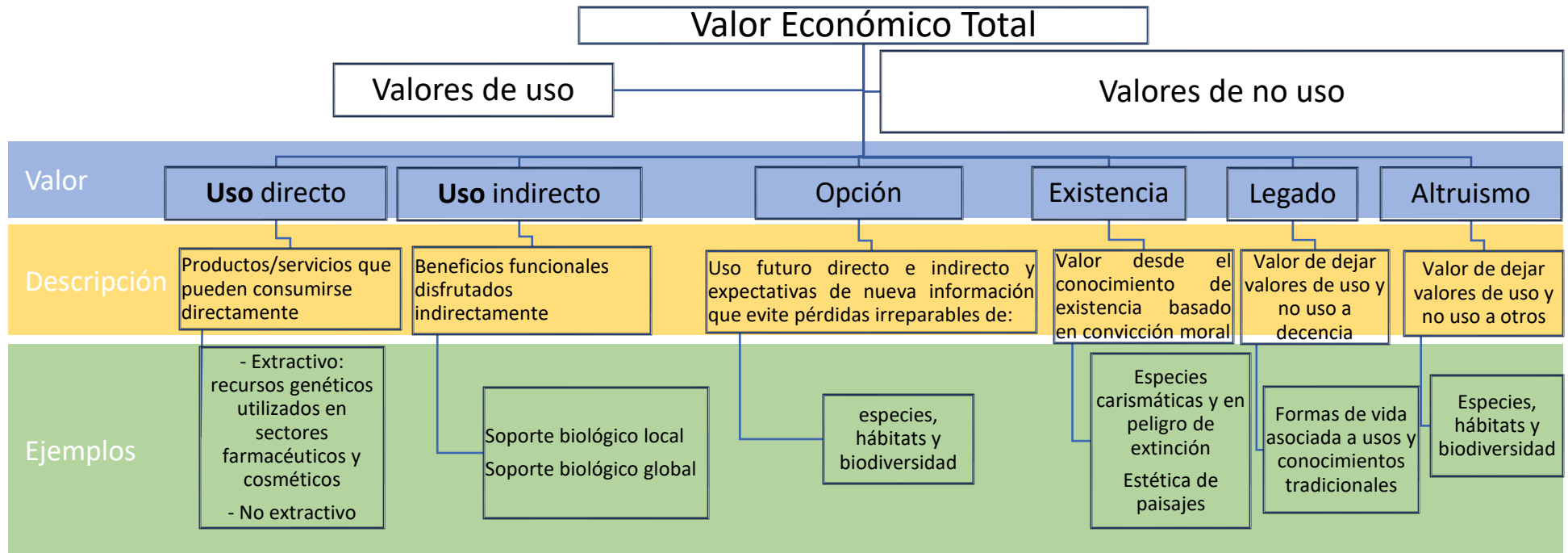
En Baja California Sur, una tarea pendiente en cuanto a valoración es la identificación de usos y conocimiento tradicional asociado a la diversidad de especies de flora y fauna, tanto marina como terrestre. En este trabajo se describe, en forma de prospección, el aprovechamiento de tales recursos. Para ello, se consultaron tres publicaciones que caracterizan la flora y fauna de la entidad (Dimayuga, 1996; León de la Luz *et al.*, 2015; Pio-León *et al.*, 2018).

Valor económico total

Dada la complejidad de la biodiversidad es necesario identificar las dimensiones espacial y temporal de los bienes y servicios que de ella se derivan, con el fin de capturar su valor económico. El marco teórico para aproximarse a ello es el denominado valor económico total (VET), debido a que busca capturar todos los valores de bienes y servicios ambientales. Bajo este enfoque, en la figura 28, se muestra la clasificación de los valores de uso (directo e indirecto) y no uso (de opción, de existencia, de legado y de altruismo).

VALORACIÓN RECURSOS GENÉTICOS

Figura 28. Valor económico total.



Fuente: adaptado de De Valck y Rolfe, 2019.

Los productos y servicios que se pueden consumir directamente se clasifican en extractivos y no extractivos. Ejemplos de extractivos son la pesca, acuicultura, maricultura, productos farmacéuticos entre otros; mientras que en no extractivos destacan el turismo, investigación, educación, recreación y paisajismo. Como se puede observar existen diversos valores asociados a la biodiversidad, por lo que resulta importante utilizar un método de valoración económica que capture adecuadamente el o los valores que le asigna la población que se beneficia de ella.

Métodos de valoración económica de recursos genéticos

Regularmente el valor de uso directo de bienes y servicios que se derivan de la biodiversidad tienen precio de mercado, los cuales están considerados en contratos (C) de bioprospección en la industria farmacéutica, así como contratos de acceso y participación de beneficios (ABS por sus siglas en inglés) para grupos indígenas y comunidades locales, a partir de la entrada en vigor del Protocolo de Nagoya (Avilés-Polanco *et al.*, 2019). Otros parámetros del valor de uso son los precios de mercados de servicios turísticos y actividades recreacionales, incluyendo el pago de acceso a áreas naturales protegidas. No obstante, debido a que para algunos valores de biodiversidad no existen precios de mercado, las metodologías desarrolladas en el marco de la teoría económica de valoración ambiental buscan estimar las preferencias de los consumidores mediante técnicas econométricas, para las cuales se distinguen dos grupos: preferencias reveladas y declaradas (Figura 29).

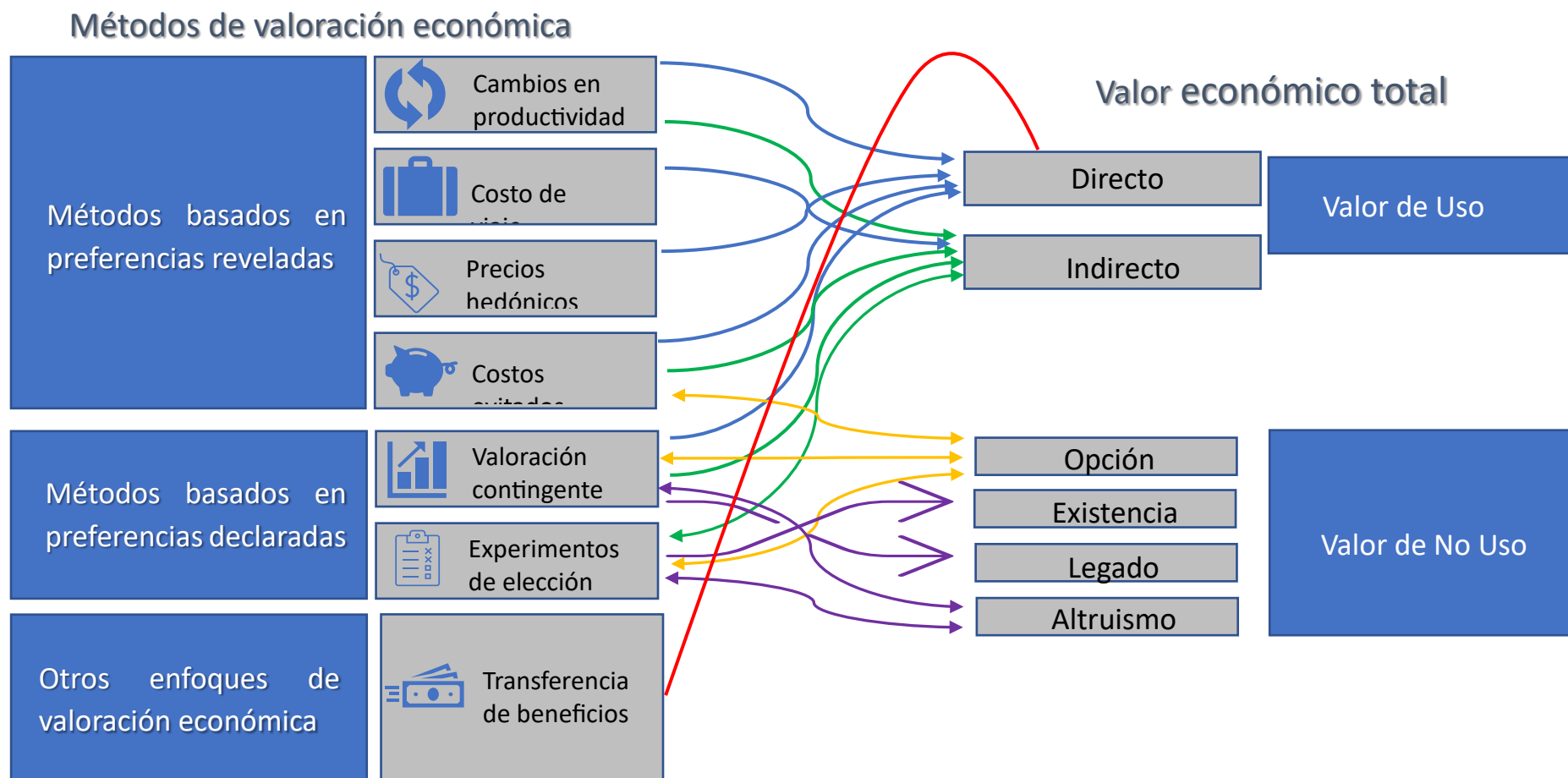
Los métodos para preferencias reveladas utilizan datos de mercado como el costo de viaje (cv) desde el origen y hasta el destino donde se disfruta del bien o servicio ambiental, como actividades recreativas de observación de aves, nado con tiburón ballena, snorkel, kayak, buceo, pesca, entre otros. Existen otros métodos que utilizan la información de mercado para estimar las preferencias de los consumidores, de acuerdo con los atributos ambientales inherentes al bien valorado, como es el caso del paisaje y el nivel de contaminación, a ellos se les denomina precios hedónicos (PH). En la literatura

VALORACIÓN RECURSOS GENÉTICOS

especializada en valoración económica de la diversidad genética también se han utilizado funciones de producción (FP), mediante las cuales se evalúa el efecto de los cambios en las propiedades de los bienes (p.e. un cultivo) sobre el rendimiento y producción.

Por otro lado, los métodos de preferencias declaradas se basan en la colección de información referente a las preferencias de los consumidores sobre bienes sin mercado, esto a partir de encuestas diseñadas para simular un mercado. Este instrumento indaga sobre la cantidad máxima que estarían dispuestos a pagar (DAP) por un cambio favorable en los atributos de cantidad, calidad, o tiempo de flujo del bien o servicio ambiental valorado, o bien, la cantidad mínima que estaría dispuesto a aceptar (DAA) porque el cambio favorable no se lleve a cabo, así como su DAP para evitar un cambio desfavorable. Esta metodología es conocida como método de valoración contingente (MVC) y se ha extendido al diseño de experimentos de elección (MEE), que buscan capturar las preferencias, a partir de diversos escenarios que toman como base una situación inicial o *estatus quo* y cambios en los atributos ambientales en función de intervenir o no intervenir. El MVC es aplicable para todos los niveles de valor de biodiversidad, siempre y cuando el entrevistado este informado sobre el bien o servicio a valorar.

Figura 29. Métodos de Valoración Económica



Fuente: adaptado de Ministerio del Ambiente (2016). Guía de valoración del patrimonio natural. Ministerio del ambiente, Perú. 2ª. Ed. Pág. 30.

VALORACIÓN RECURSOS GENÉTICOS

En la Tabla 7, se presenta un resumen de la viabilidad de implementar estos métodos para valorar la biodiversidad.

Tabla 7. Métodos viables de valoración económica de la biodiversidad.

Nivel de biodiversidad	Beneficios de la biodiversidad	Métodos viables para valorar
Diversidad genética y especies	Insumos para procesos de producción (farmacéuticos y agropecuarios)	MVC, C, PH, ABS, EE
Áreas naturales protegidas y diversidad de paisaje	Provisión de hábitat natural (áreas silvestres y de recreación)	MVC, CV, FP, EE
Funciones ecosistémicas y flujo de servicios ecológicos	Valores ecológicos (Control de inundaciones, generación de nutrientes, retención de toxico y mantenimiento de la biodiversidad)	PH, FP, CE, EE
Conservación de la biodiversidad	Valor de existencia o moral (protección de especies en peligro de extinción)	MVC, EE

Fuente: adaptado de Nunes y van der Bergh, 2001. Nota: Método de Valoración Contingente (MVC); Contrato (C); Precios hedónicos (PH); Mecanismo de Acceso y Participación de Beneficios (ABS por sus siglas en inglés); Costo de Viaje (CV); Función de Producción (FP); Costos Evitados (CE); Experimentos de Elección (EE).

Usos directos de recursos biológicos en Baja California Sur

En el caso de Baja California Sur, recientemente ha surgido el interés por parte del sector académico por valorar los bienes y servicios ambientales que derivan de la biodiversidad marina; tal es el caso para los sitios Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo y Parque Nacional Bahía de Loreto (Hernández-Trejo *et al.*, 2012). Otro estudio de valoración está dirigido a la conservación de áreas prioritarias por su importancia en biodiversidad y endemismos, dentro de la Reserva de la Biosfera

Sierra de la Laguna, la cual brinda el servicio hidrológico de protección y provisión de agua mediante la recarga de acuíferos en las regiones de La Paz y Los Cabos (Sánchez-Brito *et al.*, 2013). Asimismo, se tiene evidencia de valoración económica de recursos minerales en la parte central de Baja California Sur (Beltrán *et al.*, 2005); además, se ha estimado el valor económico del servicio de provisión de agua en la Reserva de la Biosfera de Vizcaino y el acuífero de La Paz (Avilés-Polanco *et al.*, 2010; Almendarez-Hernández *et al.*, 2013). Para el caso de estudios enfocados en la valoración de la biodiversidad, se ha empleado el método de CV (Hernández-Trejo *et al.*, 2012), mientras que para estimar el valor se conservación del servicio hidrológico se utilizó el MVC (Avilés-Polanco *et al.*, 2010; Almendarez-Hernández *et al.*, 2013).

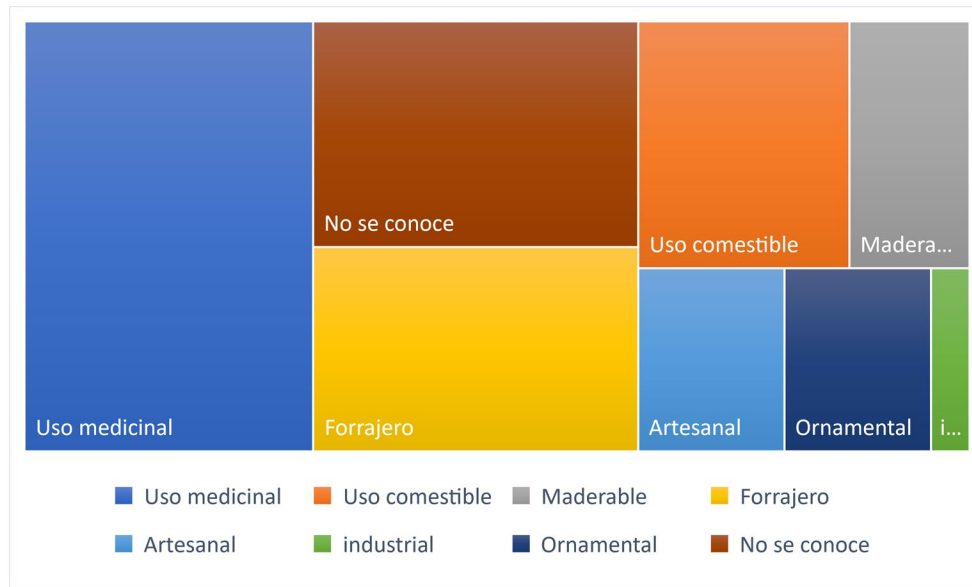
De la revisión realizada para este trabajo, a nivel de especies, se encontró que la flora del Estado presenta distintos usos. El mayor de ellos es la medicina tradicional, donde se reconocen 88 especies con esta aplicación, 47 especies se utilizan para forraje silvestre de ganado bovino y caprino, 37 son comestibles, 21 especies se aprovechan como madera rustica en localidades rurales, y 5 presentan un uso industrial para teñir o ablandar pieles (figura 30).

En relación con el uso por parte de las comunidades rurales de Baja California Sur, destaca el aprovechamiento de la flora dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna (Pío-León *et al.*, 2018). En ella, es frecuente el empleo de infusiones o ingesta de té con fines medicinales, utilizando particularmente siete especies: anís de la sierra (*Tagetes filifolia*), palo de brasil (*Haematoxylum brasiletto*), cerezo (*Prunus serotina* subsp. *virens*), confiturilla (*Lantana velutina*), damiana negra (*Turnera diffusa* var. *aphrodisiaca*), helecho peyote (*Pellaea ternifolia* subsp. *brandegeei*) y hierba del venado (*Platymiscium gracile*; Pío-León *et al.*, 2018). Por su parte, Dimayuga (1996) reporta 39 especies de flora con propiedades medicinales, mismas que son empleadas por las comunidades de la entidad para aliviar dolor, tos, fiebre, gripe, heridas, picaduras de insectos y mordeduras de víboras, así como cálculos renales, presión arterial e inflamación,

entre otras. Asimismo, se reportan mezclas de flora con fauna para tratar malestares y enfermedades.

Otro aspecto relevante en términos de valoración económica es la identificación del potencial de comercialización de la planta Golondrina *Euphorbia polycarpa* asociada a conocimientos tradicionales para uso cosmético mediante el método de preferencias declaradas MEE (Avilés-Polanco *et al.*, 2021). La identificación de preferencias por este tipo de cosméticos por parte de los consumidores constituye una línea de investigación en Baja California Sur, considerando que de las 53 especies endémicas de flora que se presentan en el Estado, 10 cuentan con registro de uso medicinal: chuchupate (*Arracacia brandegeei*), ciruelo silvestre (*Cyrtocarpa edulis*), datilillo (*Yucca valida*), golondrina (*Chamaesyce polycarpa*), hierba del cuervo (*Schaefferia pilosa*), hierba del indio (*Aristolochia monticola*), hierba del manso (*Anemopsis californica*), lomboy rojo (*Jatropha vernicosa*), madroño (*Arbutus peninsularis*) y melón de coyote (*Ibervillea sonora*; Dimayuga, 1996). Lo anterior es relevante ya que para algunos valores de uso existen precios de mercado; sin embargo, en especies de flora endémica con registros de aplicación de medicina tradicional también existe potencial en investigación sobre propiedades o sustancias activas con aplicación medicinal. Por lo tanto, de acuerdo con la revisión de métodos de valoración para valores de uso directo, el método de mayor viabilidad para dicho escenario sería el de contratos ABS con la industria farmacéutica, ello en el marco del Protocolo de Nagoya. Finalmente, también se identificó el aprovechamiento de fauna terrestre y marina por parte de comunidades rurales dentro del Estado, donde 17 especies son terrestres y 14 marinas.

Figura 30. Usos de flora de Baja California Sur.



Fuente: elaboración propia con datos de Dimayuga, 1996; León de la Luz *et al.*, 2015; Pío-León *et al.*, 2018.

Conclusiones

Existen esfuerzos por parte de la comunidad científica por valorar económicamente los usos y no usos de la biodiversidad en Baja California Sur. No obstante, aún no se han explorado métodos basados en contratos de acceso y participación de beneficios para las comunidades rurales por el uso de los conocimientos tradicionales asociados a los recursos genéticos con propósitos de comercialización. De acuerdo con la revisión de los estudios realizados por el sector académico, existe un gran potencial para el desarrollo de las comunidades rurales mediante este tipo de instrumentos. Una línea de investigación que surge a partir de este trabajo es identificar la disposición y preferencias de estas comunidades para transmitir el conocimiento tradicional y bajo qué escenarios estarían dispuestos

negociar la participación de beneficios, es decir, en términos monetarios, no monetarios (donaciones en especie), participación de un porcentaje de regalías y/o transferencia tecnológica a partir de capacitación sobre el aprovechamiento de estos recursos, así como recursos para la conservación.

Importancia social

Este trabajo contribuye socialmente mediante la revisión y prospección del potencial uso de recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales en Baja California Sur, ofreciendo una breve reseña sobre los principales métodos de preferencias reveladas y declaradas para la valoración económica de los recursos naturales dentro del marco del Protocolo de Nagoya.

Perspectivas

El desarrollo de nuevos productos elaborados con base en recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales requiere de investigación biotecnológica y económica para identificar la eficacia, seguridad y preferencias de consumidores potenciales. Dichos esfuerzos de investigación requieren del acompañamiento de Oficinas de Transferencia de Tecnología como responsable de la medición de la madurez de la tecnología desarrollada, así como del cumplimiento del Protocolo de Nagoya.

Literatura citada

Almendarez-Hernández, M.A., L. Jaramillo Mosqueira, G. Avilés-Polanco et al., 2013. Economic valuation of water in a natural protected area of emerging

- economy: recommendations for El Vizcaíno Biosfera Reserve, México. *Interciencia* 38(4):245-252.
- Arrow, K., B. Bolin, R. Constanza et al., 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science* 4:13-28.
- Avilés-Polanco, G., Almendarez-Hernández, M.A, Beltrán-Morales, L.F.; Serrano-Fraire, I.; Ortega-Rubio A., 2021. Consumer Preferences for Labeled Plant-Based Products Associated with Traditional Knowledge: A Study in Protected Natural Areas of Northwest Mexico. *Land*, 10, 412.
- Avilés-Polanco, G., J.D. Jefferson, M.A. Almendarez-Hernández y L.F. Beltrán-Morales., 2019. Factors that explain the utilization of the Nagoya Protocol Framework for access and benefit sharing. *Sustainability* 11(20):1-18.
- Avilés-Polanco, G., L. Huato Soberanis, E. Troyo-Diéguez et al., 2010. Valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de La Paz, B.C.S: una valoración contingente del uso de agua municipal. *Frontera Norte* 22(43):103-128.
- Beltrán, L.F., V. Sevilla, M. Blázquez et al., 2005. Valoración socioambiental de los recursos naturales: el caso de los recursos minerales en la parte central de Baja California Sur, México. *Investigaciones Geográficas* 57:81-94.
- Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot et al., 1998. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics* 25:1-15.
- De Valck, J. y J. Rolfe., 2019. Comparing biodiversity valuation approaches for the sustainable management of Great Barrier Reef, Australia. *Ecosystem Services* 35:23-31.
- Dimayuga, R.E., 1996. Medicina tradicional y popular de Baja California Sur. Universidad Autónoma de Baja California Sur/Secretaría de Educación Pública, Baja California Sur.
- Hernández-Trejo, V., G. Avilés-Polanco y M.A. Almendarez-Hernández., 2012. Beneficios económicos de los servicios provisto por la biodiversidad acuática del Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo. *Estudios sociales*, Vol. 20, Núm. 40, 157-177.
- León de la Luz, J.L., R. Domínguez Cadena, M. Domínguez León y R.C. Coria Benet., 2015. Flora iconográfica de Baja California Sur. Centro Investigaciones Biológicas del Noroeste, México.
- Ministerio del Ambiente Perú (2016). Guía de valoración del patrimonio natural. Ministerio del ambiente, Perú. 2ª. Ed.

VALORACIÓN RECURSOS GENÉTICOS

- Nunes, P. y J. van den Bergh., 2001. Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense? *Ecological Economics* 39:203-222.
- Pío-León, J.F., A. Nieto-Garibay, J.L. León-de la Luz et al., 2018. Plantas silvestres consumidas como té recreativos por grupos de rancheros en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 123:7-19.
- Sánchez-Brito, I., A. Almendarez, M.V. Morales y C.A. Salinas., 2013. Valor de existencia del servicio ecosistémico hidrológico en la Reserva de la biosfera Sierra de La Laguna, Baja California Sur, México. *Frontera Norte* 25(50):97-129.
- Vásquez-Lavin, F., A. Cerda Urrutia y S. Orrego Suaza., 2007. Valoración económica del ambiente. Thomson Learning, Argentina.
- Wilson, E.O., 1988. The current state of biological diversity. En: *Biodiversity*. E.O. Wilson (ed.). National Academy Press, Washington.
- Wilson, E.O., 1994. The fundamental unit. En: *The diversity of life*. Penguin Group, Reino Unido, pp. 33-46.
- WIPO. World Intellectual Property Organization, 2019. Traditional knowledge. En: <https://www.wipo.int/tk/en/tk/>, última consulta: febrero de 2020.

Para citar esta obra:

Avilés-Polanco, G., L. F. Beltrán-Morales* y A. Ortega-Rubio. 2025. Valoración económica de recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales en Baja California Sur, México. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 175-190). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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

zamorano04@cibnor.mx

Resumen

Los manglares están considerados entre los ecosistemas más importantes de la Tierra debido a su alta productividad y amplia gama de servicios ecosistémicos (SE). El objetivo de este capítulo fue analizar las contribuciones de los manglares del noroeste de México a partir sus servicios culturales (SEC) y de regulación y mantenimiento (SERM), asimismo se identificaron los principales factores de riesgo. Para ello, se realizó una revisión documental y un análisis geoespacial empleando diferentes bases de datos.

Los manglares del noroeste de México, constituyen el límite de distribución mundial en el Pacífico Nororiental donde confluyen manglares de clima subhúmedo tropical y árido subtropical. Se identificaron tres categorías de SEC: 1) Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y la educación; 2) Patrimonio cultural, experiencia espiritual y sentido de pertenencia; y 3) Recreación, Salud y Turismo; y tres de SERM: 1) Regulación climática global, 2) Estabilización y protección costera y 3) Regulación de nutrientes y biorremediación de contaminantes. Las contribuciones en el bienestar comunitario impactan en la seguridad y sanidad alimentaria, economía, salud, contexto sociocultural, seguridad y protección ante amenazas climáticas. Las contribuciones en la naturaleza influyen en la salud de la

biodiversidad, calidad del agua en ambientes lagunares y oceánicos adyacentes, en la calidad de la atmósfera y la regulación climática local y global. Los factores de riesgo estuvieron asociados al cambio climático y a la influencia humana. Se sugiere establecer una red de monitoreo permanente, considerando la variabilidad espacio temporal, diferentes configuraciones geomorfológicas y métodos estandarizados; reforzando las líneas de: 1) regulación climática con reservas de carbono profundas, 2) riesgo por contaminación y efectos en la salud y 3) riesgo, vulnerabilidad y estrategias de mitigación ante el cambio climático.

Palabras clave: manglares áridos, servicios ecosistémicos, noroeste de México, humedales, manejo costero, cambio climático.

Abstract

Mangroves are considered among the most important ecosystems on Earth because of their high productivity and wide range of ecosystem services (ES) that contribute to human well-being and the health of the natural system. The objective of this chapter was to analyze the contributions of mangroves in northwestern Mexico, based on cultural services (CES) and regulation and support services (SERM), as well to identify the main risk factors. For this purpose, a documentary review was carried out, as well as a geospatial analysis using different databases.

The mangroves of northwestern Mexico constitute the limit of the global distribution in the northeastern Pacific, where mangroves of subhumid-tropical and arid-subtropical climates converge. Three categories of CES were identified: 1) Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and education; 2) Cultural heritage, spiritual experience and sense of belonging and 3) Recreation, health and tourism; and three SERM: 1) Global climate regulation, 2) Coastal stabilization and protection and 3) Nutrient regulation and bioremediation of pollutants. Contributions to community well-being impact food security and sanitation, economy, health, socio-

cultural context, safety and protection from climate hazards. Contributions in nature influence the health of biodiversity, water quality in adjacent lagoon and oceanic environments, atmospheric quality and global climate regulation. The risk factors identified were associated with climate change and human influence. It is suggested to establish a permanent regional monitoring network considering different geomorphological configurations, spatial-temporal variability and standardized methods; reinforcing the lines of: 1) climate regulation with deep blue carbon stocks, 2) pollution risk and health effects, and 3) risk, vulnerability and climate change mitigation strategies.

Keywords: arid mangroves, ecosystem services, northwestern Mexico, wetlands, coastal management, climate change.

Introducción

Los manglares están considerados entre los ecosistemas más importantes de la Tierra (FAO 2023). Su importancia ecológica, económica y social ha sido ampliamente documentada, ya que brindan diversos servicios ecosistémicos (SE) esenciales para el bienestar humano y de la naturaleza. Se identifican tres grupos: 1) Aprovechamiento: principalmente de alimentos procedentes de la pesca, combustibles y fibra, 2) Regulación y mantenimiento: como la regulación climática global y local, estabilización y protección de la costa y mejoramiento de cuerpos de agua adyacentes a través de la remoción de nutrientes y contaminantes; y 3) Culturales: como los servicios de recreación, educación, o de valor espiritual y paisajístico (Nagelkerken et al. 2008, UNEP 2014, Friess et al. 2020).

México es el cuarto país con mayor extensión de manglar (905,086 ha). La región noroeste representa la segunda más importante del país, con una extensión de 181,036 ha (CONABIO 2022). Constituye el límite septentrional de distribución mundial en el Pacífico Nororiental y representa una zona de transición donde

CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES

convergen manglares tropicales de relevancia nacional, como la Reserva de la Biósfera “Marismas Nacionales” en Nayarit; así como el 98 % de los manglares más áridos del continente americano (Beck et al. 2018, Bunting et al. 2018). Estos últimos son raros, son poco representados en las evaluaciones globales y altamente sensibles al impacto antrópico o natural. Los ambientes geomorfológicos en los que se desarrollan los manglares son diversos y en ocasiones únicos (Ruiz-Luna et al. 2010, González-Zamorano 2012, González-Zamorano 2013, Ezcurra et al. 2016, Adame et al. 2021). A pesar de su importancia, se ha reportado la pérdida del 8.5 % de su extensión (1970-2020), ocasionadas principalmente por actividades antrópicas (Thomas et al. 2017, Goldberg et al. 2020, CONABIO 2022,). Un componente de afectación adicional es el cambio climático, donde los manglares están considerados entre los más vulnerables del mundo (IPCC 2023); un tema relevante si se considera que el 30 % de la población en México se concentra en la zona costera (Martínez et al. 2007).

Las investigaciones realizadas de los SE de los manglares del noroeste de México, son relevantes para la comprensión y valoración de estos ecosistemas, fundamentales para el establecimiento de estrategias de conservación, rehabilitación y de manejo ante el impacto antrópico y del cambio climático. Si bien, actualmente existen diferentes investigaciones acerca de los SE en la región, los SE culturales de los manglares son muy poco abordados debido a que frecuentemente son intangibles (Queiroz et al. 2017). En contraste los SE de aprovisionamiento y de regulación y mantenimiento son más estudiados, pero dentro de éstos últimos han surgido nuevas investigaciones como la biorremediación de contaminantes emergentes (Hossain et al. 2022). Asimismo, los tipos de SE frecuentemente son generalizados y comprender que diferentes tipos de ambientes podrían proveer diferentes tipos de servicios coadyuvaría a establecer estrategias de manejo y conservación específicas o bien establecer medidas de mitigación ante el cambio climático (Thom 1984, Woodroffe 1992, Ewel et al. 1998). Finalmente, contar con mayor información de los manglares del noroeste de México

coadyuvaría a valorar, identificar y diferenciar los SE que éstos brindan y reconocer la contribución de éstos en el bienestar comunitario.

En este trabajo se presentan las contribuciones de los manglares del noroeste de México a partir de los servicios ecosistémicos culturales (SEC) y de regulación y mantenimiento (SERM). Asimismo, se detectan algunos factores de riesgo para orientar los esfuerzos de investigación, conservación y manejo. Para ello, se realizó una revisión y análisis documental, para la caracterización del área de estudio se realizó un análisis geoespacial empleando diferentes fuentes cartográficas y tabulares bajo la plataforma del programa *QGIS Madeira* (QGIS.org, 2024).

Área de estudio

Dimensión física:

El litoral del noroeste, conformado por los estados de Baja California (BC), Baja California Sur (BCS), Sonora (Son.), Sinaloa (Sin.) y Nayarit (Nay.), es el más extenso del país (5,751 km, 52 %), incluye el 50 % de lagunas costeras (Lankford 1977) (Fig. 1). La topografía puede variar de formaciones abruptas con acantilados y costas rocosas o mixtas; a zonas con pendiente plana o suaves con costas arenosas. El clima al sur de Sinaloa y Nayarit es tropical de tipo subhúmedo cálido (Aw) con precipitación total anual de 600 a 1500 mm; el resto de la región presenta clima subtropical de tipo muy árido (Bw) o árido-semiárido (Bs) con precipitación <600 mm (Fig. 31a) (García y CONABIO 1998).

Dimensión ecológica:

A nivel de paisaje se identifican tres patrones de distribución y abundancia (Fig. 1a): 1) los manglares más extensos (174,529 ha) y continuos, desarrollados en llanuras deltaicas como el Delta del Río Grande y Santiago, Sin.-Nay. (71,465 ha, 39.5 %), Deltas de Sonora y Sinaloa (71,231 ha, 39.3 %), Llanos de Magdalena, BCS (21,655 ha, 12 %) y Llanura de Mazatlán (10,178 ha, 5.6 %); con franjas paralelas a la costa de ~1 a 3.5 km de ancho; 2) manglares de extensión media (3,552 has) y distribución moderadamente discontinua en franjas estrechas (0.3 - 1 km), ubicados en el desierto de San Sebastián Vizcaíno, BCS, y 3) numerosos manglares pequeños con distribución altamente discontinua (2,986 ha), conformando franjas muy estrechas ≤ 0.5 km asociados a lomeríos o bajadas de sierras en la costa oriental de BC, BCS y norte de Sonora (González-Zamorano 2012, CONABIO 2021).

Las especies son: *Avicennia germinans* (L.) Stearn, *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaert, F. y *Conocarpus erectus* (L.), las cuales conforman bosques y matorrales mixtos o monoespecíficos (Flores-Verdugo et al. 1992, Whitmore et al. 2005, Torres et al. 2022).

La estructura forestal en Sinaloa y Nayarit (clima tropical) presentan árboles de hasta 15 m de altura y matorrales de 3 a 5 m; en BC, BCS, Sonora y Sinaloa (clima árido) predominan arbustos chaparros de 0.5 a 4 m de altura y árboles de hasta 7 m.

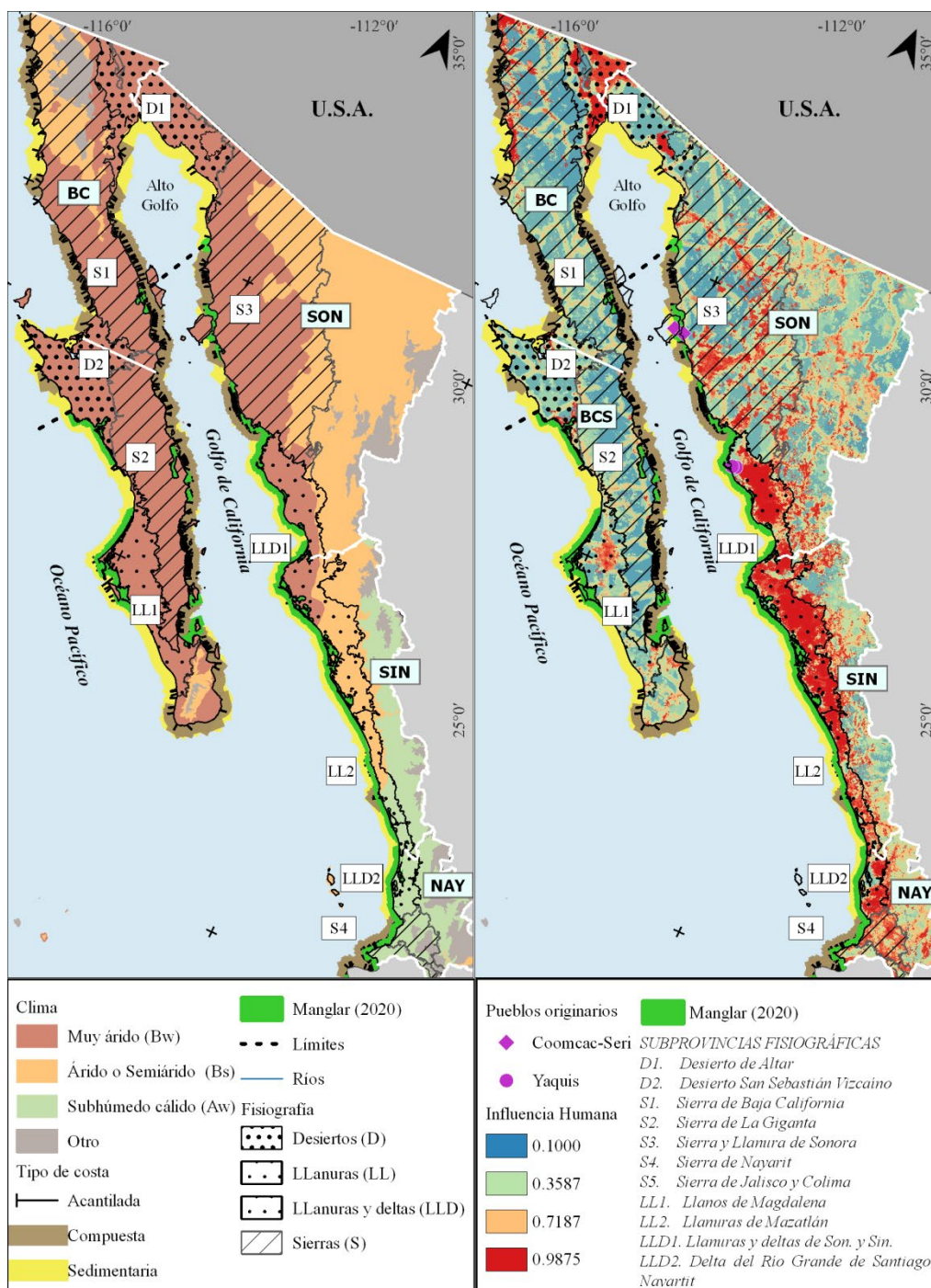


Figura 1. Izquierda (1a): Distribución de manglar en el noroeste de México, clima, tipo de costa y subprovincias fisiográficas. Derecha (1b): Índice de Influencia Humana (IHI) y pueblos originarios. Elaboró: González-Zamorano P. Fuentes: García y CONABIO 1998, INEGI 2001, Coll-Hurtado 2007, CONABIO 2019, 2021.

Dimensión socioeconómica:

La población asociada a la zona costera (<200 m), dentro de los límites de distribución latitudinal del manglar asciende a ~4,660,419 habs. (CONABIO 1990, 2012, 2021). La mayor concentración ocurre en Sinaloa (56 %) y Sonora (22 %), mientras que en BCS (12 %), Nayarit (10 %) y BC (<1 %) la población es menor. Las principales actividades productivas son la pesca, agroindustria, ganadería y turismo. La acuicultura es relevante en Sinaloa y Sonora; y la minería se desarrolla en Sonora y BCS. La región representa el 11 % del PIB nacional, en particular Sinaloa registra el mayor promedio anual de crecimiento económico (3.9 % en el 2022) (Becerril 2023).

De acuerdo al Índice de Influencia Humana (IIH = 0 a 1) (CONABIO 2019), la afectación humana promedio en las Llanuras y Deltas de Sonora y Sinaloa, Llanura Costera de Mazatlán, Sinaloa y en el Delta del Río Grande de Santiago, Nayarit es alta (0.8); mientras que en los Llanos de Magdalena, BCS, Desierto de San Sebastián Vizcaíno, BCS y en las bajadas de sierras y lomeríos de BCS y Sonora es de moderada a baja (≤ 0.4) (Fig. 1b)

Resultados

Servicios Ecosistémicos Culturales

Los SEC se definen como *“beneficios no materiales derivados de los ecosistemas y abordan aspectos relacionados con las creencias, valores, identidades y experiencias estéticas de las comunidades humanas”* (Hirons et al. 2016). Estos incluyen inspiración estética, identidad cultural, sentido de pertenencia, turismo, recreación, investigación, experiencias espirituales conexas con el entorno natural y patrimonio cultural (MEA 2005). La comprensión de los SEC puede ser desafiante

y difícil de estimar, pero sin duda fundamental para el bienestar humano (UNEP 2014).

1.1. Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y la educación

La apreciación de los manglares a mediados del siglo XX ha originado opiniones divergentes. Un ejemplo de esta dicotomía se evidencia en las palabras de Steinbeck (1941) durante su visita a La Paz, BCS, donde mencionó que la *"combinación de mal olor y la impenetrabilidad de las raíces de los mangles generaba aversión a estos lugares"*. En contraste, Jordán (1951) describió a Bahía Magdalena, BCS, como: *"el litoral se ve de un bello color verde, de esmeralda, que le da la línea cerrada de los manglares"*.

En los últimos años se ha reconocido el valor paisajístico de los manglares. En las redes sociales se exhiben fotografías de habitantes y visitantes con el fondo escénico de manglares, en Áreas Naturales Protegidas (ANP), como Balandra (BCS), Bahía de Los Ángeles (BC), El Soldado (Sonora) y Marismas Nacionales (Nayarit). La interconexión entre arte-cultura se manifiesta en las tres ediciones del "Festival del Manglar" (2020-2023) llevadas a cabo en La Paz, BCS. Durante estos eventos, se destaca la exhibición de murales-exposiciones, entre otras actividades culturales. El uso de murales inspirados en los manglares han sido una estrategia importante en temas de educación ambiental.

1.2. Patrimonio cultural, experiencia espiritual y sentido de pertenencia

El concepto patrimonio cultural no se limita únicamente a monumentos arquitectónicos, obras de arte y objetos antiguos; incluye también celebraciones, saberes, sistemas de significado, destrezas y formas de expresión simbólica (Bonfil-

Batalla 2004). Considerando lo anterior, en los manglares es posible encontrar ejemplos de SEC de tipo patrimonio cultural. Un ejemplo son los “concheros”, éstos son depósitos de conchas de moluscos de diferentes especies, los cuales aportan información sobre las costumbres de los pobladores durante la época prehispánica (Rosales-López y Sánchez-García 2018). Grave-Tirado (2010) comenta que en la Pirámide “El Calón”, en las inmediaciones de laguna “Agua Grande”, Sinaloa se realizaban rituales vinculados a la fertilidad, no enfocados en la tierra, sino dirigidos a las aguas salobres de la laguna. Otro caso es el conchero del manglar “El Conchalito” en La Paz, BCS, donde se utilizaron conchas como ofrendas.

Un caso sobre experiencia espiritual se observa en Isla Tiburón, Sonora (incluida en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO). Donde los indígenas Comca'ac (seris) consideran a la isla, incluyendo los manglares, como territorio sagrado (Luque-Agraz y Doode-Matsumoto 2009). De acuerdo con Alberto Mellado, (conservacionista Comca'ac) *“La gente corría hacia dentro de los manglares porque los disparos de los arcabuces españoles impactaban en la madera y no alcanzaban sus cuerpos, era una manera de escapar”. “No todos lo conseguían, pero nuestros antepasados se salvaron de esa forma y de ahí venimos nosotros”* (Arellano 2022). Con relación al sentido de pertenencia, hay numerosos ejemplos, la Misión de Nuestra Señora de Loreto Conchó en ciudad de Loreto, BCS emplea el vocablo *conchó*, de la lengua Monqui que significa “mangle colorado”, el cual se utilizaba para designar al asentamiento indígena de esta zona.

1.3. Recreación, Salud y Turismo

Las zonas costeras han sido utilizadas para el desarrollo de diversas actividades lúdicas realizadas con el objetivo de ocio, descanso y mejoramiento del estado de salud física y emocional (Morales-Zarate et al. 2019). En este sentido, los residentes locales utilizan estos sitios en búsqueda de sombra, descanso, actividades físicas como caminata, pesca de orilla y consumo de alimentos (Ávila-Flores 2021). En el ANP Estatal “Estero El Soldado”, ubicado a 12 km de Guaymas, Son., se desarrollan

diversas actividades recreativas alrededor del manglar, como caminata, ciclismo de montaña, kayak y senderismo, siendo este sitio visitado principalmente por habitantes locales (CEDES 2023)

De acuerdo con Lauterio-Martínez et al. (2016) algunas actividades recreativas realizadas en manglares son: avistamiento de aves, ciclismo, senderismo, pesca de orilla y observación de flora y fauna. Si bien, algunas de estas actividades pueden ser consideradas como recreativas, al ser realizadas por turistas, también implican una derrama económica derivada de los gastos de alojamiento, alimentos, transportes, pago de derechos y de las actividades turísticas. En los manglares de La Tovar, Municipio de San Blas, Nayarit se realizan diversas actividades ecoturísticas, en donde destaca el paseo en lancha donde se pueden observar aves, cocodrilos y la vegetación circundante. De acuerdo con Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas (2005) el sitio generó ganancias netas de ~265 mil dólares al año.

1. Servicios ecosistémicos de regulación y mantenimiento

Los SERM son el resultado de la interacción de procesos ecológicos, biológicos y ciclos biogeoquímicos en diferentes escalas; ejemplo de ello son: la regulación climática, estabilización y protección costera, así como el mejoramiento de la calidad del agua mediante la remoción de contaminantes y nutrientes que pueden causar desequilibrio en los ecosistemas (Hernández-Félix et al. 2017, Friess et al. 2020)

1.1 Regulación climática global

Los manglares son reconocidos como ecosistemas de carbono azul (CA) debido a su alto potencial para capturar y secuestrar de la atmósfera dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero; de ahí su relevancia para reducir los efectos del cambio climático. En consecuencia, la restauración y conservación de estos ecosistemas es una estrategia internacional a largo plazo,

CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES

tal como se establece en el Acuerdo de París, del que México forma parte (Lovelock y Duarte 2019, UNFCCC-2022). Las emisiones de CO₂ (1981-2015) generadas por la deforestación de manglar en México han disminuido, no así las generadas por degradación; las mayores emisiones se produjeron en la Península de Yucatán y en la región del Pacífico Sur (Adame 2018)

El carbono de la biomasa aérea (hojarasca, leña, material muerto) tiene diferentes destinos. Una parte de este carbono queda almacenada de manera subterránea (CS) por largos periodos de tiempo bajo condiciones anóxicas (baja descomposición), a este proceso se le llama secuestro de carbono (carbono azul). Otros destinos son la transferencia a tramas tróficas detritívoras a través del detritus dentro del sistema de manglar o la exportación como carbono orgánico disuelto o particulado a sistemas adyacentes. La vía que toma el carbono depende de procesos biogeoquímicos/microbiológicos del suelo, la dinámica hidrológica, la geomorfología y el grado de impacto antrópico (Ochoa-Gómez et al. 2019).

La región noroeste, constituye la segunda reserva de carbono total (aéreo y subterráneo con profundidad $\leq 1\text{m}$) en México (49 Tg C); la primera reserva se encuentra en la Península de Yucatán (221 Tg C), el mayor porcentaje es almacenado en suelos (Adame et al. 2018). Los estudios de reservas profundas ($\geq 1\text{ m}$) en la región noroeste, ponen en evidencia que los manglares áridos en Bahía Magdalena BCS y Balandra, BCS han acumulado turba por un periodo de $\sim 2,000$ años, con valores promedio de $1,130 \pm 128\text{ Mg C ha}^{-1}$, mayores a los observados en manglares de clima subhúmedo (con mayor desarrollo estructural) ubicados en Marismas Nacionales, Nayarit, con valores promedio de 300 Mg C ha^{-1} , $\leq 1.6\text{ m}$ (Ezcurra et al. 2016). Las reservas promedio de CS (profundidad $\leq 0.5\text{ m}$), muestran un patrón similar; los manglares áridos de BCS (122 Mg C ha^{-1}) y Sonora (122 Mg C ha^{-1}) muestran valores ligeramente mayores a los de Sinaloa (119 Mg C ha^{-1}) (Ochoa et al. 2020, Torres et al. 2023); en Nayarit se han reportado valores muy bajos, de 36 Mg C ha^{-1} ($\leq 20\text{ cm}$) en San Blas-Laguna de Mexcaltitlán (Agraz-Hernández et al. 2020).

Se evidencio que, los manglares con reservorios extremadamente altos de carbono azul (Ezcurra et al. 2016, Adame et al. 2018), como Balandra en BCS (o los petenes en la Península de Yucatán), se desarrollan en configuraciones carbonatadas, donde los procesos dominantes, responsables del transporte y depositación del sedimento son la marea y el oleaje (Thom 1984, Woodroffe 1992); mientras que manglares desarrollados en configuraciones terrígenas, con predominancia de procesos fluviales, como las llanuras deltaicas de Sinaloa y Nayarit (Agraz-Hernández et al. 2020, Ochoa et al. 2020) presentan valores de carbono menores, sin embargo, hay que destacar que éstos también son importantes exportadores de carbono y otros nutrientes a los cuerpos de agua adyacentes. Otro factor de variación en los valores de carbono es el grado de influencia humana, manglares con menor grado de influencia presentan mayores reservas de carbono que aquellos con mayor grado de influencia humana y degradación.

En este sentido, se sugiere establecer líneas de investigación que consideren tanto el tipo de configuración geomorfológica como el grado de influencia humana o deterioro de los manglares.

2. Estabilización y protección costera

La estructura y fisonomía de los manglares, en particular el sistema de raíces (denso y profundo), ayudan a reducir la erosión y estabilización de la costa, reducen la velocidad del flujo de agua, fomentan el depósito, acumulación y aglutinación de sedimentos (acreción), así como la formación de suelo (Friess et al. 2020, Del Valle et al. 2023). Asimismo, constituyen una barrera de protección natural a las comunidades e infraestructura costera, ya que absorben el impacto del viento y del oleaje de tormenta; mitigan la erosión, y reducen la inundación marina, durante tormentas y huracanes (World Bank 2016, Friess et al. 2020). Se ha reportado, que la altura de las olas disminuye del 13 al 66 % cuando existen franjas de manglar de

CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES

100 m de ancho o más, y del 50 al 100 % si las franjas son ≥ 500 m. Asimismo, los niveles máximos de agua por inundación se reducen entre 5 y 50 cm cuando las franjas son ≥ 1 km, lo que significa una gran diferencia en daños a la propiedad y pérdidas de vida (World Bank 2016). Se estima que sin los manglares, 18 millones de personas sufrirían el impacto por inundación; y con su protección, Vietnam, China, Filipinas, Estados Unidos y México ahorran 57,000 millones de dólares en daños a la propiedad (World Bank 2016).

Se reconoce que el principal factor de cambio de los ambientes costeros es la variabilidad climática en sus diferentes escalas espacio-temporales, es. En el corto plazo, las tormentas y huracanes modifican el patrón de oleaje (energía y dirección), corrientes litorales, así como la cantidad y variabilidad de sedimentos descargados al litoral por ríos y arroyos; por lo que la interacción de estos tres factores determina el avance o retroceso de la línea de costa en las que se desarrollan los manglares (Nava et al. 2012, Herrera-Silveira et al. 2022). En la región noroeste, la mayor incidencia e intensidad de huracanes (1970-2010) se presentó en BCS (36) y Sinaloa (29), por lo que se esperaría mayor afectación costera en estos estados; a diferencia de Sonora (10), BC (3) y Nayarit (2), donde la incidencia fue menor (Farfán et al. 2014, González-Rodríguez et al. 2021). Estos procesos se verán intensificados debido al incremento de la frecuencia e intensidad de huracanes, generado por el cambio climático, alterando los patrones de sedimentación, erosión y subsidencia, así como la distribución, ampliación o desaparición de ambientes costeros (Nava et al. 2012, Del Valle et al. 2020).

Otro factor de cambio, son las actividades humanas. En playa Las Glorias, al sur de la laguna de Macapule, Sinaloa, se han reportado procesos de erosión y acreción debido a obras civiles, con pérdida de áreas ≥ 300 m (Jiménez-Illescas et al. 2019). Asimismo, la erosión costera en conjunto con la reducción de aporte sedimentario terrígeno acelera los procesos de sobrelavado, cambios en el perfil de playas y procesos de migración de islotes y barreras (Escobar 2002, Herrera-

Silveira et al. 2022), como se ha observado en manglares de la laguna Santa María-La Reforma, Sinaloa (Manzano-Sarabia et al. 2019).

Actualmente, existe evidencia de que el cambio climático está induciendo cambios en los procesos costeros y que estos pueden constituir una amenaza para los ecosistemas costeros, como los manglares y para las comunidades adyacentes. Los procesos más importantes son el ascenso al nivel medio del mar, incremento de la erosión costera y variaciones de descargas de sedimento al litoral; a su vez estos pueden generar o modificar otros procesos (Nava et al. 2012). De acuerdo a la evaluación de vulnerabilidad y riesgo en la zona costera Mexicana propuesto por Nava et al. (2012), el nivel más alto de impacto asociado al ascenso del nivel medio del mar y cambio climático (inundación marina, retroceso de la línea de costa y erosión costera durante sequías) se presentará en la Planicie Costera del Golfo de California (norte de San Felipe BC, Sonora, Sinaloa y Nayarit), donde el grado de influencia humana es alto y se ubica aproximadamente el 90 % de la población, así como actividades económicas como la acuacultura y la agricultura (INEGI 2019, Becerril 2023). Si bien, esta zona están protegidas por extensos manglares (152,875 ha, 85 %) (CONABIO 2021) la integridad ecológica es moderada (CONABIO 2019, Equihua et al. 2021) afectando posiblemente la capacidad adaptativa del manglar y por ende la calidad del SE de estabilización y protección costera.

Por el contrario, la costa de la Península de Baja California (BC, BCS), el impacto de peligros asociados al incremento del nivel medio del mar y cambio climático es bajo o muy bajo, exceptuando el flujo de escombros y flujos aluviales, que presenta valores altos en la costa oriental de la península (Nava et al. 2012). De acuerdo con Marín-Monroy et al. (2020) esta área presenta una vulnerabilidad socio-ecológica relativamente alta debido a ciclones tropicales. La influencia humana en la península es baja y la integridad ecológica de ambientes costeros es alta (CONABIO 2019, Equihua et al. 2021)

Fernández-Díaz et al. (2022) pronosticó una pérdida de 175,099 ha de manglar en México derivado del incremento del nmm (+0.84 m) para el periodo del 2081-2100. En el manglar de Magdalena, BCS se ha reportado un patrón de erosión en la línea de costa y expansión tierra adentro, derivado por el incremento del nmm y las anomalías de la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur (López-Medellín et al. 2011), evidenciando la capacidad adaptiva del manglar ante cambios graduales del nmm (≤ 7 mm año⁻¹) tal como lo señala Saintilan et al. (2020).

2.1 Regulación de nutrientes y biorremediación de contaminantes

Los manglares son reconocidos por su capacidad de mejorar la calidad de los cuerpos de agua costeros mediante la remoción de contaminantes y nutrientes que pueden causar desequilibrios en los ecosistemas acuáticos (Friess et al. 2020). La regulación de nutrientes está determinada por el flujo bidireccional entre cuerpos de agua de la zona marítimo-terrestre, el cual varía en función de factores hidrológicos, cantidad de aportes pluviales, concentración de nutrientes, amplitud de marea, etc. (Adame y Lovelock 2011)

Estos servicios ecosistémicos son relevantes, si se considera que el 30 % de la población en México se asienta en zonas costeras (Martínez et al. 2007). Por otro lado, la creciente acumulación de contaminantes sugiere un riesgo potencial para la biodiversidad, la salud del manglar y de los sistemas adyacentes (marino y terrestre), así como para la salud humana (e. g. por consumo de moluscos y peces contaminados) y la economía (pesca, acuicultura, turismo) (Páez-Osuna et al. 2017, Ivorra et al. 2021, Hossain et al. 2022).

En el Golfo de California, la contaminación en agua y sedimentos generada principalmente por la expansión e intensificación de actividades agrícolas, acuícolas, minería y turismo se considera de baja a moderada. Sin embargo,

algunas lagunas costeras ubicadas al sur de Sonora y Sinaloa pueden presentar mayor grado de contaminación. Asimismo, se ha proyectado que durante los próximos 25 años los problemas de contaminación se exacerbarán (Páez-Osuna et al. 2017). Los principales contaminantes son metales y metaloides en regiones con incidentes de derrames mineros recientes, así como nutrientes y plaguicidas en humedales que reciben descargas acuícolas de camarón y escurrimientos de agricultura intensiva (Páez-Osuna et al. 2017). Por tanto, la pérdida y degradación de los manglares tiene efectos multidimensionales y de largo plazo debido a la acumulación de metales en el noroeste de México.

Los ecosistemas de manglar, en particular los árboles y arbustos así como el sedimento, pueden remover contaminantes mediante su captura, enterramiento, almacenamiento o biotransformación (Friess et al. 2020). Los mangles acumulan metales y con ello disminuyen la difusión a los ambientes adyacentes (terrestres y marinos), por ello se les considera idóneos para la fitorremediación de aguas y sedimentos en zonas costeras (Hossain et al. 2022), incluso se han propuesto como bioindicadores de exposición a ciertos metales, en ambientes semiáridos de Sinaloa (González-Ocampo et al. 2023). Asimismo, las partículas de materia orgánica y el sedimento presente en el cuerpo de agua remueven contaminantes por adsorción, tal como se ha reportado remoción de plaguicidas organoclorados en la Laguna Altata-Pabellón, Sinaloa (González-Farías et al. 2006). En el suelo, las raíces de mangle y su microbiota interceptan y degradan contaminantes (Ivorra et al. 2021), sin embargo, esto aún no se ha evaluado en los manglares de México.

En el caso de nutrientes, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), se ha demostrado que en manglares áridos de Bahía Lobos, Sonora, la escasez de precipitación y baja amplitud de marea restringen la disponibilidad e intercambio de nutrientes (Sánchez-Carrillo et al. 2009). La baja disponibilidad de P en el agua y sedimento de manglares de Sonora y BCS, genera gradientes de concentración que favorecen su importación hacia el interior de los manglares (Sánchez-Carrillo et al.

2009) así como abundantes rizobacterias que solubilizan el P haciéndolo disponible para las plantas (Bashan y Holguin 2002).

Si bien, los manglares son conocidos como sumideros de carbono y nutrientes, esta capacidad puede alterarse por impacto antrópico, por lo que un aumento excesivo de nutrientes, puede causar eutrofización. En Guaymas, Sonora el análisis comparativo de sitios afectados por efluentes residuales orgánicos vs conservados, ha permitido detectar mayor flujo de nutrientes e incremento neto del metabolismo neto del ecosistema en sistemas perturbados (Medina-Galván et al. 2021). Asimismo, regulan la concentración de nutrientes al absorber N y P, importantes macronutrientes para las plantas. En estanques de camarón del Estero de Urías, Sinaloa, se ha reportado que los mangles *R. mangle* y *L. racemosa* pueden fitorremediar aguas eutrofizadas al remover cantidades significativas de amonio y nitratos (Moroyoqui-Rojó et al. 2012).

De acuerdo a lo anterior, es de esperarse que la capacidad de regulación de nutrientes y contaminantes disminuya con la deforestación o degradación del manglar. Por ello las áreas con mayor influencia humana en el noroeste de México, tales como las llanuras y deltas de Sonora, Sinaloa y Nayarit requieren mayor atención para incrementar los esfuerzos de rehabilitación.

Conclusiones

Los beneficios de los SE analizados son diversos, tangibles e intangibles con repercusiones en el bienestar de la comunidad y del ecosistema. Las contribuciones en el bienestar comunitario impactan en la seguridad, sanidad alimentaria, economía, salud, contextos socioculturales, seguridad y protección ante amenazas climáticas. Las contribuciones en la naturaleza influyen en la salud de la biodiversidad, calidad del agua de ambientes lagunares y oceánicos adyacentes, así como en la calidad de la atmósfera y la regulación climática global.

Se encontró evidencia que los manglares desarrollados en diferentes configuraciones geomorfológicas podrían estar brindando distintos tipos de SE, o bien los mismos, pero en diferente magnitud, consistente con el planteamiento de Ewel et al. (1998). En este sentido, se sugiere establecer líneas de investigación que consideren el tipo de configuración geomorfológica,

Se identificaron factores de riesgo asociados a la variabilidad climática, cambio climático e influencia humana, que podrían ocasionar la pérdida, deterioro o disminución de los manglares y de lo SE. Se reconocieron las llanuras deltaicas de Sonora, Sinaloa y Nayarit como áreas de mayor vulnerabilidad socio-ecológica. Asimismo, en Bahía Magdalena, BCS se registró un patrón de migración del manglar tierra adentro, bajo condiciones de incremento del nivel medio del mar; evidenciando una buena capacidad adaptativa. Sin embargo, esto fue posible debido al menos a dos condiciones: una tasa de incremento del nmm ≤ 6 mm/año y disponibilidad de ambientes sedimentarios óptimos con baja o nula alteración humana. Lo anterior, resalta la importancia de respetar y en su caso restaurar la franja de protección del manglar (100 m), establecida en la NOM-022-SEMARNAT-2003.

Finalmente, se requieren incrementar los esfuerzos coordinados para establecer una red permanente de monitoreo regional considerando la variabilidad espacio temporal y geomorfológica mayor representatividad de los manglares áridos y el uso de métodos estandarizados; reforzando las líneas de: 1) regulación climática con reservas de carbono azul profundas (> 1 m), 2) riesgo por contaminación y efectos en la salud y 3) riesgo, vulnerabilidad y estrategias de mitigación ante el Cambio Climático. Asimismo, se espera que el conocimiento científico y la comprensión de la contribución de los manglares a la sociedad y a la naturaleza, genere mayor conciencia y participación comunitaria, así como un incremento en las acciones de protección, conservación y restauración.

Importancia social

La evidencia presentada destaca la importancia social que tienen los manglares, incidiendo en diferentes ámbitos como: la seguridad y sanidad alimentaria, salud ecosistémica, protección ante efectos del cambio climático, recreación, salud mental y física de las personas e ingresos económicos, entre otros. Asimismo, estos ecosistemas poseen un valor cultural para las comunidades costeras debido a que forman parte de sus tradiciones, conocimientos locales y formas de vida, por lo que su conservación también implica la protección del patrimonio cultural.

Perspectivas

Las perspectivas favorables para la gestión y conservación de los manglares del noroeste de México se fundamentan en el incremento de los esfuerzos de investigación científica mediante colaboraciones interinstitucionales para mejorar la comprensión de la estructura, procesos y funciones ecológicas, así como del mapeo y valoración de los diversos servicios ecosistémicos; considerando el gradiente existente de manglares áridos subtropicales a manglares subhúmedos tropicales. En la gestión, es importante evaluar las zonas de mayor presión antropogénica y vulnerabilidad derivada por el cambio climático, así como proponer acciones específicas de restauración y rehabilitación (o bien, fortalecerlas), promovidas conjuntamente por instituciones gubernamentales, académicas y organizaciones civiles. En este contexto, sería de gran utilidad adaptar a escala local la experiencia y resultados del Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (<https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/smmm>) para caracterizar la distribución espacial y el grado de impacto humano, además de ampliar y actualizar la base de datos de la estructura forestal (densidad, biomasa, distribución de especies). Finalmente, es recomendable incrementar investigaciones con un

enfoque integral, reconociendo tanto el capital natural como el sociocultural y económico que éstos representan.

Literatura citada

- Adame, M.F., Brown, C.J., Bejarano, M., Herrera-Silveira, J.A., Ezcurra, P., Kauffman, J.B., y Birdsey, R. (2018). The undervalued contribution of mangrove protection in Mexico to carbon emission targets. *Conservation Letters*. 11(4). <https://doi.org/10.1111/conl.12445>
- Adame, M.F. y Lovelock, C.E. (2011). Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean. *Hydrobiologia*, 663, 23-50. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0554-7>
- Adame, M.F, Reef, R., Santini, N.S., Najera, E., Turschwell, M.P, Hayes, M.A, Masque, P. y Lovelock, C.E. (2021). Mangroves in arid regions: Ecology, threats, and opportunities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, (248), 106796. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106796>
- Agraz-Hernández, C.M., Chan-Keb, C.A., Chávez-Barrera, J., Osti-Saénz, J., Expósito-Díaz, G., Alonso-Campos, V.A., Muñoz-Salazar, R., Ruiz-Fernández, A.C., Pérez-Bernal, L.B., Sánchez-Cabeza, J.A. y Rivera-Arriaga, E. (2020). Reserva de carbono en un ecosistema de manglar al norte de México: cambios ambientales durante 35 años. *Revista mexicana de biodiversidad*, 91. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2910>
- Arellano, A. (27 de enero de 2022). Sembrar manglares en el desierto: la Nación Comcaac protege del cambio climático a la isla más grande de México. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2022/01/mexico-sembrar-manglares-en-el-desierto-nacion-comcaac-cambio-climatico/>
- Ávila-Flores, G. (2021). Evaluación Integral de los Manglares del Estado de Baja California Sur, México. [Tesis doctoral, UABCS]. Repositorio Institucional-UABCS.
- Bashan, Y. y Holguin, G. (2002). Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. *Trees: Structure and Function*, 16, 159-166. <https://doi.org/10.1007/s00468-001-0152-4>
- Becerril, I. (13 de noviembre 2023). Mar de Cortés, región con ventajas logísticas para el nearshoring. *El economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Mar-de-Cortes-region-con-ventajas-logisticas-para-el-nearshoring-20231113-0139.html>

CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES

- Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A. y Wood, E.F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Nature Scientific Data*, 5(180214). <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Bonfil-Batalla, G. (2004). Pensar nuestra cultura. En: S. Bermúdez (Ed.), *Antología sobre cultura popular e indígena: Lecturas de Seminario Diálogos en la Acción. Primera Etapa* (pp. 117-134). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. <http://observatoriocultural.udgvirtual.udg.mx/repositorio/handle/123456789/120>
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Lucas, R., Rebelo, L.M., Hilarides, L., Thomas, N., Hardy, A., Itoh, T., Shimada, M. y Finlayson, C.M. (2018). The Global Mangrove Watch—a New 2010 Global Baseline of Mangrove Extent. *Remote Sensing*, 10(10), 1669. <https://doi.org/10.3390/rs10101669>
- Coll-Hurtado, A. Coord. (2007). *Nuevo Atlas Nacional de México*. Instituto de Geografía-UNAM. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/154>
- Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora. (27 de diciembre de 2023). *Estero el Soldado*. <https://cedes.sonora.gob.mx/index.php/visitanos/estero-el-soldado>
- CONABIO. (2019). Índice de impacto humano en la biodiversidad terrestre. MEXBIO 2.0 (2014), escala: 1:1,000,000. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/indihum14gw.html>
- CONABIO. (13 de enero de 2021). Distribución de los manglares en México en 2020, escala 1:50,000. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/mx_man20gw.html
- CONABIO. (2 de marzo del 2022). Extensión y distribución de manglares. <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/smmm/extensionDist>
- Del Valle, A.D., Eriksson, M., Ishizawa, A.O. y Miranda, J.J. (2020). Mangroves protect coastal economic activity from hurricanes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 265-270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1911617111>
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL – SERIE Recursos Naturales e Infraestructura.
- Equihua, M. (20 de mayo de 2021). Índice de Integridad Ecosistémica 2018 a 250 m, escala: 1:250000. Instituto de Ecología, A.C. y CONABIO. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/ie2018_250mgw.html

- Ewel, K.C., Twilley, R.R. y Ong, J.E. (1998). Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global ecology and Biogeography Letters*, 7, 83-94. <https://doi.org/10.2307/2997700>
- Ezcurra, P., Ezcurra, E., Garcillán, P.P., Costa, M.T. y Aburto-Oropeza, O. (2016). Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(16), 4404-4409. <https://doi.org/10.1073/pnas.1519774113>
- FAO. (27 de diciembre de 2023). Ecosystem Services & Biodiversity (ESB). Cultural Services. <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/cultural-services/en/>
- Farfán, L.M., D'sa, E.J., Liu, K. y Rivera-Monroy, V.H. (2014). Tropical cyclone impacts on coastal regions: the case of the Yucatán and the Baja California Peninsulas, Mexico. *Estuaries and Coasts* 37, 1388-1402. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9797-2>
- Fernández-Díaz, V., Canul-Turriza, R.A., Kuc-Castilla, A. y Hinojosa-Huerta, O. (2022). Loss of coastal ecosystem services in Mexico: An approach to economic valuation in the face of sea level rise. *Frontiers in Marine Science* 9, 898904. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.898904>
- Flores-Verdugo, F., González-Farías, F., Zamorano, D.S. y Ramírez-García, P. (1992). Mangrove ecosystems of the Pacific coast of Mexico: distribution, structure, litterfall and detritus dynamics. En: U. Seeliger (Ed.), *Coastal plant communities of Latin America* (pp. 269-288). Academic Press.
- Friess, D.A., Yando, E.S., Alemu, J.B., Wong, L.W., Soto, S.D. y Bhatia, N. (2020). Ecosystem services and disservices of mangrove forests and salt marshes. En: S.J. Hawkin (Ed.), *Oceanography and Marine Biology: An Annual review* (pp. 107–142). CRC Press.
- García, E. y CONABIO. (1998). Climas (Clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/clima1mgw.html>
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N. y Fatoyimbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology* 26(10), 5844-5855. <https://doi.org/10.1111/gcb.15275>
- González-Farías, F.A., Hernández-Garza, M.D.R. y Díaz-González, G. (2006). Organic carbon and pesticide pollution in a tropical coastal lagoon-estuarine system in Northwest Mexico. *International Journal of Environment and Pollution*, 26(1-3), 234-253. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2006.009109>

CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES

- González-Ocampo, H.A., Parra-Olivas, M.C., Pérez-González, E. y Rodríguez-Meza, G.D. (2023). Rhizophora mangle as a Bioindicator of Environmental Exposure to Heavy Metals in the Navachiste Lagoon Complex, Sinaloa, Mexico. Preprints, 2023082014. <https://doi.org/10.20944/preprints202308.2014.v1>
- González-Rodríguez, E., Farfán, L.M., Montijo-Galindo, A., Ramos-Rodríguez, J.A. y Ruiz-Luna, A. (2021). Impacto de los ciclones tropicales en la región costera del noroeste de México. En: A. Cervantes-Escobar, R. Hernández-Guzmán y A. Montijo-Galindo (Eds.), Vulnerabilidad Costera en el Noroeste de México: Un Enfoque Multidisciplinario (pp. 63-83). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
- González-Zamorano, P. (2012). Los manglares en la Península de Baja California, México: Patrones ecológicos y su relación con el factor geomorfológico. [Tesis doctoral-CICIMAR-IPN]. Repositorio Institucional-CICIMAR-IPN.
- González-Zamorano, P., Lluch-Cota, S.E. y Nava-Sánchez, E.H. (2013). Relation between the Structure of Mangrove Forests and Geomorphic Types of Lagoons of the Baja California Peninsula. Journal of Coastal Research, 29(1), 173-181 <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00044.1>
- Grave-Tirado, L.A. (2010). El Calón, un espacio sagrado en las marismas del sur de Sinaloa. Estudios Mesoamericanos, 1(8), 19–39. <https://revistas-filologicas.unam.mx/estudios-mesoamericanos/index.php/em/article/view/33>
- Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Secaira-Fajardo, F., Braun, R., Bowman, J., Geselbracht, L., Musgrove, M., Rogers, M., Schmidt, J., Robles-Toral, P.J., Canul-Cabrera, J.A. y Guerra-Cano, L. (2022). Hurricane damages to mangrove forests and post-storm restoration techniques and coasts. The Nature Conservancy.
- Hirons, M., Comberti, C. y Dunford, D. (2016). Valuing cultural ecosystem services. Annual Review of Environment and Resources, 41, 545-564. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085831>
- Hossain, M.B., Masum, Z., Rahman, M.S., Yu, J., Noman, M.A., Jolly, Y.N. y Arai, T. (2022). Heavy Metal Accumulation and Phytoremediation Potentiality of Some Selected Mangrove Species from the World's Largest Mangrove Forest. Biology, 11(8), 1144. <https://doi.org/10.3390/biology11081144>
- INEGI. (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas. Escala 1:1000 000. <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/#descargas>

- INEGI. (2019). Localidades de la República Mexicana, 2019, escala: 1:250000. Edición: 1. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463674658>
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Ivorra, L., Cardoso, P.G., Chan, S.K., Cruzeiro, C. y Tagulao, K.A. (2021). Can mangroves work as an effective phytoremediation tool for pesticide contamination? An interlinked analysis between surface water, sediments and biota. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126334. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126334>
- Jiménez-Illescas, A.R., Zayas-Esquer, M.M. y Espinosa-Carreón, T.L. (2019). Integral management of the coastal zone to solve the problems of erosion in Las Glorias beach, Guasave, Sinaloa, Mexico. En: R.R. Krishnamurthy, M.P. Jonathan, S. Srinivasalu y B. Glaeser (Eds.), *Coastal Management* (pp. 141-163). Academic Press-ELSEVIER.
- Jordán, F. (1951). *El Otro México: Biografía de Baja California*. UABC-Instituto Subcaliforniano de Cultura.
- Lankford, R. (1977). Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. En: M. Wiley (Ed.), *Estuarine Processes* (pp. 182-215). Academic Press.
- Lauterio-Martínez, C.L., Urciaga-García, J.I. y Barrón-Arreola, K.S. (2016). Servicios culturales de los ecosistemas, reconocimiento, enfoque y perspectivas para el desarrollo del turismo en zonas costeras. En R. Espinoza-Sánchez, R.M. Chávez-Dagostino, y E.A. Andrade-Romo (Eds.), *Estudios turísticos en regiones de México* (pp. 77-105). Universidad de Guadalajara.
- López-Medellín, X., Castillo, A. y Ezcurra, E. (2011). Contrasting perspectives on mangroves in arid northwestern Mexico: Implications for integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 54(4), 318–329. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.12.012>
- Lovelock, C.E. y Duarte, C.M. (2019). Dimensions of blue carbon and emerging perspectives. *Biology Letters*, 15(3), 20180781. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0781>

CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES

- Luque-Agraz, D. y Doode-Matsumoto, S. (2009). Los comcáac (seri): hacia una diversidad biocultural del Golfo de California y estado de Sonora, México. *Estudios Sociales*, 17(SPE), 273-301. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572009000300012&lng=es&nrm=iso
- Manzano-Sarabia, M.M., Flores-Cárdenas, F., Millán-Aguilar, O.G., Rodríguez-Arredondo, L.E., López-Magaña, J.L., Hurtado-Oliva, M.A. y Grano-Maldonado, M.I. (2019). Impacto de la variabilidad climática en la estructura de manglares de Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias de Mar.
- Marín-Monroy, E.A., Hernández-Trejo, V., Romero-Vadillo, E. y Ivanova-Boncheva, A. (2020). Vulnerability and risk factors due to tropical cyclones in coastal cities of Baja California Sur, Mexico. *Climate*, 8, 144. <https://doi.org/10.3390/cli8120144>
- Martínez, M.L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P. y Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63(2-3), 254-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022>
- MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. Island Press.
- Medina-Galván, J., Osuna-Martínez, C.C, Padilla-Arredondo, G., Frías-Espericueta, M.G., Barraza-Guardado, R.H. y Arreola-Lizárraga, J.A. (2021). Comparing the biogeochemical functioning of two arid subtropical coastal lagoons: the effect of wastewater discharges. *Ecosystem Health and Sustainability*, 7(1), 1892532. <https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1892532>
- Morales-Zarate, M.B., Almendarez-Hernández, M.A., Sánchez-Brito, I. y Salinas-Zavala, C.A. (2019). Valoración económica del servicio ecosistémico recreativo de playa en Los Cabos, Baja California Sur (BCS), México: Una aplicación del Método de Costo de Viaje. *El Periplo Sustentable*, (36), 447-469. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193467104014>
- Moroyoqui-Rojo, L., Flores-Verdugo, F.J., Hernández-Carmona, G., Casas-Valdez, M., Cervantes-Duarte, R. y Nava-Sánchez, E.H. (2012). Remoción de nutrientes con dos especies de mangle (*Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) en estanques experimentales de cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*). *Ciencias Marinas*, 38(2), 333-346. <https://doi.org/10.7773/cm.v38i2.1983>
- Nagelkerken, I.S., Blaber, J.M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L.G., Meynecke, J.O., Pawlik, J., Penrose, H.M., Sasekumar, A. y Somerfield, P.J. (2008). The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 155-185. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.007>

- Nava-Sánchez, E.H., Martínez-Flores, G., Murillo-Jiménez, J.M., Morales-Pérez, R.A. y Godínez-Orta, L. (2012). Vulnerabilidad y evaluación de riesgo en la zona costera mexicana. En: H. Ramírez-León, J.M. Navarro-Pineda y H.A. Barrios-Piña (Eds.), *Dinámica ambiental de ecosistemas acuáticos costeros. Elementos y ejemplos prácticos de diagnóstico* (pp. 139-156). IPN.
- Ochoa-Gómez, J.G., Lluch-Cota, S.E., Rivera-Monroy, V.H., Lluch-Cota, D., Troyo-Diéguez, B., Oechel, W. y Serviere-Zaragoza, E. (2019). Mangrove wetland productivity and carbon stocks in an arid zone of the Gulf of California (La Paz Bay, Mexico). *Forest ecology and management*, 442, 135-147. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.059>
- Ochoa-Gómez, J.G., Acosta-Velázquez, J., Yépez, E.A. y Martinetto, P. (2020). Potencial del almacenamiento de carbono en suelo de los manglares del noroeste de México. En: J.M. Hernández, M. Rojo, M. Fuentes, A. Velázquez y M. Bolaños (Eds.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2020* (pp. 210-215). Programa Mexicano del Carbono.
- Paéz-Osuna, F., Álvarez-Borrego, S., Ruiz-Fernández, A.C., García-Hernández, J., Jara-Marini, M.E., Bergés-Tiznado, M.E., Piñón-Gimate, A., Alonso-Rodríguez, R., Soto-Jiménez, M.F., Frías-Espericueta, M.G., Ruelas-Inzunza, J.R., Green-Díaz, C., Osuna-Martínez, C.C. y Sánchez-Cabeza, J.A. (2017). Environmental status of the Gulf of California: a pollution review. *Earth-Science Reviews*, 166, 181-205. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.014>
- QGIS.org (2024). Sistema de Información Geográfica QGIS. Proyecto de la Fundación Geoespacial de Código Abierto. <http://qgis.org>
- Queiroz, L.S., Rossi, S., Calvet-Mir, L., Ruiz-Mallén, I., García-Betorz, S., Salva-Prat, J. y Meireles, A.J.A. (2017). Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. *Ecosystem Services*, 26(A), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.013>
- Rosales-López, A. y Sánchez-García, L.C. (2018). Así morían los antiguos californios. *Arqueología Mexicana*, 26(154), 50-55.
- Ruiz-Luna, A., Cervantes-Escobar, A. y Berlanga-Robles, C. (2010). Assessing distribution patterns, extent, and current condition of northwest Mexico mangroves. *Wetlands* 30(4), 717-723. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0082-2>
- Saintilan, N., Khan, N.S., Ashe, E., Kelleway, J.J., Rogers, K., Woodroffe, C.D. y Horton, B.P. (2020). Thresholds of mangrove survival under rapid sea level

- rise. Science, 368(6495), 1118-1121.
<https://doi.org/10.1126/science.aba2656>
- Sánchez-Carrillo, S., Sánchez-Andrés, R., Alatorre, L.C., Angeler, D.G., Álvarez-Cobelas, M. y Arreola-Lizárraga, J.A. (2009). Nutrient fluxes in a semi-arid microtidal mangrove wetland in the Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82(4), 654-662. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.03.002>
- Sanjurjo-Rivera, E. y Welsh-Casas, S. (2005). Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica*, (74), 54-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907405>
- SEMARNAT (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas del manglar (acuerdo que adiciona la especificación 4.43 DOF, 07 de mayo del 2004), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de abril de 2003. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/57522/NOM-022-SEMARNAT-2003-2013.pdf>
- Steinbeck, J. (1941). *The Log from the Sea of Cortez*. Viking Press.
- Thom, B.G. (1984). Coastal landforms and geomorphic processes. En: S.C. Snedeker, y J.G. Snedeker (Eds.), *The mangrove Ecosystem: Research Methods* (pp. 18-35). UNESCO.
- Thomas, N., Lucas, R., Bunting, P., Hardy, A., Rosenqvist, A. y Simard, M. (2017). Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996–2010. *PloS one*, 12(6), e0179302. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179302>
- Torres, J.R., Sánchez-Mejía, Z.M., Alcudia-Aguilar, A., Medrano-Pérez, O.R., Barraza-Guardado, R.H. y Suzuky-Pinto, R. (2023). Estimation of Mangrove Blue Carbon in Three Semi-arid Lagoons in the Gulf of California. *Wetlands*, 43(11). <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01659-6>
- UNEP. (2014). *The Importance of Mangroves to People: A Call to Action*. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- UNFCCC. (2016). *Intended nationally determined contributions-Mexico*. https://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submission_s.aspx
- Whitmore, R.C., Brusca, R.C., León-de-la-Luz, J.L., González-Zamorano, P., Mendoza-Salgado, R., Amador-Silva, E., Holguín, G., Galván-Magaña, F., Hastings, P.A., Cartron, J.L., Felger, R.S., Seminoff, J.A., y McIvore, C.C. (2005). The Ecological Importance of Mangroves in Baja California Sur. En: J.L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger (Eds.), *Conservation Implications*

for an Endangered Ecosystem: Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico (pp. 298-333). Oxford University Press.

Woodroffe, C.D. (1992). Mangrove sediments and geomorphology. En: A.I. Robertson y D.M. Alongi (Eds.), Tropical mangrove ecosystems. Coastal and Estuarine Studies (Series) (pp. 7-41). American Geophysical Union.

World Bank. (2016). Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reefs. Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services Partnership (WAVES).

Para citar esta obra:

González-Zamorano P*, G. Ávila-Flores, B. E. Romero López, J. G.i Ochoa-Gómez, M. M. Manzano-Sarabia, J. Acosta-Velázquez y J. A. Arreola-Lizárraga. 2025. Contribuciones de los manglares del noroeste de México, para el bienestar comunitario. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 191-219). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 12

Costas del Noroeste de México

Saúl Chávez López * y Miguel Ángel Imaz Lamadrid

salchavlop62@gmail.com

Resumen

La Región Noroeste de México abarca 5455 km, distribuidos en 33 municipios que tienen frente costero, lo que le confiere una alta importancia que se ha acentuado en las últimas cinco décadas por su acelerado crecimiento poblacional; en donde millones de personas demandan bienes y servicios que se refleja en la intensificación y diversificación de actividades, generando una compleja problemática costera, que se da en principio por la dificultad de definir y diferenciar entre lo que se debe de entender por zona y franja costera. En México según la SEMARNAP, zona costera, son los municipios que tienen frente litoral. Mientras que franja costera (frente litoral) son los ambientes o ecosistemas que la integran, como son las marismas, pantanos de manglar, dunas y playas, cuya amplitud es variable dependiendo de la situación geomorfológica y orográfica de la región; integrando en su conjunto a las costas sedimentarias (constructivas), que suelen ser especialmente frágiles a las alteraciones y modificaciones realizadas por el hombre ya sea de forma directa o indirecta como las que se producen alejadas de la costa. Pese a los servicios ambientales que los ecosistemas costeros brindan a la humanidad, estos se continúan afectando parcial o totalmente, ya que no brindan un beneficio económico directo, dado el “valor invisible de la naturaleza”. Lo que refleja la falta de coordinación entre las autoridades federales, estatales y municipales, y en donde también es de reconocer que las iniciativas para el uso de los ambientes y recursos costeros, se dan con un sesgo discrecional de interés de todo tipo; generando una compleja problemática en la zona costera, e irreversibles impactos ambientales. Contexto en el que conceptos como riesgo, vulnerabilidad,

resiliencia, impacto ambiental, servicios ambientales y desarrollo sustentable, cobran relevante importancia y una mayor dimensión por los efectos del cambio climático. Generando un gran reto para la gestión integral costera; debido a la complejidad y dificultad que implica la homogeneidad o complementariedad que permitan conciliar intereses y conflictos.

A sí entonces la planeación y ordenamiento territorial con miras a la gestión integral de la costa debe priorizar la conservación y buen uso y manejo de los ecosistemas costeros como factor de desarrollo sustentable económico y ambiental; en donde los beneficios no solo son para los habitantes, sino que se traduce en beneficio para la humanidad ya que vale más un ecosistema en buenas condiciones que uno degradado.

Palabras clave: costas, ecosistemas, zona costera, municipios, impacto ambiental.

Abstract

The northwest region of Mexico comprises 5455 km distributed in 33 municipalities with a coastal front that bestows high importance and has been accentuated in the last five decades for its accelerated population growth. Here, millions of people demand goods and services, reflected in the intensification and diversification of activities that generate a complex coastal problem due, in principle, to the difficulty of defining and differentiating between what is understood by the coastal zone and the coastline. According to the SEMARNAP, Mexico's coastal zone comprises municipalities with a coastal front. In comparison, the coastal front (coastline) is the environment or ecosystem that integrates it, such as marshes, mangrove swamps, dunes, and beaches, whose amplitude varies depending on the geomorphology and orography of the region. This integrates the sedimentary coasts (constructive), which are usually fragile to human alterations and modifications both directly and indirectly,

such as those produced far from the coast. Despite the environmental services that coastal ecosystems provide to humanity, they continue to be partially or totally affected since they do not provide a direct economic benefit, given the “invisible value of nature.” This reflects the lack of coordination between federal, state, and municipal authorities, where it is also recognized that initiatives for the use of coastal environments and resources occur with a discretionary bias of all kinds of interests, generating a complex problem in the coastal zone as well as irreversible environmental impacts. In this context, concepts such as risk, vulnerability, resilience, environmental impact, and sustainable development gain importance and augment their relevance due to the effects of climate change. This generates a great challenge for integral coastal management due to the difficulty implied in the homogeneity or complementarity that allows for the conciliation of interests and conflicts. Therefore, territorial planning and ordering with a view to the comprehensive management of the coast must prioritize conservation and the proper use and management of coastal ecosystems as a factor of economic and environmentally sustainable development where the benefits are not only for the inhabitants but also translate into benefits for humanity since an ecosystem in good condition is worth more than a degraded one.

Keywords: coasts, ecosystems, coastal zone, municipalities, environmental impact.

Introducción

México abarca una extensión territorial de 1,964,375 km², posee una extensión de 11,122 km de litorales, a esto se suma la Zona Económica Exclusiva de 200 millas náuticas. Lo que hace de México a nivel mundial uno de los países megadiversos con mayor extensión oceánica (65%) que terrestre (35%) (CONABIO 2023). Lo que hace que el territorio nacional este compuesto por una gran diversidad de ecosistemas terrestres, costeros y marinos cuyos procesos ecológicos sostienen

COSTAS DEL NOROESTE

actividades económicas y asentamientos humanos, así como una megadiversidad de flora y fauna que ha pasado a ser patrimonio de la humanidad (Chávez 2023). La organización territorial de México suele variar, pero el modelo de ocho regiones es el más común; agrupadas por sus características similares, así como de factores físicos, culturales, históricos y naturales en: Región Sureste, Suroeste, Centro sur, Centro norte, Oriente, Occidente, Noreste y Noroeste (Ramírez, Martínez y Aceves 2023). Esta última región abarca los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora, de los cuales exceptuando los estados de Chihuahua y Durango tienen frente costero (Figura 32).



Figura 32. Región Noroeste de la República Mexicana.

Dichos estados a su vez se dividen en municipios; el estado de Baja California en siete, de los cuales exceptuando el de Tecate el resto tienen frente costero, sumando un litoral de 1493 km. El estado de Baja California Sur se divide en cinco municipios, todos con frente costero que suman un litoral de 2131 km. El estado de Sonora está dividido en 72 municipios de los cuales 12 tienen frente costero, que en conjunto suman un litoral de 1209 km. Y el estado de Sinaloa se divide en veinte municipios, de los cuales diez tienen frente costero, sumando un litoral de 622 km (INEGI 2023; López 2018, p. 29).

Por lo que, entre los cuatro estados mencionados, suman 5455 km de litoral lo que representa el 49.05 % del total de la República Mexicana; lo que confiere de inicio a la Región Noroeste, una alta importancia pesquera, variedad de ecosistemas costeros y marinos y por lo tanto una mayor biodiversidad y atractivo ecoturístico. En el contexto de la organización territorial de México, en las últimas cinco décadas, la subdivisión en municipios cobra importancia en particular los municipios que tienen frente costero; esto como resultado de su crecimiento poblacional, cuya tendencia se ha venido dando a nivel mundial (Chávez 2020, p. 2). Reflejándose en lo que De Andrés y Barragán (2016, pp. 66-72), refieren como ciudades y aglomeraciones costeras, las cuales pasaron de 472 en 1945 a 2129 en 2012. Esto implica que en los poblados y ciudades costeras, millones de personas demandan espacio para viviendas, trabajos, salud, educación, recreación, alimentos, agua potable, etc., y en donde la poca o nula planificación y ordenamiento, repercute en la pérdida o degradación de los ecosistemas que integran la franja costera, así como la pérdida de biodiversidad y la de flujos y ciclos naturales, como los hidrológicos y sedimentarios, que se traduce en alteraciones ambientales y en la disminución o pérdida de servicios ecosistémicos (Chávez 2023, p. 51).

Así con el progresivo aumento de población e intensificación y diversificación de actividades, se genera una compleja problemática costera, que se da en principio por la dificultad de definir y diferenciar entre lo que se debe de entender por zona y franja costera (Chávez 2023, p. 49); contexto en el que conceptos como riesgo,

vulnerabilidad, resiliencia, impacto ambiental, servicios ambientales y desarrollo sustentable, cobran relevante importancia y una mayor dimensión por los efectos del cambio climático.

Zona costera definición e implicaciones

Cuando escuchamos el término “zona costera” generalmente lo relacionamos con playas y a estas con un ambiente de arena-mar-sol, con fines de esparcimiento. Sin embargo, las implicaciones de dicho término tienen diferentes connotaciones desde el punto de vista físico, biológico y socioeconómico; las cuales se hacen evidentes con la degradación o pérdida total de ecosistemas costeros (Chávez 2023, p. 51). Situación que se da en principio por la dificultad de diferenciar entre lo que se debe de entender por zona costera y franja costera, cuya problemática se acentúa con el progresivo aumento de población e intensificación y diversificación de actividades, y con estas una serie de intereses particulares (Chávez 2023, p. 54).

Dicha situación se ha visto incentivada por el desarrollo tecnológico y la política de transformar el medio físico y adaptarlo a los requerimientos del hombre, lo que ha llevado a incrementar la vulnerabilidad de los ecosistemas costeros. Esta transformación inicia con el uso y manejo de las cuencas hidrográficas, y el incremento de vulnerabilidad, por su poca o nula planificación y ordenamiento (Chávez 2023, p. 51). Así entonces surgen numerosos intentos para definir “zona costera”, partiendo de definiciones generalizadas como “espacio en el que el ambiente terrestre influencia al marino y viceversa”; hasta otras más elaboradas como la de Clark, que define zona Costera como: “La interfase entre el continente y el mar y puede extenderse tierra adentro o mar afuera a una distancia variable, dependiendo de los objetivos y necesidades particulares de manejo”. Teniendo en cuenta esta definición, parecería fácil representarla, sin embargo, al referir “necesidades particulares de manejo”, evidencia la enorme dificultad para establecer la verdadera solución a un problema que pasa de la simplicidad de la

definición a la dificultad para delimitarla, debido a las implicaciones socioculturales, territoriales e internacionales que esta representa (Chávez 2023, p. 52).

Ante la pérdida y aumento en la degradación ambiental, en la década de 1980 a 1990, con la influencia de movimientos ecologistas, en la Declaración de Río de Janeiro (1992), se enuncia por primera vez el Principio de Precaución; que se desprende del debate sobre cuestiones medio ambientales, consolidándose lentamente hacia el derecho positivo (Ley Barnier) y se evoca con mayor frecuencia, no solo a cuestiones ambientales, sino también en relación con la alimentación y salud (Calvo 2001, p. 22). De igual manera, en el capítulo 17 de la Agenda 21, se refiere a zona costera como “El medio marino-incluidos los océanos y los mares, así como las áreas costeras adyacentes, forman un todo integrado que constituye un componente esencial del sistema global de mantenimiento de la vida y activo que ofrece oportunidades para el desarrollo sustentable” (Casco 2004, p. 3)

Ante este contexto en agosto de 2000, la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) presenta un documento denominado “Estrategia Ambiental para la Gestión Integrada de la Zona Costera de México”, en el que la definen como: “Hacia el mar la zona costera abarca desde el límite marino de la plataforma continental y mar territorial-fronteras ecosistémicas y jurídicas-hasta los límites geopolíticos tierra adentro de los municipios que tienen frente litoral (167 municipios) o están contiguos-fronteras sociodemográficas (463 municipios)” (Casco 2004, p. 3; Chávez 2023, p. 53).

De acuerdo a lo anterior en México, zona costera, son los municipios que tienen frente litoral. Mientras que franja costera (frente litoral) son los ambientes o ecosistemas que la integran, como son las marismas, pantanos de manglar, dunas y playas (Chávez 2023, p. 54).

Sí bien la definición anterior a diferencia de la de Clark, establece límites de lo que se debe de entender por zona costera, no pasa de acotarla desde un punto

de vista político–administrativo en donde la línea de costa se emplea como una referencia geográfica y/o, para separar competencias, de carácter político-administrativo (Chávez 2023, p. 53).

Ambientes costeros y servicios ecosistémicos

Los ambientes o ecosistemas costeros integran una franja, cuya amplitud es variable dependiendo de la situación geomorfológica y orográfica de la región. La integran las áreas de marismas, pantanos de manglar, dunas y playas, que en la naturaleza se acoplan como ecosistemas vecinos, en donde interactúan con gran rapidez todos sus componentes (físicos, químicos y biológicos) conformados a su vez por particularidades geomorfológicas y ecológicas, que se constituye, como la interfase a través de la cual se comunican y separan a la vez continente e hidrosfera (fase intermedia). Y en donde se da una transferencia energética activa entre ambos, con modificaciones graduales en uno y otro sentido, formando un medio profundamente vital, que se regeneran constantemente mediante un equilibrio muy inestable de ecosistemas jóvenes; que suelen ser especialmente frágiles a las alteraciones y modificaciones realizadas por el hombre ya sea de forma directa en cualquiera de los dos medios, o indirecta como las que se producen alejadas de la costa (Chávez 2020, p. 13; Chávez 2023, p. 55).

Dada la complejidad de las interacciones espacio-temporales de los ambientes que integran la franja costera se han hecho varias clasificaciones de costas, intentando agruparlas para estudiarlas desde un punto de vista común, en función de: variaciones del nivel del mar, de los agentes que las han modificado, de la teoría de tectónica de placas, del nivel de energía que reciben, etc. Por lo que una forma inicial y práctica de clasificación consiste en agruparlas según los procesos que actúan sobre la costa (Sánchez 1984, pp. 309-323), y que condicionan su evolución en rocosas y sedimentarias (Figura 33).

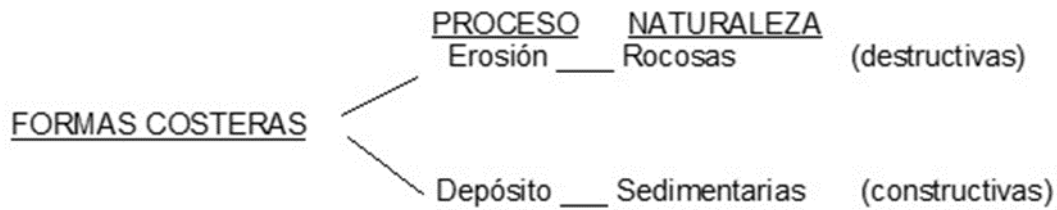


Figura 33. Clasificación de costas, según los procesos que actúan sobre ellas (Chávez 2023, p. 54).

Costas rocosas (destructivas): acantilados, playas rocosas, plataformas rocosas o de abrasión, bufaderos, farallones, arcos marinos.

Costas sedimentarias (constructivas o acumulativas): Playas arenosas, dunas, marismas (salitrales), pantanos de manglar, barreras arenosas.

Desde el punto de vista físico, para estudiar estas formas se hace de manera desacoplada como ambientes costeros, sin embargo, en la naturaleza estos se acoplan estrechamente, como sucede en los estuarios, lagunas, deltas, fiordos y atolones, que forman los ambientes costeros complejos.

De igual manera y siendo consistentes con la definición de zona costera de SEMARNAT, que extiende su límite hasta la plataforma continental (200 m de profundidad), se incluyen los ambientes sumergidos como las barras, arrecifes y pastizales marinos, como parte de los ambientes costeros (Chávez 2023, p. 55).

Resulta importante mencionar que, exceptuando los fiordos y atolones, todos los demás ambientes o ecosistemas costeros referidos, se encuentran a lo largo del litoral de la Región Noroeste de México, y a lo que se suman más de 244 islotes e islas, de las cuales 12 son áreas naturales protegidas (SEMARNAT 2024). Lo cual,

brinda a dicha región una diversidad y riqueza paisajística, que es considerada como parte de los beneficios espirituales y recreativos, que los ecosistemas brindan a la humanidad y que son reconocidos como servicios ambientales o ecosistémicos. Los cuales se definen como las funciones de los ecosistemas que benefician y dan bienestar (bienes y servicios) a las personas y comunidades.

Estos servicios ambientales se agrupan en cuatro grandes categorías; aprovisionamiento (como la producción de agua y de alimentos), regulación (control del clima y de las enfermedades), apoyo (para los ciclos de nutrientes y la polinización de cultivos) y cultural (beneficios espirituales y recreativos), cuyos provechos más elementales se plasman en el paisaje que brinda la diversidad de ecosistemas terrestres, costeros y marinos cuyos procesos sostienen actividades económicas y asentamientos humanos (Rivera 2024).

Pese a los servicios y beneficios ambientales que los ecosistemas brindan a la humanidad, estos son difíciles de reconocer dado el “valor invisible de la naturaleza”, ya que no brindan un beneficio económico directo, por lo que es común en países con subdesarrollo económico que se continúe talando bosques para obtener el beneficio económico de la madera y/o el de convertirlos en áreas de cultivos o pastizales para ganado entre otros tantos usos. Así entonces por intereses económicos se pierde de vista los beneficios intrínsecos de los ecosistemas costeros y marinos que sustentan una enorme biodiversidad, y se encuentran entre los más productivos del mundo; a estos se suman los servicios ambientales (valor invisible) que como ecosistemas vecinos brindan las marismas, manglares, dunas y playas como: zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, lugares de anidación y reproducción de distintas especies terrestres y marinas, regulación del clima, control de erosión del terreno, suministro de agua, captura de dióxido de carbono, tratamiento de desechos, acumulación de sedimentos, protección contra fenómenos naturales (tormentas, huracanes) e inundaciones, belleza paisajística, recreación y esparcimiento. Por lo que entonces

podemos afirmar que vale más un ecosistema en buenas condiciones que uno degradado (Chávez 2023, p. 57).

Impacto ambiental y Resiliencia en la franja costera

Sin duda alguna, todas las actividades realizadas por la humanidad generan impacto en los ecosistemas, a tal grado que Paul Crutzen en el año 2000, propone el término “Antropoceno” como la actual época geológica, ya que considera que la influencia del comportamiento humano sobre la Tierra en las recientes centurias, ha sido significativo y percibido como deterioro ambiental (Chávez 2018, p, 39). Dicha percepción ha alcanzado una mayor dimensión, por los efectos del cambio climático, cuya evidencia científica confirma la asociación entre la realización de un conjunto de actividades humanas, tales como el consumo de energía fósil o el cambio de uso de suelo y las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Cuya evidencia contundente muestra la estrecha asociación entre el aumento continuo de emisiones de GEI y los impactos climáticos; en particular un incremento paulatino de la temperatura, modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad o frecuencia de eventos climáticos extremos, reducción de la criosfera y una elevación del nivel de mar (Galindo 2010, p. 13).

Ante este escenario y el progresivo aumento de población e intensificación y diversificación de actividades, se genera una compleja problemática en la zona costera, que se refleja en irreversibles impactos ambientales, en donde como se ha referido anteriormente conceptos como riesgo, vulnerabilidad, resiliencia, cobran relevante importancia. Ya que, aun teniendo una definición de zona y franja costera, en este contexto se enmarca lo que se conoce como Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT); por lo que posterior a los 20 m, de la ZOFEMAT, ya es considerada propiedad privada, situación que ha sido y es aprovechada, para llevar a cabo diferente tipo de actividades y proyectos, principalmente el de desarrollos turísticos. Esto aun cuando posterior a la ZOFEMAT, se encuentren campos de

dunas costeras e incluso áreas de manglar y marismas; por lo que aun con la definición y diferenciando lo que se debe de entender por zona y franja costera no se ha evitado se continúe con la degradación y pérdida de ecosistemas costeros. Reflejando la falta de coordinación entre las autoridades federales, estatales y municipales, y en donde también es de reconocer que las iniciativas para el uso de los ambientes y recursos costeros, se dan con un sesgo discrecional de interés de todo tipo.

Al mismo tiempo como se ha referido anteriormente, la problemática en la zona costera, ha alcanzado una mayor dimensión, por los efectos del cambio climático, en cuyo escenario la poca o nula planificación y ordenamiento y el desordenado incremento de áreas urbanas ha incrementado la vulnerabilidad y riesgo de afectación de ecosistemas y el de la población, como efecto en principio de las modificaciones en los patrones de precipitación y cambios en la intensidad o frecuencia de eventos climáticos extremos (tormentas y huracanes), que se evidencian con las afectaciones de vientos intensos e inundaciones (Chávez 2020, p, 12).

Así ante un panorama de eventos catastróficos históricos y situaciones muy parecidas que se continúan sucediendo, cobra importancia el concepto de resiliencia que, de acuerdo al diccionario de la Real Academia Española, se define como “capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos”. Sin embargo, a este respecto se han llevado a cabo muchos esfuerzos para definir "resiliencia". Por lo que Twigg (2007, p. 6), refiere que la variedad de definiciones y conceptos académicos pueden confundir. Por lo que para propósitos operacionales resulta más útil trabajar con definiciones amplias y características comúnmente aceptadas. Entendiendo la resiliencia como: la capacidad de absorber la presión o las fuerzas destructivas a través de la resistencia o adaptación. El mismo autor señala que la “comunidad resiliente ante los desastres” es un ideal ya que ninguna comunidad podrá estar jamás completamente a salvo de peligros naturales y antropogénicos.

Por lo que de acuerdo con Casco (2004, p. 1), Los pasos decisivos en la estructuración de la gestión integrada de la zona costera deberán ser desarrollados por las comunidades costeras cuando por necesidad o por convicción, decidan participar de manera más activa y sistemática en la gobernanza de la costa.

En este sentido Aguilar (2020, p. 10), señala que la importancia y estrechez de la interacción sociedad-naturaleza son la causa de que los análisis ambientales recientes se refieran a esta interacción como socioecosistema. El mismo autor señala que el concepto de resiliencia aplicado a socio ecosistemas puede explicarse con la convergencia de dos ciencias: la ecología y la economía. En cuyo contexto surgen numerosas definiciones de resiliencia, entre la que destaca la de Para Walker, que define la resiliencia de los socioecosistemas como “la capacidad de los sistemas socio-ecológicos de absorber disturbios y autoorganizarse, manteniendo su función esencial, su identidad, su estructura y su retroalimentación” (Ávila, Espejel y Salles 2020, p. 16).

Aguilar (2020, p. 11), refiere que esta forma de analizar los impactos como las adaptaciones y vulnerabilidades de socioecosistemas es novedosa, puesto que integra conceptos de la ciencia ecológica a las instituciones humanas que permiten una comprensión más completa de la complejidad inherente de los socioecosistemas. De igual forma señala que el debate del análisis desde el punto de vista conceptual como práctico de la resiliencia de socioecosistemas costeros, no ha terminado, por el contrario, apenas comienza.

De acuerdo a la información presentada e independientemente de cómo se aborde la problemática del impacto ambiental y resiliencia en la zona costera, resulta importante su planificación y ordenamiento, con miras a la gestión integrada, dada la dinámica interacción ecosistema-sociedad, con el propósito de la conservación de los ecosistemas y de sus servicios ambientales.

Gestión costera

En la zona costera con el progresivo aumento de población se intensifica y diversifica las actividades y con estas una serie de intereses particulares, que terminan por repercutir en su franja ya sea por intervenciones directas o alejadas de ella (Chávez 2023, p. 54). Por lo que de acuerdo con Casco (2004, p. 3), los problemas ambientales se generan y avanzan con mucha frecuencia, con mayor rapidez que la capacidad de respuesta de las autoridades, bajo la influencia dinámica de proyectos productivos. Aun cuando la ley otorga a las autoridades de los órdenes federal, estatal y municipal, facultades específicas en materia ambiental y, mediante su ejercicio, dichas autoridades deberían actuar sobre los agentes que intervienen o pretenden intervenir el medio ambiente o los recursos naturales bajo responsabilidad de la nación. Sin embargo, esto no parece suceder ya que la definición de zona costera no ha sido garantía, para evitar que se continúe con la degradación y pérdida de ecosistemas costeros. Por lo que, sin lugar a dudas, es importante reconocer que las iniciativas para el uso de los espacios, los ambientes y los recursos costeros, están cargadas, inevitablemente, de sesgos de interés de todo tipo.

Casco (2004, p. 4), refiere que el reto que afrontamos es lograr los mecanismos para hacer compatibles los intereses en pugna y derivar de la conciliación, decisiones comunes que den como resultado usos sustentables de los ambientes y los recursos de la costa.

Dada la complejidad de las interacciones que se producen de forma natural entre los ecosistemas terrestres, costeros y marinos que integran la zona y franja costera, aunado a las generadas por la actividad humana (socioeconómicas), exige que ante la política de desarrollo sustentable se planifique y ordene, el territorio y actividades que se dan o plantean y en cuyo proceso de gestión se ha de tener en

cuenta en todo momento el carácter dinámico de los ecosistemas (Pineda, Sánchez y Jiménez 1997, p. 428).

De acuerdo con lo anterior es conveniente considerar la complejidad que representa la gestión integrada, basada en una planificación coherente de todas y cada una de las actividades de uso y manejo que se dan o plantean sobre el espacio físico y sus recursos; ya que esta se da en principio en tratar de definir zona costera ya que como en México y según la definición de SEMARNAT, esta se extiende tierra adentro de los municipios que tienen frente litoral o están contiguos; sin embargo y como se ha anotado anteriormente, la vulnerabilidad y riesgo de afectación de ambientes o ecosistemas costeros se incrementa con el uso y manejo de las cuencas hidrográficas. Por lo que entonces si aguas arriba del municipio costero se ubica otro, entonces definir la zona costera se complica por intereses particulares de cada municipio por el uso y manejo de sus recursos, en donde destaca el agua como recurso vital y en cuyo manejo quedan implícitos todos los aspectos que implican los conceptos de huella hídrica y caudal ecológico (Chávez 2023, p. 59). Situación que en la región Noroeste de México, cobra relevancia dada la condición de aridez que caracteriza a gran parte de esta, y que se traduce derivado del crecimiento poblacional en la sobreexplotación de los acuíferos (Imaz, Wurl y Ramos 2018, pp. 2-5).

Otro aspecto que es importante resaltar sobre la complejidad que representa la gestión integrada de los recursos costeros, es el estudio de sus principales componentes: física, biológica y socioeconómica; ya que se requiere de un trabajo y análisis multidisciplinario e interdisciplinario para integrar un abanico de cuestiones tan amplio, y que al mismo tiempo requiere de tiempo y costo operativo, por lo que es común que la gestión quede supeditada a los lineamientos y normatividad de las instituciones gubernamentales (Chávez 2023, p. 59). En donde para reducir tiempo y costos, la gestión se efectúa con adaptaciones metodológicas elaboradas para realidades muy distintas, por lo que terminan por no ser operativos.

Así entonces tenemos que reconocer que al igual que los ordenamientos y planificación, la gestión, como refiere Briones (2005, p. 16), requiere de estudios locales, porque dependen de condiciones específicas de cada sitio, en donde para hacer operativa y eficiente la gestión se requiere como parte fundamental considerar la percepción y entendimiento que la población tiene de su entorno, puesto que esta percepción cambia de acuerdo con condiciones geográficas, históricas, económicas y culturales. En donde además para mantener su operatividad es el darle seguimiento a mediano y largo plazo ya que las condiciones y efectos de sus componentes varían en el tiempo, particularmente los efectos del crecimiento demográfico y de la industrialización, que modifican el entorno e incrementan el riesgo de deterioro ambiental, por lo que los estudios no actualizados se vuelven obsoletos.

Conclusiones

El grado de desarrollo económico de las regiones del norte del país es mayor que las del sureste ya que tienen frontera con los Estados Unidos de América, lo que ha permitido tener relación comercial con el país vecino (conevyt 2024). Sin embargo, esta situación es relativa ya que, en la mayor parte de los países con subdesarrollo económico como México, prefieren continuar utilizando los ecosistemas costeros para “crecer económicamente” a cualquier costo, sin importar el mañana y la calidad de vida de generaciones futuras (Chávez 2023, p. 51). Por lo que, en este contexto, podemos afirmar que los ecosistemas costeros que integran la región Noroeste, aun con una definición de zona costera continúan en riesgo de afectación como resultado del progresivo aumento de población e intensificación y diversificación de actividades en sus municipios costeros. Lo que se traduce en alteraciones y en la disminución o pérdida de servicios ambientales; cuyos beneficios se pierde de vista por intereses económicos. Así entonces los problemas ambientales avanzan con mayor rapidez que la capacidad de respuesta de las autoridades.

Lo cual genera un gran reto para la gestión integral costera; debido a la complejidad y dificultad que implica la homogeneidad o complementariedad que permitan conciliar intereses y conflictos. Por lo que de acuerdo con Casco (2004, p. 4), se deben tomar decisiones comunes que den como resultado usos sustentables de los ambientes y los recursos de la costa; decisiones para la protección de las áreas y recursos costeros vulnerables; decisiones de cooperación entre los diferentes usuarios y con las autoridades.

En este sentido de decisiones y cooperación entre los diferentes usuarios y autoridades, desde el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), y en particular de su Programa de Planeación Ambiental y Conservación, es que se ha tenido una activa participación en: proyectos de investigación. De todos estos proyectos se ha generado información y conocimiento que ha quedado plasmado en publicaciones científicas y divulgación, así como en libros y capítulos de estos; y se ha hecho de dominio público en reuniones, congresos y seminarios, así como en entrevistas realizadas en radio, televisión y periódicos. Se ha participado activamente en la declaración de áreas naturales protegidas y de sitios Ramsar. Así como en la de ordenamientos del que es de destacar el Dimensionamiento y Sustentabilidad de la Piscicultura en Costas de Baja California Sur, en el año de 2007 y el Ordenamiento de la Maricultura en el Pacífico Norte y Golfo de California: Diagnóstico y Modelo de Aptitud, en el año de 2012.

Es conveniente mencionar que en el trabajo realizado se ha puesto la dedicación y la pasión, que se plasma en la misión del Programa de Planeación Ambiental y Conservación del CIBNOR, y en este caso en particular al de las Costas del Noroeste de México, por lo que reiteramos que la conservación y buen uso y manejo de los ecosistemas costeros son factor de desarrollo sustentable económico y ambiental; en donde los beneficios no solo son para los habitantes sino que se traduce en beneficio para la humanidad ya que vale más un ecosistema en buenas condiciones que uno degradado.

Importancia social

Las costas en la República Mexicana en las últimas cinco décadas han adquirido suma importancia, al incorporarse nuevos municipios costeros, cuya importancia se refleja en su acelerado crecimiento poblacional, incentivado por múltiples razones; y en donde millones de personas demandan bienes y servicios que se refleja en la intensificación y diversificación de actividades, generando una compleja problemática costera. Así entonces las costas son de vital importancia para la sociedad, al ser un recurso natural que sustenta la vida, proporciona bienes y servicios ambientales y es fundamental para la economía y el bienestar social.

Perspectivas

Como se ha referido anteriormente, la problemática en la zona costera, ha alcanzado una mayor dimensión, por los efectos del cambio climático, en cuyo escenario la poca o nula planificación y ordenamiento y el desordenado incremento de áreas urbanas ha incrementado la vulnerabilidad y riesgo de afectación de ecosistemas y el de la población. Los retos que implica el cambio climático son evidentemente impresionantes y en muchos casos con impactos ya inevitables. La decisión estratégica fundamental consiste entonces no en reconocer la necesidad de enfrentar aquello que ya es inevitable sino descubrir la mejor forma de hacerlo (Galindo 2010, p. 13).

No desestimamos las dificultades que entraña el abordar la problemática costera; sólo entender las interacciones entre los ambientes terrestres y marinos de una región hidrológica en paisajes culturales y tecnológicos cambiantes plantea cómo subraya Alejandro Toledo "...a científicos y planificadores la necesidad de un nuevo paradigma basado en un enfoque holístico, que permita conocer cómo funcionan juntos, como sistemas fuertemente acoplados, complejos e integrados, los ríos, las costas y el mar; y de qué naturaleza son las funciones ecológicas y los

servicios ambientales que prestan, en conjunto, a la sostenibilidad del sistema terrestre y de las sociedades humanas”. (Casco 2004, p. 2).

En este sentido Aguilar (2020, p. 10), señala que la importancia y estrechez de la interacción sociedad-naturaleza son la causa de que los análisis ambientales recientes se refieran a esta interacción como socioecosistema. Cuyo concepto entiende a la sociedad como un elemento más del ecosistema y evita considerar al ambiente como algo ajeno a los humanos. Por ello, la idea de pensar que los procesos económicos y sociales están embebidos en el sistema natural es de una gran trascendencia para lograr el equilibrio que implica un desarrollo sostenible.

De acuerdo a la información presentada e independientemente de cómo se aborde la problemática del impacto ambiental y resiliencia en la zona costera, es conveniente considerar que el incremento poblacional y los procesos de urbanización continuarán en el corto, mediano y largo plazo, por lo que resulta importante la planificación y ordenamiento de la zona costera, con miras a la gestión integrada, dada la dinámica interacción ecosistema-sociedad, con el propósito de la conservación de los ecosistemas y de sus servicios ambientales.

Literatura citada

- Aguilar, I. A. (2020). Prólogo. En: V. S. Ávila, y Espejel, I. (Coord.), Resiliencia de Socioecosistemas Costeros (10-12). México: Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila, V. S., Espejel, I. y Salles, P. (2020). Introducción. En: V. S. Ávila, y Espejel, I. (Coord.), Resiliencia de Socioecosistemas Costeros (13-20). México: Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Briones, G. (2005). La complejidad del riesgo: breve análisis transversal. Revista de la Universidad Cristóbal Colón, 3(20), 9-19. www.eumed.net/rev/rucc/20/

- Calvo, G. T. (2001). Panorama de los Estudios Sobre Riesgos Naturales en la Geografía Española. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. (30), 21-35. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/382>
- Casco, M. R. (2004). La zona costera de México: definición. En: Evelia, R. A., E., Villalobos, Z. G., Azuz, A. I. y Rosado, M. F (Eds.), El Manejo Costero en México (pp. 1-4). México: Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/09/El-Manejo-Costero-en-Me%CC%81xico.pdf>
- Chávez, L. S. (2018). El Concepto de Riesgo. Recursos Naturales y Sociedad, 4 (1), 32-52. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.01.0003>
- Chávez, L. S. (2020). Efecto antrópico en la geomorfología y morfodinámica de la franja costera de la Laguna de La Paz, Baja California Sur, México. Investigaciones Geográficas, (e60084), 1- 15. [dx.doi.org/10.14350/rig.60084](https://doi.org/10.14350/rig.60084)
- Chávez, L. S. (1 de diciembre 2023). Impactos ambientales en las costas mexicanas. El Sol de México. <https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/impactos-ambientales-en-las-costas-mexicanas-5293477.html>
- Chávez, L. S. (2023). Franja costera y sus ecosistemas: problemática e importancia. Recursos Naturales y Sociedad, 9 (1), 49-63. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.01.0005>
- CONABIO. (1 de diciembre 2023). Mares Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mares-mexicanos>
- conevyt (9 de enero de 2024). Regiones de México. Instituto Nacional para la Educación de los Adultos. https://www.conevyt.org.mx/colaboracion/colabora/objetivos/libros_pdf/sso1_u3lecc2.pdf
- De Andrés, M. y Barragán, J.M. (2016). Desarrollo Urbano en el Litoral a Escala Mundial. Método de Estudio para su Cuantificación. Revista de Estudios Andaluces, 33 (1), 64-83. <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33.04>
- Galindo, L. M. (2010). La economía del cambio climático en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Imaz, L. M.A., Wurl, J. y Ramos, V. E. (2019). Future of Coastal Lagoon in Arid Zones under Climate Change and anthropogenic pressure. A Case Study from San

- Jose Lagoon, Mexico. Resources, 8 (57), 1-15.
doi:10.3390/resources8010057
- INEGI. (1 de diciembre 2023). División municipal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/div_municipal.aspx
- López, J. J. (2018). Desarrollo Económico y Bienestar Social en los Estados del Pacífico Mexicano. En: Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, (Coord.) Desigualdad Regional, Pobreza y Migración. (pp. 26-57). México: UNAM.
- Pineda, J., A. Sánchez y J. Jiménez. (1997). Plan para mejorar la gestión costera. En: E. Tarifeño (Ed.), Gestión de Sistemas Oceanográficos del Pacífico Oriental. (pp. 427-431). España: Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO.
- Ramírez, R. A., Martínez, R. A., y Aceves, Ch. G. (1 de diciembre 2023). Geografía patrimonio cultural y natural de México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/19628/geografia-patrimonio-cultural-y-natural-de-mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivera, K. (3 de enero de 2024). La importancia de frenar la degradación ecológica y promover la restauración: una mirada desde los servicios ecosistémicos. AGUA.org.mx. <https://agua.org.mx/actualidad/la-importancia-de-detener-la-degradacion-ecologica-y-promover-la-restauracion-una-mirada-desde-los-servicios-ecosistemicos/>
- Sánchez, A. A. (1984) Configuración de la línea de costa. En: Agustín, S. A. (Ed.). Curso Intensivo de Ingeniería de Costas. (pp. 309-323). Madrid: Institut Catala D' Enginyeria Civil.
- SEMARNAT (3 de enero de 2024). Islas y Áreas Protegidas del Golfo de California. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/islas-y-areas-protegidas-del-golfo-de-california269050#:~:text=El%20sitio%20abarca%20244%20islas,extensi%C3%B3n%20del%20Golfo%20de%20California.&text=Se%20ubica%20en%20los%20estados,California%20Sur%2C%20Sonora%20y%20Sinaloa>
- Twigg, J. (2007). Características de una Comunidad Resiliente ante los Desastres Nota Guía. Inglaterra: Departamento para el Desarrollo Internacional del Gobierno del Reino Unido.

Para citar esta obra:

Chávez López S.* y M. Á. Imaz Lamadrid. 2025. Costas del Noroeste de México En: Ortega-Rubio A. (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario.* (pp. 221-242). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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 *

cboucard04@cibnor.mx

Resumen

El uso intensivo de compuestos químicos potencialmente tóxicos para el ambiente y la salud humana es una problemática de gran interés para los gobiernos y la sociedad en general. En la industria agrícola se emplean una gran variedad de compuestos químicos como fertilizantes y plaguicidas. Este capítulo aborda en forma general las principales características químicas, biológicas, tóxicas y ambientales de los plaguicidas; enfocándose en los efectos secundarios y dañinos que estos generan, como: enfermedades graves y alteraciones de regulación génica y en el ciclo celular; entre otras. Adicionalmente se describen algunas de las estrategias y herramientas utilizadas para reconocer e identificar estos compuestos; en muestras ambientales (agua y suelo) y de individuos (sangre, orina, etc.); aborda el uso de biomarcadores moleculares y de las ciencias “ómicas”. Finalmente, este trabajo incluye la descripción de trabajos recientes realizados en el análisis e identificación de residuos de plaguicidas, efecto generado en biomarcadores moleculares y la identificación de moléculas nuevas que puedan funcionar como biomarcadores. Todos estos trabajos fueron realizados en una población urbano/rural con intensa actividad agrícola y turística, perteneciente al municipio de La Paz. Enfocados en la protección de la población laboral, infantil y residente en Todos Santos, BCS.

Palabras Clave: Plaguicidas, Biomarcadores moleculares, Contaminación ambiental, Daño genotóxico, Polimorfismos de susceptibilidad, Epigenética.

Abstract

The intensive use of chemical compounds potentially toxic to the environment and human health is a problem of great interest to governments and society in general. In the agricultural industry, a wide variety of compounds are used as fertilizers and pesticides. This chapter is addressed the main chemical, biological, toxic and environmental characteristics of pesticides; focusing on the secondary and harmful effects that these generate, such as: serious diseases and alterations in gene regulation and the cell cycle; among other. Additionally, some of the strategies and tools used to recognize and identify these compounds are described; in environmental samples (water and soil) and from individuals (blood, urine, etc.); addresses the use of molecular biomarkers and “omics” sciences. Finally, this work includes the description of recent studies carried out in the analysis and identification of pesticide residues, the effect generated in molecular biomarkers and the identification of new molecules that can function as biomarkers. All these works were carried out in an urban/rural population with intense agricultural and tourist activity, belonging to the municipality of La Paz. Focused on the protection of the working population, children and residents in Todos Santos, BCS.

Keywords: Pesticides, Molecular biomarkers, Environmental pollution, Genotoxic damage, Susceptibility polymorphisms, Epigenetics.

Introducción:

Si bien la industrialización y el desarrollo tecnológico que caracterizan la era actual han traído grandes beneficios para el hombre, también lo exponen a una gran cantidad de productos químicos que pueden inducir problemas graves. La actividad agrícola es ejemplo de esta situación; los agroquímicos utilizados en la producción de alimentos son insumos importantes para conseguir los niveles de producción mundial; sin embargo, la liberación y exposición de estos productos en el entorno natural generan severos problemas de contaminación que afecta a las poblaciones humanas y silvestres (Tudi et al., 2021).

Cada año, se producen millones de muertes en todo el mundo debido a la exposición a contaminantes causantes de diversas enfermedades. La exposición laboral y habitacional, el consumo de alimentos y agua contaminada; han sido descritos como factores de riesgo en el desarrollo de enfermedades crónicas en humanos. Lo que constituye una importante señal de alarma respecto al uso y exposición de las poblaciones a estos químicos (Curl et al., 2020).

Ante esta problemática, el desarrollo y la aplicación de las tecnologías “ómicas” (genómica, proteómica, transcriptómica, etc.) se han convertido en una poderosa estrategia para estudios ambientales y epidemiológicos; permitiendo constatar la asociación existente entre la presencia de algunos agroquímicos con daño generado a nivel celular o molecular en diversas biomoléculas o biomarcadores (Rodríguez et al., 2020).

Estos biomarcadores permiten reconocer efectos bioquímicos, genotóxicos, genéticos, epigenético o de alteración proteica en poblaciones expuestas a diversos agroquímicos. En algunos casos la presencia y exposición a estos compuestos impactan la regulación de la expresión génica, aumentando o disminuyendo la respuesta de la célula a la exposición y alterando la fisiología normal del organismo (Gangumi et al., 2016).

Las alteraciones ambientales dadas por la presencia de factores químicos, físicos o biológicos pueden considerarse una amenaza a la salud pública y la vulnerabilidad estaría dada en términos de la incapacidad de la población para responder a la presencia de dichos contaminantes ambientales.

Características y clasificación toxicológica de los plaguicidas

Los plaguicidas sintéticos son sustancias que se diseñaron para matar a una especie o a un taxón biológico considerado plaga. Los tres grandes grupos de plaguicidas que se emplean de manera extensiva e intensiva en el mundo son los herbicidas, insecticidas y fungicidas. Una sustancia química se considera tóxica cuando se manifiesta un efecto adverso en el organismo expuesto. Dicha toxicidad depende de la conjunción de tres factores: el tipo de compuesto (plaguicida), el organismo (especie) y el lapso de exposición (tiempo) (Tudi et al., 2021).

Una manera de medir la toxicidad de un compuesto es la dosis letal media (DL_{50}), que es la cantidad del compuesto necesario para matar al 50% de la población expuesta al tóxico dentro de un lapso de tiempo (máximo 96 hrs). La DL_{50} se emplea para el registro de las sustancias químicas como los plaguicidas y es un requisito necesario para su autorización y comercialización. Sin embargo, esta medición no aporta información sobre los efectos tóxicos a mediano y largo plazo, ni los efectos patológicos no letales ocasionados en los individuos.

Debido a lo anterior organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) propusieron una clasificación por nivel de riesgo o peligro para la salud o el ambiente.

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

Conforme a los sistemas de clasificación propuestos por la OMS y SGA, de acuerdo a su toxicidad, los plaguicidas se clasifican como: 1) toxicidad aguda, 2) efecto a largo plazo y 3) peligrosidad ambiental (Tudi et al., 2021). Por ejemplo: los plaguicidas con toxicidad aguda alta son compuestos clasificados como extremadamente peligrosos (Clase Ia), altamente peligrosos (Clase Ib) y mortal si se inhala (H330) de acuerdo a la SGA.

Los plaguicidas con efectos a largo plazo son los que la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (US EPA) los clasifican como: agente carcinógeno, probable carcinógeno o posible carcinógeno humano; además de las sustancias que inducen mutaciones hereditarias en las células germinales de seres humanos o que son adversas para la reproducción humana (alteración endócrina). Aunque también se deben incluir a los plaguicidas que tienen efectos mutagénicos (modificación de genes), teratogénicos (efectos sobre desarrollo embrionario) y sobre los sistemas nervioso o inmunológico, entre otros.

Es importante señalar que un compuesto puede tener más de un efecto adverso dependiendo del tiempo de exposición y de la especie. Por ejemplo, el clorpirifós es un insecticida organofosforado muy utilizado, y el principal modo de acción toxicológica es la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa (sistema nervioso), sin embargo, están muy bien documentados sus efectos como: disruptor endócrino, alteraciones del comportamiento y teratogénico en peces (Ubaid et al., 2021).

Los plaguicidas que se clasifican con criterios de peligrosidad ambiental son los que presentan alta toxicidad hacia especies animales domésticas o silvestres como las abejas y organismos acuáticos, además de ser muy bioacumulables y tener alta persistencia en el medio (vida media prolongada) en agua, suelo o sedimento. Un caso notable es el grupo de insecticidas neonicotinoides ya que son extremadamente tóxicos para las abejas (polinizadores vitales), aun cuando estos

compuestos tienen una toxicidad muy baja para los mamíferos, incluidos los humanos. Debido a lo anterior en 2018 la Unión Europea prohibió el uso de tres neonicotinoides (Auteri et al., 2017).

Una parte fundamental para establecer el impacto que tienen los plaguicidas sobre la salud humana es la evidencia epidemiológica. Los estudios epidemiológicos son de índole observacional y existen principalmente tres tipos: 1) estudio de casos y controles, 2) estudio transversal y 3) estudio de cohorte. En los estudios de casos y controles, se identifican individuos con o sin una enfermedad específica y luego se mide la exposición a plaguicidas en cada persona. En los estudios transversales, se evalúa la exposición individual y la enfermedad en un momento determinado o durante un período corto y definido. En los estudios de cohorte, se realiza un seguimiento a lo largo del tiempo de un grupo de individuos que comparten una característica común, por ejemplo: ser trabajador de campo y a la vez se registra la exposición y las enfermedades individuales que puedan surgir en el grupo (Hernández, 2017).

Al investigar los efectos sobre la salud asociados con una exposición particular se deben probar hipótesis biológicamente plausibles, esto es, evaluar la causalidad entre la exposición a plaguicidas y las enfermedades potenciales. El estudio debe realizar un análisis de dosis-respuesta, donde se establezca la presencia y magnitud del efecto en relación con el tiempo de exposición y la concentración de plaguicida en algún tejido o fluido biológico del individuo.

Para determinar la presencia ambiental de un plaguicida se debe llevar a cabo un monitoreo biológico en la población de estudio y en el entorno (agua, aire, alimentos, etc.). Para el monitoreo de seres vivos es importante conocer las características fisicoquímicas de los plaguicidas, con el fin de seleccionar el tipo de muestra óptima para el estudio, por ejemplo: orina, sangre, cabello y/o uñas, biopsia, frotis, etc. Generalmente el muestreo se lleva a cabo durante un tiempo

limitado por lo que en ocasiones este lapso puede no ser suficiente como para reflejar con precisión los patrones longitudinales de la exposición.

El muestreo de sustratos ambientales para determinar las concentraciones de plaguicidas es muy útil para estimar las exposiciones potenciales definidas por límites geográficos, aunque se pierde precisión en cuestión de la exposición real en los individuos (Ohlander et al., 2020).

Un ejemplo de la dificultad de establecer una causalidad con una enfermedad es el cáncer, ya que este tipo de patología puede tardar varios años en manifestarse; a pesar de ello, se tiene evidencia de que algunos plaguicidas pueden causar cáncer en el ser humano por exposiciones crónicas.

Limitantes en los estudios sobre el impacto de los plaguicidas en la salud son: el bajo interés de participación de la población y el costo de los análisis químicos. Debido a lo anterior es preciso que estos estudios sean multidisciplinarios y se cuente con los recursos humanos y financieros suficientes para establecer con bases científicas el riesgo que representan los plaguicidas.

La colaboración establecida entre investigadores de ciencias biomédicas y ambientales de las Instituciones: Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED); Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Universidad Autónoma de Campeche (UACAM) y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), permitió enfocar nuestras líneas de investigación en la realización de estudios multidisciplinarios relacionados con la exposición y efecto de agroquímicos en niños y adultos expuestos a plaguicidas de la comunidad de Todos Santos BCS, cuyos resultados se muestran a continuación.

Riesgo genotóxico en infantes expuestos a plaguicidas organoclorados

Este trabajo se desarrolló en una zona rural cercana a la comunidad de Todos Santos, BCS. Se enfocó en la evaluación de los posibles efectos tóxicos en el genoma celular de niños entre 6 a 12 años de edad expuestos a plaguicidas (Anguiano et al., 2020). Se identificaron y determinaron las concentraciones de plaguicidas organoclorados (OCs) en muestras de cabello de niños de dos escuelas de educación básica: una de ellas expuesta a fumigaciones en campos agrícolas aledaños (ubicada a 50 metros de parcelas con cultivos de chile) y otra escuela no expuesta a plaguicidas (situada a 1000 metros de las parcelas). Se encontraron 18 diferentes tipos de OCs siendo los más frecuentes cisclordano, endosulfan y sus metabolitos, DDT y sus metabolitos, dieldrin y aldrin; el total acumulado de OCs fue 28.19 $\mu\text{g/g}$ para los niños de la escuela expuesta. Solamente el lindano y sus metabolitos mostraron alta frecuencia en la escuela no expuesta; cabe destacar que este compuesto es el agente activo más utilizado en productos para control de ectoparásitos como piojos y liendres; el total acumulado de OCs para los niños de la escuela no expuesta fue de 4.39 $\mu\text{g/g}$.

Así mismo se tomaron muestras de epitelio bucal de los infantes y fueron preparados frotis celulares en laminillas de vidrio para observación por microscopía de fluorescencia. Se cuantificaron las anomalías nucleares totales en las células bucales como: micronúcleos (MNi), cromatina condensada, cariorrexis, picnosis, células binucleadas, cariólisis, núcleos lobulados y apoptosis (Figura 34). Si bien no se reconocieron diferencias significativas en la presencia de MNi entre los escolares; la prevalencia de OCs en ambas escuelas fue superior al 50% y la frecuencia de MNi en los niños fue relativamente alta, con porcentajes superiores al 58%.

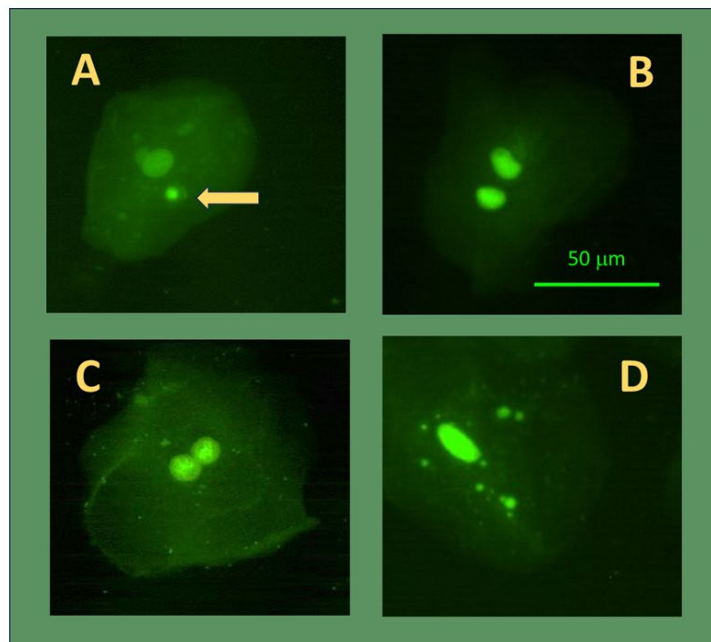


Figura 34. Microfotografías de fluorescencia de células de epitelio bucal con aberraciones nucleares. A) Célula con micronúcleo, indicado con la flecha; B) célula binucleada; C) célula con núcleo lobulado; D) célula en apoptosis.

Los niños de la escuela expuesta mostraron concentraciones de OCs más elevadas y tuvieron niveles más altos de anomalías nucleares en sus células bucales. Se determinó el riesgo relativo (RR) y la razón de probabilidades de prevalencia odds ratio (OR) para la presencia de MNi y anomalías nucleares totales en células bucales en relación con las concentraciones de OCs en las muestras de cabello. Ambas proporciones fueron altas para MNi mostrando un RR de 3.93 y un OR de 7.97; e indican una alta probabilidad de desarrollar MNi en células bucales cuando las concentraciones de OCs superan los 0.447 $\mu\text{g/g}$ en cabello.

Estos bioindicadores son eficientes para la evaluación del daño genotóxico en niños expuestos a compuestos persistentes y altamente tóxicos. Los resultados obtenidos sugieren el riesgo potencial al que están expuestos diariamente estos escolares debido a las fumigaciones en campos agrícolas cercanos.

Polimorfismos genéticos y análisis proteómico en población expuesta a plaguicidas

Los nuevos conocimientos sobre la identificación de variantes y polimorfismos genéticos han permitido ahondar en el estudio de biomarcadores asociados a la exposición de diversos plaguicidas. En general se utilizan proteínas y genes que son blanco de toxicidad o participantes en la respuesta a la exposición, por ejemplo: se analizan polimorfismos de enzimas relacionadas en los procesos de detoxificación como la Familia del citocromo P450 (CYP), la glutatión S-transferasa (GST) y enzimas de la respuesta antioxidante como la superóxido dismutasa (SOD) (Eaton, 2000) De igual forma se han realizado diversos estudios proteómicos en modelos animales y humanos expuestos a plaguicidas con el objetivo de encontrar biomarcadores diagnósticos tempranos de la intoxicación (Louati et al., 2023).

En el año 2019 nuestro grupo realizó un estudio en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas de forma crónica (más de 3 años de exposición laboral), radicados en Todos Santos BCS (Santillán et al., 2020). Se cuantificó la concentración de OCs en sangre; detectando diversos compuestos como el DDT y sus metabolitos, endosulfán y dieldrín. Las muestras fueron separadas en 2 grupos en función de la concentración total de OCs: el grupo de baja concentración presentó un rango entre 0 a 8.39 $\mu\text{g/mL}$ y sumatoria acumulada de 99.37 $\mu\text{g/mL}$; el grupo de alta concentración mostró valores entre 8.51 y 60.39 $\mu\text{g/mL}$ y una sumatoria acumulada de 718.98 $\mu\text{g/mL}$.

Se evaluó la actividad de GST y la frecuencia de los polimorfismos GST M1/*0 y GST T1/*0 en los individuos. Se encontró que el grupo de baja concentración muestra mayor actividad GST respecto al grupo de alta concentración; y que la presencia de alguno de los polimorfismos nulos GST M1*0 o GST T1*0 y la ocurrencia de ambos polimorfismos nulos se presentan con mayor frecuencia en el grupo de alta concentración de plaguicidas. En base a estos resultados se concluye

que la actividad GST está relacionada con la exposición a OCs y que la disminución en la actividad GST en el grupo de alta concentración pudiera estar asociada con la alta prevalencia de los polimorfismos nulos de GSTM1 y GSTT1.

Adicionalmente se realizaron análisis proteómicos del suero de esta población mediante PAGE-2D y LC-ESI-IMS-QToF identificándose 15 proteínas expresadas diferencialmente entre el grupo expuesto a OCs y un grupo control sin exposición; se seleccionaron 3 posibles biomarcadores candidatos para validación del análisis siendo la β -actina, la S100A9 y la haptoglobina (Hp). Posteriormente, se evaluó mediante Western Blot la expresión de la β -actina y la S100A9 en los grupos control y expuesto. Los análisis densitométricos indicaron que no existe diferencia en la expresión de la β -actina entre los grupos analizados, mientras que para S100A9 se observó un aumento de expresión en los grupos expuestos en comparación con el grupo control, considerando a la S100A9 un potencial biomarcador de exposición crónica. La Hp se cuantificó mediante la técnica ELISA, observando una disminución en su concentración en el grupo expuesto a altas concentraciones de OCs con respecto al grupo control (artículo en preparación).

La Hp es una glicoproteína implicada entre otras funciones con la protección frente al daño oxidativo. La Hp es una proteína polimérica conformada por 2 subunidades β y 2 subunidades α , la subunidad α es polimórfica, con 2 isoformas ($\alpha 1$ y $\alpha 2$). Esta conformación permite presentar tres posibles fenotipos de Hp respecto a la presencia de tipo de subunidad α : Hp 1-1 (16%), Hp 2-1 (48%) y Hp 2-2 (36%) (Levy et al, 2010). La presencia de estas isoformas de Hp fue analizada mediante Western Blot en los grupos control y expuesto a OCs, identificando una prevalencia global del fenotipo Hp 1-1 del 33%, para el Hp 2-1 de 27% y para el Hp 2-2 fue del 40% (Díaz Blanco, 2022). El fenotipo Hp 2-1 fue predominante en el grupo control, mientras que en el grupo expuesto el fenotipo predominante fue el Hp 2-2 (Figura 35). Estos datos nos sugieren que la variabilidad de los fenotipos pudiera estar asociada a la susceptibilidad de los individuos a presentar mayor bioacumulación de los OCs y en consecuencia incrementar el riesgo a sufrir daño

AGROQUÍMICOS Y SUS EFECTOS

celular; considerando que los portadores del fenotipo Hp 2-2 presentan una menor capacidad antioxidante. Además, en este estudio se confirma que la concentración de Hp decae al incrementarse la concentración de OCs, en los individuos que presentan el fenotipo Hp 2-2. De acuerdo a estos resultados, se propone a la Hp como un potencial biomarcador de efecto, y también como biomarcador de susceptibilidad frente a la exposición a OCs.

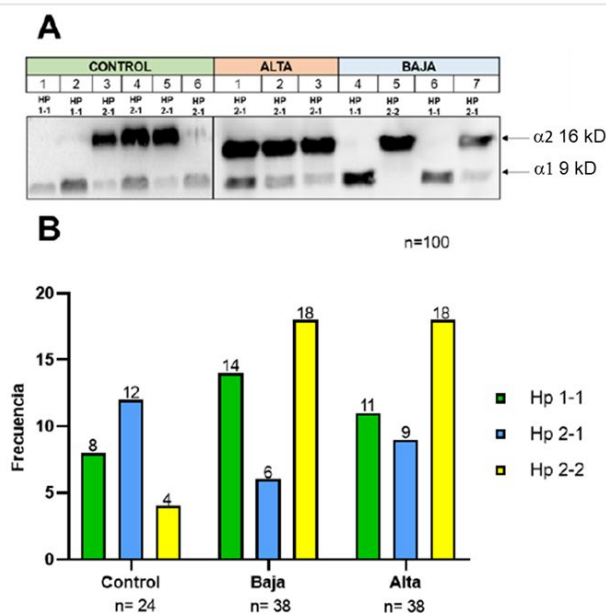


Figura 35. Identificación y frecuencia de fenotipos para haptoglobina en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas. A) Western Blot de las isoformas de la subunidad α en individuos de los diferentes grupos; B) Frecuencia en porcentaje de fenotipos Hp 1-1, Hp 2-1 y Hp 2-2 para cada grupo.

Epigenética de agroquímicos en salud humana

Los procesos epigenéticos actúan mediante una serie de mecanismos fisiológicos que involucran modificación de ADN, ARN e histonas; y que colectivamente contribuyen a programar funciones citológicas y diferenciación celular, mediante cambios puntuales en las moléculas con actividad reguladora del genoma. Los procesos epigenéticos más estudiados son principalmente aquellos que actúan sobre el ADN ya que producen disfunciones celulares significativas.

Se ha demostrado que numerosas patologías como: diversos tipos de cáncer, obesidad, enfermedad renal, enfermedad ovárica, anomalías gestacionales, trastornos conductuales e inmunológicos dependen de modificaciones epigenéticas inducidas por desencadenantes ambientales. El inicio y la progresión de muchas enfermedades dependen en gran medida de una desregulación epigenética persistente, causada por alteraciones ambientales en las primeras etapas de la vida (Giambo et al., 2021).

El estudio del daño epigenético producido por los agroquímicos puede ayudar a identificar biomarcadores de uso diagnóstico. Estos compuestos modulan los niveles de expresión de genes, generan alteraciones en la concentración de miARNs y modifican la metilación de ADN. Adicionalmente inducen efectos adversos mediante mecanismos endócrinos, al alterar las sustancias químicas y activar a los receptores endocrinos nucleares, generando modificaciones en proceso de expresión y regulación génica a nivel epigenético (Warner et al., 2019).

Hay evidencia de que el glifosato y compuestos derivados de éste, producen cambios en metilación global del ADN, metilación de genes específicos, modificación de histonas, expresión diferencial de ARN no codificantes e inducen la herencia transgeneracional de enfermedades y epimutaciones de la línea germinal espermática (Bukowska et al., 2022).

El impacto epigenético de los agroquímicos en genes, ADN, y proteínas entre otros se puede determinar en muestras tales como plasma, suero, sangre, orina entre otras. Cada consecuencia química se puede detectar con un método diferente, dichos efectos se han observado en genes, tejidos y células. Por ejemplo la permetrina y la N,N-dietil-meta-toluamida (DEET), pueden determinarse mediante estudios de asociación del epigenoma completo (EWAS). El estudio se realizó en ratas y ayudó a identificar biomarcadores que pueden ser utilizados para determinar la susceptibilidad a enfermedades (Thorson et al., 2020).

Actualmente se encuentra en proceso un estudio sobre los efectos epigenéticos inducidos en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas OCs en los cultivos de chile aledaños a la comunidad de Todos Santos BCS. Se analizaron los niveles de metilación global de genoma de los individuos comparándolos con un grupo control no expuesto y separando a los trabajadores en un grupo de baja concentración y otro de alta concentración de OCs, la metilación global de ADN se comparó con el nivel promedio de metilación para el genoma del ser humano, al momento los resultados se mantienen en fase de análisis y se pretende continuar el análisis de metilación de genes específicos asociados con los procesos de detoxificación y respuesta a estrés oxidativo. Así como otros biomarcadores asociados a patologías relacionadas con la exposición crónica como: leucemia, alteraciones hepáticas y renales, inmunológicas, síndrome metabólico, Parkinson, Alzheimer, entre otras.

Conclusiones

La presencia generalizada de agroquímicos, sus metabolitos y productos de degradación, así como sus efectos en la salud humana, se han demostrado a nivel mundial por la comunidad científica por medio de diferentes estudios. Nuestro aporte a este problema, ha sido constatar daño genotóxico, genético y epigenético en población humana expuesta, con el fin de determinar biomarcadores capaces de ser utilizados en la prevención de los efectos de estos químicos en la población expuesta, así como en la toma de decisiones de parte de las autoridades reglamentarias y las acciones necesarias a implementar para la protección de la salud humana.

Importancia social

La determinación de los daños en la salud humana causados por la exposición a agroquímicos tiene un importante aporte social al permitir identificar riesgos, prevenir enfermedades y promover políticas públicas para proteger la salud de las personas y el medio ambiente. Al evaluar los efectos de los agroquímicos en la salud, se puede mejorar la seguridad alimentaria, reducir la contaminación ambiental y fomentar prácticas agrícolas sostenibles.

Parte sustancial del contenido de este capítulo incluye trabajos de investigación realizados en la localidad de Todos Santos, BCS. Dichos estudios han contado con el apoyo y colaboración de organizaciones sociales de residentes y trabajadores agrícolas del poblado; así como con la participación de instituciones gubernamentales como el servicio de bomberos local, autoridades de escolares y otras autoridades municipales. Estos trabajos se enfocan exclusivamente en el interés de mejorar la salud pública de los residentes de Todos Santos y de mejorar la calidad de vida de los pobladores y del entorno natural en que se desarrollan.

Perspectivas

Es necesario incrementar los esfuerzos en el desarrollo de proyectos de monitorización en la exposición a contaminantes ambientales, como los plaguicidas agrícolas; así como en el uso de herramientas novedosas en biología molecular y genómica “de nueva generación” y otras “ómicas”. Nuestro grupo ha desarrollado trabajos relevantes en apoyo a la salud pública de la población de Todos Santos. Se debe confirmar la utilidad de los candidatos a biomarcadores haptoglobina y S100A9 y culminar el estudio de epigenética de proteínas relevantes en los fenómenos de exposición a plaguicidas.

Literatura citada

- Anguiano, G.A., Cazares-Ramirez, L.H., Rendon Von-Osten, J., Santillan-Sidon, A. P., and Vazquez Boucard, C.G. (2020). Risk of genotoxic damage in schoolchildren exposed to organochloride pesticides. *Scientific Reports*, 10, 17584. <https://doi.org/10.1038/541598-020-74620-w>.
- Auteri, D., Arena, M., Barmaz, S., Ippolito, A., Linguadoca, A., Molnar, T., Sharp, R., Szentes, C., Vagenende, B., and Verani, A. (2017). Neonicotinoids and bees: The case of the European regulatory risk assessment. *Sci Total Environ*. 579:966-971. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.158>.
- Bukowska, B., Woźniak, E., Sicińska, P., Mokra, K., and Michałowicz, J. (2022). Glyphosate disturbs various epigenetic processes in vitro and in vivo - A mini review. *Sci Total Environ*, 851(Pt 2):158259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158259>.
- Curl, C.L., Spivak, M., Phinney, R., and Montrose, L. (2020). Synthetic Pesticides and Health in Vulnerable Populations: Agricultural Workers. *Curr Environ Health Rep*. 7(1):13-29. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00266-5>.
- Díaz Blanco, D.A. (2022). Evaluación de biomarcadores asociados a exposición de plaguicidas organoclorados en individuos expuestos ocupacionalmente [Tesis de Maestría] UJED. Facultad de Ciencias Químicas, Durango.
- Eaton, D.L. (2000). Biotransformation enzyme polymorphism and pesticide susceptibility. *Neurotoxicology* 21(1-2):101-11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10794390/>.
- Gangemi, S., Gofita, E., Costa, C., Teodoro, M., Briguglio, G., Nikitovic, D., Tzanakakis, G., Tsatsakis, A.M., Wilks, M. F., Spandidos, D. A., and Fenga, C. (2016). Occupational and environmental exposure to pesticides and cytokine pathways in chronic diseases (Review). *Int J Mol Med*. 38 (4):1012-20. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2016.2728>.
- Giambo, F., Leone, G. M., Gattuso, G., Rizzo, R., Cosentino, A., Cina, D., Teodoro, M., Costa, C., Tsatsakis, A., Fenga, C., and Falzone, L. (2021). Genetic and Epigenetic Alterations Induced by Pesticide Exposure: Integrated Analysis of Gene Expression, microRNA Expression, and DNA Methylation Datasets. *Int J Environ Res Public Health*, 18(16):8697. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168697>.
- Hernández, V. (2017). Estudios epidemiológicos: tipos, diseño e interpretación. *Enfermedad Inflamatoria Intestinal al Día* 16(3):98-105. <https://doi.org/10.1016/j.eii.2017.03.001>.

- Levy, A.P., Asleh, R., Blum, S., Levy, N.S., Miller-Lotan, R., Kalet-Litman, S., Anbinder, Y., Lache, O., Nakhoul, F.M., Asaf, R., D. Farbstein, M. Pollak, Y. Z. Soloveichik, M. Strauss, J. Alshiek, A. Livshits, A. Schwartz, H. Awad, K. Jad, and H. Goldenstein (2010)]. Haptoglobin: basic and clinical aspects. *Antioxid Redox Signal*, 12(2):293-304. <https://doi.org/10.1089/ars.2009.2793>.
- Louati, K., Maalej, A., Kolsi, F., Kallel, R., Gdoura, Y., Borni, M., Hakim. L.S., Zribi, R., Choura, S., Sayadi, S., Chamkha, M., Mnif, B., Khemakhem, Z., Boudawara, T.S., Boudawara, M.Z., and Safta, F. (2023). Shotgun Proteomic-Based Approach with a Q-Exactive Hybrid Quadrupole-Orbitrap High-Resolution Mass Spectrometer for Protein Adductomics on a 3D Human Brain Tumor Neurospheroid Culture Model: The Identification of Adduct Formation in Calmodulin-Dependent Protein Kinase-2 and Annexin-A1 Induced by Pesticide Mixture. *J Proteome Res*. 22(12):3811-3832. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.3c00484>.
- Ohlander, J., Fuhrmann, S., Basinas, I., Cherrie, J.W., Galea, K.S., Povey, A.C., van Tongeren, M., Harding, A.H., Jones, K., Vermeulen, R., and Kromhout, H. (2020). Systematic review of methods used to assess exposure to pesticides in occupational epidemiology studies, 1993-2017. *Occup Environ Med*. 77(6):357-367. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105880>.
- Rodríguez, A., Castrejón-Godínez, M.L., Salazar-Bustamante, E., Gama-Martínez, Y., Sánchez-Salinas, E., Mussali-Galante, P., Tovar-Sánchez, P.E., Ortiz-Hernández, M.L. (2020). Omics Approaches to Pesticide Biodegradation. *Curr Microbiol*. 77(4):545-563. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-01916-5>.
- Santillán-Sidón, P., Pérez-Morales, R., Anguiano, G.A., Ruiz-Baca, E., Rendon-von Osten, J., Olivas-Calderón, E., and Vazquez-Boucard, C. (2020). Glutathione S-transferase activity and genetic polymorphisms associated with exposure to organochloride pesticides in Todos Santos, BCS, Mexico: a preliminary study. *Environ Sci Pollut Res Int*. 27(34):43223-43232. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10206-3>.
- Thorson, J.L.M., Beck, D., Ben Maamar, M., Nilsson, E.E., Skinner, M. K. (2020). Epigenome-wide association study for pesticide (Permethrin and DEET) induced DNA methylation epimutation biomarkers for specific transgenerational disease. *Environ Health*, 19(1):109. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00666-y>.
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., and Phung, D.T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *Int J Environ Res Public Health*, 18 (3):1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>.

- Ubaid, U.R.H., Asghar, W., Nazir, W., Sandhu, M. A., Ahmed, A., and Khalid, N. (2021). A comprehensive review on chlorpyrifos toxicity with special reference to endocrine disruption: Evidence of mechanisms, exposures and mitigation strategies. *Sci Total Environ.* 755(Pt 2):142649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142649>.
- Warner, G.R., Mourikes, V.E., Neff, A.M., Brehm, E., and Flaws, J.A. (2020). Mechanisms of action of agrochemicals acting as endocrine disrupting chemicals. *Mol Cell Endocrinol.* 502:110680. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2019.110680>.

Para citar esta obra:

Anguiano Vega, A. G., E. Ruiz Baca, J. R. Parra Unda, J. Rendón von Osten, M. G. Nieto Pescador y C. Vázquez Boucard *. 2025. Agroquímicos y sus efectos en la salud humana. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 243-260). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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.

guerrero04@cibnor.mx

Resumen

En México y en diversos países del mundo, las actividades relacionadas con el uso de la fauna silvestre son reconocidas como productoras de impactos económicos importantes, particularmente en aquellos sitios donde se llevan a cabo este tipo de actividades. El conocimiento del alto valor económico que generan los recursos naturales es el punto de partida para convencer a los sectores privado y público a invertir en la conservación de éstos, basándose en la rentabilidad privada y social de los recursos naturales. Las actividades recreativas con mayor atractivo tanto para personas mexicanas como extranjeras se han centrado la cacería deportiva o cinegética, actividad que produce grandes beneficios económicos y que provee de bienes y servicios a los dueños de los predios donde se encuentran la fauna silvestre. Si bien un amplio espectro de las especies de fauna silvestre de México es susceptible de ser aprovechada por el hombre, existe aquella que es de interés cinegético, es decir, la que se aprovecha en su hábitat natural a través de cacería deportiva. En este tipo de actividad existe una amplia derrama económica, de la que se benefician ejidatarios y comuneros dueños de los predios, aunado a los beneficios ecológicos que se reflejan en la conservación del hábitat. Tal es el caso del borrego cimarrón, de gran relevancia económica y cultural en las zonas donde se distribuye (Sonora, Baja California y Baja California Sur), ya que genera fuentes

de trabajo e ingresos a los pueblos y comunidades que lo manejan. Tal es el caso del borrego cimarrón, de gran relevancia económica y cultural en las zonas donde se distribuye (Sonora, Baja California y Baja California Sur), ya que genera fuentes de trabajo e ingresos a los pueblos y comunidades que lo manejan. El establecimiento de UMAs en Baja California Sur, benefició sustancialmente el manejo del borrego cimarrón, porque se modificó el modelo restrictivo tradicionalmente empleado para la gestión de la vida silvestre, de tal manera que se crearon oportunidades de aprovechamiento sustentables, legales y viables, que son compatibles con otras actividades productivas convencionales, como la agricultura, ganadería o pesca. Baja California Sur contribuye en gran medida a la consolidación de un ensamblaje nacional entre la riqueza biológica y la cultural, gracias a que en el estado existe una diversidad de relieves, cuencas, climas, especies y ecosistemas, así como un alto componente social, de tal manera que la implementación de las UMAs ha buscado que los mecanismos de manejo de la vida silvestre sean compatibles con su aprovechamiento racional.

Palabras clave: Borrego cimarrón, Cinegética, Cacerías, Ejidos, Manejo, Recurso natural, Sustentabilidad.

Abstract

In Mexico and in several countries around the world, activities related to the use of wildlife are recognize as producing significant economic impacts, particularly in those places where these types of activities are carried out. Knowledge of the high economic value generated by natural resources is the starting point for convincing the private and public sectors to invest in their conservation, based on the private and social profitability of natural resources. Knowledge of the high economic value generated by natural resources is the starting point for convincing the private and public sectors to invest in their conservation, based on the private and social profitability of natural resources. The recreational activities with the greatest

attraction for both Mexicans and foreigners have focused on sport hunting or hunting, an activity that produces great economic benefits and provides goods and services to the owners of the properties where the wildlife found. Although a wide spectrum of wildlife man can exploit species in Mexico, one is of hunting interest, that is, that which used in its natural habitat through sport hunting. This type of activity, there is a wide economic spillover, which benefits ejidatarios and comuneros who own the land, together with the ecological benefits that reflected in the conservation of the habitat. Such is the case of the bighorn sheep, of great economic and cultural relevance in the areas where it is distributed (Sonora, Baja California and Baja California Sur), since it generates sources of work and income for the towns and communities that manage it. Such is the case of the bighorn sheep, of great economic and cultural relevance in the areas where it is distributed (Sonora, Baja California and Baja California Sur), since it generates sources of work and income for the towns and communities that manage it. The establishment of UMAs in Baja California Sur substantially benefited bighorn sheep management, because the restrictive model traditionally used for wildlife management was modify, in such a way that sustainable, legal and viable exploitation opportunities were created, which are compatible with other conventional productive activities, such as agriculture, livestock or fishing. Baja California Sur contributes largely to the consolidation of a national assembly between biological and cultural richness, thanks to the diversity of reliefs, basins, climates, species and ecosystems, as well as a high social component, in such a way that the implementation of the UMAs has sought to make wildlife management mechanisms compatible with their rational use.

Keywords: Bighorn sheep, Hunting, Hunting, Ejidos, Management, Natural resource, Sustainability.

Introducción

La diversidad biológica del planeta brinda directa e indirectamente beneficios al ser humano (Costanza *et al.*, 1997, pp. 253-260; Álvarez-Icaza, 2006, pp. 5-17), quien ha buscado la manera de aprovecharla para su sobrevivencia. En este sentido la interacción humano-animal, ha constituido un vínculo imprescindible en todas las sociedades a lo largo de la historia (Graham, 1990 pp. 288-309), ya que siempre ha jugado un papel relevante y constante de usos y prácticas de manejo por sus múltiples valores, que dependen de cada grupo social, contexto histórico y geográfico específico (Pérez-Gil *et al.*, 1995, pp. 147-160; Wedson-Medeiros *et al.*, 2019, pp. 402-411). Así, a través del tiempo, las culturas de todo el mundo han desarrollado formas particulares de interacción con la fauna autóctona, utilizándola como fuente de alimento, para uso medicinal, comercial (caza deportiva), ornamentos, vestimenta, mágico-religioso y acompañamiento (Campbell, 1994, p. 193; Hurley, *et al.*, 2015, pp. 784-796; Quiceno-Mesa, *et al.* 2015, p. 19).

En particular las actividades de uso recreacional son reconocidas como generadoras de beneficios económicos (Loft, 1998, p. 42; Sportsmen's Alliance Foundation, 2021, p. 45), lo cual es un factor importante en lo relativo al manejo de los recursos naturales, ya que el reconocimiento del alto valor económico que generan, puede ser el punto de partida para convencer a los sectores privado y público a invertir en la conservación de éstos (Guajardo & Martínez, 2004, pp.1-17; Ali, 2015, pp.1-17). En México, entre las actividades recreativas de mayor atractivo se encuentra la cacería deportiva o cinegética (Guajardo & Martínez, 2004, pp.1-17; Adhikari *et al.*, 2021, pp. 1-12; Ruiz-Mondragón *et al.*, 2023, pp.2-20). Como una variante del turismo de naturaleza, se encuentra el turismo cinegético, que es definido como “una serie de actividades que realiza un cazador deportivo, tanto nacional como extranjero, que visita destinos donde se permite la caza de fauna silvestre en su entorno natural, y que la práctica de esta actividad se encuentra dentro en un marco de sustentabilidad” (Guajardo & Martínez, 2004, pp.1-17). La importancia de este tipo de turismo reside en el potencial que representa a nivel

económico, social y ambiental, especialmente cuando se aplica de manera sustentable, lo que permite el desarrollo local de zonas rurales y ejidales, siendo una herramienta válida para la conservación de la naturaleza y la diversidad biológica (Bañuelos-Frías, 2020, p. 20).

Por otra parte, la cacería deportiva es considerada como una actividad recreativa tradicional, que está ligada a la historia misma del ser humano. Su práctica depende fundamentalmente de la presencia de vida silvestre y ésta última con la abundancia de recursos naturales (Valdés & Segundo, 2007, p. 280; Hernández-Silva *et al.*, 2018, pp. 31-41). En Estados Unidos, Canadá y México, la cacería es una actividad económica rentable que provee ingresos importantes y genera una cantidad significativa de empleos (Bañuelos-Frías, 2020, p. 20). También en África existe una enorme oferta cinegética atractiva que ha mejorado substancialmente la recepción de la demanda de esta actividad.

En Sonora, Baja California y Baja California Sur, el borrego cimarrón tiene una gran relevancia cultural y económica lo cual permite generar fuentes de trabajo e ingresos a los pueblos y comunidades ejidales poseedoras de tierras donde se distribuye este borrego, lo cual les permite su manejo (SEMARNAT, 2000, p. 25; Lee, 2008, pp. 53-58). En general el aprovechamiento cinegético de esta especie y en general de la fauna silvestre de México, es considerada una actividad económica altamente redituable para ejidatarios y dueños de tierras federales, alcanzando de forma particular en los estados del norte de México, derramas económicas anuales de millones de dólares (Felix-Lizarraga, 2006, p. 15; Saucedo-Uuh *et al.*, 2023, p. 36). Particularmente en Baja California Sur, el permiso de cacería de un macho adulto de borrego cimarrón, se subasta entre 40,000 a 100,000 USD (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 2009, p. 191), convirtiéndolo en la principal especie cinegética de este estado. Afortunadamente aquí la cacería de esta especie ha sido reglamentada correctamente (Jaramillo & Castellanos, 1992, pp. 25-30; Lee, 2008, pp. 53-58), lo que ha promovido la conservación de los recursos naturales, a través del manejo racional, apoyado en criterios científicos que han permitido calcular la abundancia

del recurso y sus variaciones. En este sentido, se evalúa cuantitativamente la tasa de extracción de individuos sin afectar a sus poblaciones, lo que permite tanto su aprovechamiento presente y futuro, así como la conservación de su hábitat.

El borrego cimarrón

Origen y evolución

Los borregos cimarrones que existen hoy en día probablemente son descendientes de animales similares que entraron en América del Norte a través del puente terrestre de Bering durante la glaciación de Illinoi, hace al menos 150.000 años (Geist, 1971, p. 54; Valdez & Krausman, 1999, p. 25). Estas poblaciones se extendieron a través de las montañas glaciares del oeste de América del Norte durante el período interglaciar de Sangamon. La glaciación de Wisconsin entre 10.000 y 125.000 años, separó a los animales en dos poblaciones que persistieron en zonas no glaciares. Posteriormente, el borrego de Dall (*Ovis dalli*) evolucionó a partir de poblaciones que persistieron en la región de Alaska-Yukón, y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) evolucionó en una región al sur de montañas y bosques glaciares en lo que ahora es el territorio continental de Estados Unidos (Cowan, 1940, p. 510; Kurten & Anderson, 1980, p. 80; Lee, 1989, p. 35).

Después de la glaciación de Wisconsin, las poblaciones de cimarrones se esparcieron hacia terrenos secos y montañosos. Geist (1971), relacionó “la evolución de los borregos asiáticos y norteamericanos a la creciente disponibilidad de hábitats favorables, un hecho concomitante con el retroceso de los glaciares” (p. 54). Las razas o subespecies de *Ovis canadensis*, actualmente reconocidas como borrego cimarrón del desierto evolucionaron a partir de borregos silvestres que persistieron en la región sur a pesar de los cambios climáticos. Es posible que pudieran persistir, debido a la falta de competencia con otros grandes herbívoros nativos (Valdez & Krausman, 1999, p. 27).

Taxonomía

Carl Linnaeus describió el género *Ovis* en su taxonomía de 1766. La descripción y nombres oficiales no se produjeron hasta 1804 (Monson & Sumner, 1980, p. 19; Lee, 1989, pp. 35-36). El borrego cimarrón pertenece a la clase Mammalia (mamíferos), orden Artiodactyla (animales que poseen pezuñas), familia Bovidae, subfamilia Caprinae, género *Ovis*, especie *O. canadensis*, con siete subespecies (Valdez & Krausman, 1999, p. 31; Sandoval *et al.*, 2014, p. 477). En las recientes descripciones taxonómicas, las designaciones de subespecies aún se debaten, ya que la evidencia de los estudios genéticos y morfológicos entran en conflicto (Buchalski *et al.*, 2016, pp. 823-838). Se reconoce una especie y siete subespecies de acuerdo con el Sistema Integrado de Información Taxonómica de USA; por su parte Buchalski *et al.* (2016) diferenciaron cinco grupos genéticos de borrego cimarrón del suroeste del desierto (sin incluir a *O. c. californiana*). Estudios genéticos posteriores no han podido establecer un consenso sobre el número de subespecies.

En su estudio de ADN mitocondrial, Boyce *et al.* (1997), mostraron que las múltiples subpoblaciones de borrego cimarrones existentes “en el área peninsular son unidades genéticas básicas” (p. 429). Respecto a las descripciones taxonómicas anteriores, la nomenclatura de Cowan de 1940 del borrego de montaña de América del Norte, reconoce dos especies: la figura 37, muestra a los ejemplares de borrego Dall (*Ovis dalli*) y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*). Se enumeran siete subespecies de borrego de montaña: *O.c auduboni*, *O.c. californiana*, *O.c. canadensis*, *O.c. cremnobates*, *O.c. mexicana*, *O.c. nelsoni* y *O.c. weemsi* (Figura 38; Valdez & Krausman, 1999, p.32). Los estudios genéticos de Ramey (1993) indican que “se necesitan revisiones importantes de la taxonomía de Cowan. Sinonimizaron *nelsoni* y *cremnobates* adoptando el nombre más antiguo para la subespecie, *Ovis canadensis nelsoni*” (p. 51).

APROVECHAMIENTO BORREGO CIMARRÓN



Figura 37. Especímenes de Borrego de las Nieves *Ovis dalli* (lado superior) y de Borregos del Desierto *Ovis canadensis* (lado inferior). Nota. Se muestran en la figura, el clásico macho con cuernos retorcidos y las hembras con cuernos pequeños tipo espigas de las dos especies. La fotografía de los borregos de nieve es tomada de; <https://www.joelsartore.com/ani005-00018/>). La imagen de los borregos de desierto, es cortesía del autor principal (macho y hembra en agujeros de la sierra El Mechudo, en BCS. Fotos tomadas con cámaras trampa (Trail Camera Prime low glow trail Bushnell 24mp).

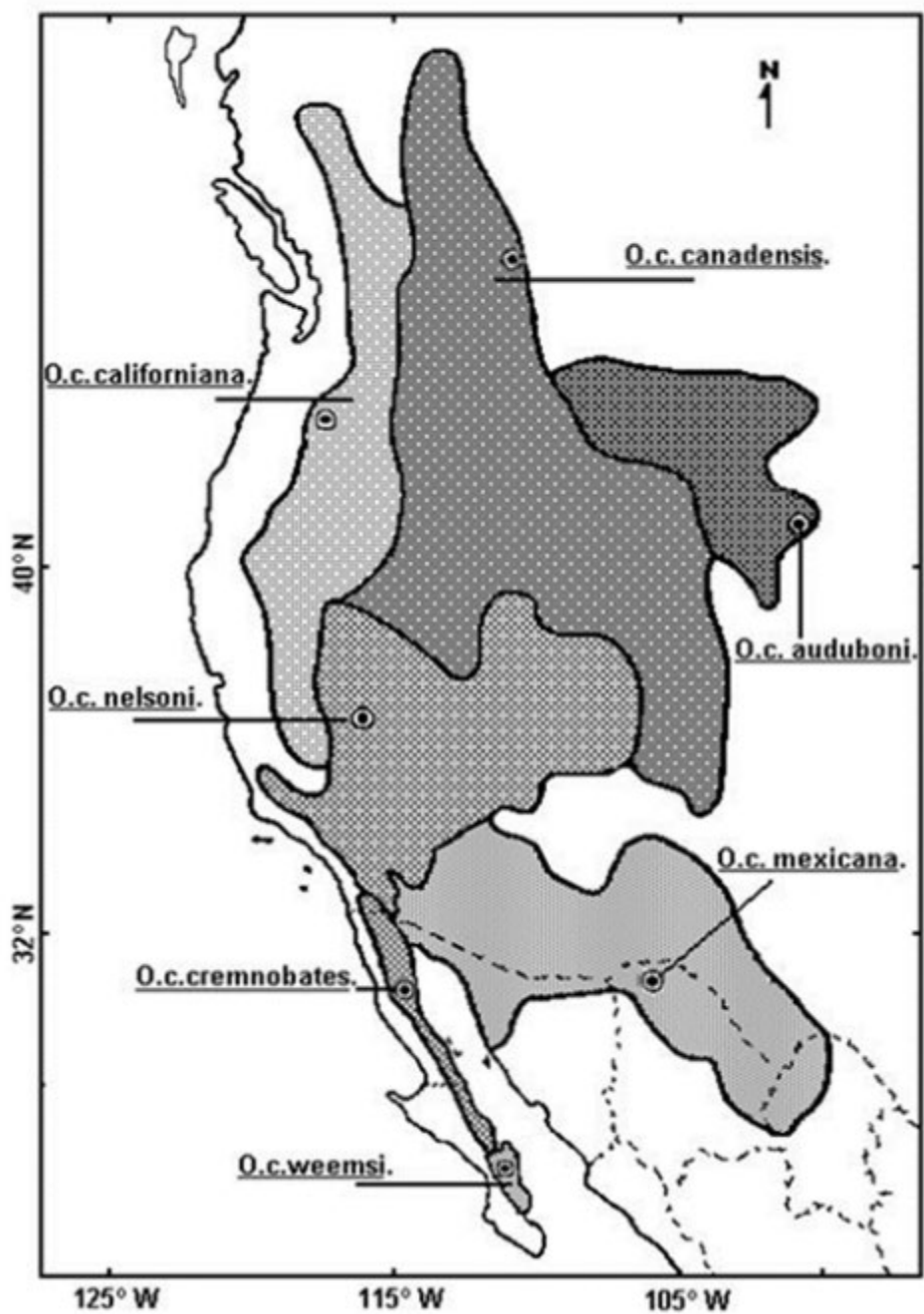


Figura 38. Distribución de las diferentes subespecies de *Ovis canadensis* en Norteamérica. Nota. Se incluyen 7 subespecies distribuidas desde el sur de Canadá hasta el norte de México, por Valdez y Krausman 1999.

Generalidades de la especie

El borrego cimarrón presenta dimorfismo sexual (presencia de variaciones morfológicas debido a una presión selectiva actuando de diferente manera en cada sexo), donde los machos adultos exhiben cornamentas que crecen en forma espiral, rodeando las orejas y llegando hasta la altura de los ojos (Valdez & Krausman, 1999, p. 67). Los animales adultos miden aproximadamente de 1.50 m a 1.65 m de largo y 1.00 m a 1.10 m de alto. Su pelo es color café claro a gris pardo u oscuro, según el hábitat y la subespecie, y el vientre y la parte trasera (anca) es de color blanco. La cornamenta en los adultos es profundamente corrugada y de color café rojizo (Monson & Sumner 1980, p. 87; Valdez & Krausman, 1999, p. 70). Particularmente los machos son de cuerpo más robusto que las hembras, poseen grandes y gruesos cuernos dispuestos en forma de vuelta hacia atrás, casi completa, llegando en los animales de mayor edad al nivel de la parte ocular. La curvatura de sus cuernos llega a alcanzar de 36 a 40 pulgadas de largo y su peso suele aproximarse hasta el 10% del peso del animal (Valdez & Krausman, 1999, p. 70).

La hembra posee cuernos más pequeños y delgados y ligeramente curvados hacia atrás en forma de hoz (figura 37). Esta característica en las hembras puede facilitar que sean confundidas con los machos juveniles Clase I y II (entre 12 y 30 meses de edad). Para diferenciarlos es importante observar las bases, la cual es ligeramente más gruesa en los machos juveniles. Al nacer, los corderos pesan entre 3 y 5.5 kg, y se desarrollan rápidamente, a los 6 meses de edad pesan aproximadamente 29 kg y miden 67 cm a la altura de la cruz (Figura 39; Valdez & Krausman, 1999, p. 71; Sandoval *et al.*, 2014, p. 480).

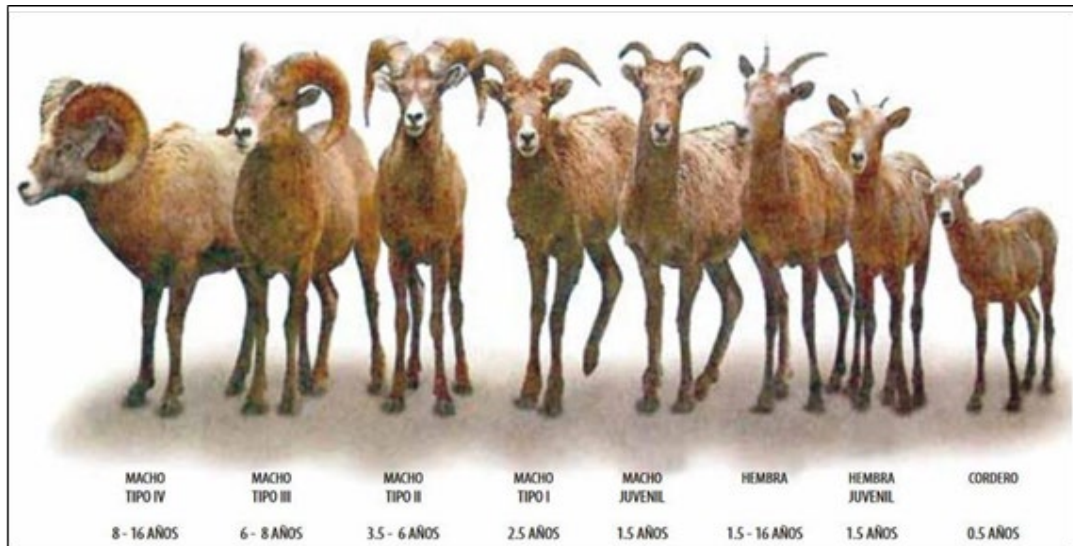


Figura 39. *Estructura de edades y sexo en el borrego cimarrón.* Nota. Características morfológicas de una manada de borrego cimarrón, en el plan de manejo del Gobierno de Sonora de 2012; SAGARHPA, 2012.

Dieta

El borrego cimarrón se ha considerado principalmente como un consumidor de pastos, sin embargo, las arbustivas y herbáceas constituyen una parte esencial de su alimentación. Es difícil analizar la dieta estacional de la especie sin tomar en cuenta la precipitación y sus efectos en la disponibilidad, calidad, y palatabilidad del forraje. También, presenta hábitos de alimentación oportunista y está adaptado a una gran variedad de forrajes. Además, la alimentación del borrego cimarrón se da en función del tipo de vegetación que se encuentra en las distintas zonas de su área de distribución, pudiendo incorporar más de 100 especies distintas en su dieta (Sandoval *et al.*, 2014, p. 482). En un estudio sobre la dieta del borrego cimarrón en BCS, particularmente en la Sierra El Mechudo, se reportó que los borregos durante todo el año seleccionaron y consumieron principalmente, especies arbustivas y arbóreas y en menor proporción pastos y herbáceas (Guerrero-Cárdenas *et al.*, 2016, p. 427).

Hábitat

El borrego cimarrón en México es un animal exclusivo de regiones desérticas y montañosas, se distribuye de manera escasa en áreas aisladas caracterizadas por cañones profundos, salientes rocosas y numerosos acantilados que proveen un alto grado de visibilidad (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 2001, p. 359). Su hábitat debe tener alimento, cuerpos de agua, terreno de escape y espacio abierto con buena visibilidad; estos dos últimos atributos son útiles como terreno de escape de los depredadores. Los sitios de escape se caracterizan por ser rocosos y muy inclinados con escasa vegetación, proporcionando una visibilidad amplia. También su hábitat está limitado a las serranías y pendientes muy pronunciadas para forrajear casi todo el año, excepto en algunos inviernos fuertes, en los que se desplaza hacia las cañadas y llanuras, buscando resguardo.

El uso del terreno de escape y la importancia de la inclinación de la pendiente depende de una variedad de factores, incluyendo la disponibilidad, estación del año, hora del día, tamaño y composición por grupos de edad, sexo y las actividades que desarrollan los borregos (Álvarez-Cárdenas *et al.*, 2009, p. 191). Se ha observado que, aunque su distribución depende de las áreas con disponibilidad de alimento, los borregos cimarrones no suelen utilizarlas cuando no tienen visibilidad y/o terreno de escape, (Sandoval *et al.*, 2014, p. 483; SEMARNAT, 2023, p. 15). La distribución del borrego cimarrón en zonas áridas se ajusta al modelo de metapoblación propuesto por Gilpin & Hanski (1987), “distribuyéndose en forma de subpoblaciones en parches de hábitat adecuado, comúnmente aislados de hábitat inadecuado, donde la migración típica de por lo menos una subpoblación a otra existe, y cada subpoblación en cada parche tiene probabilidades de extinción” (p. 6).

En México, el borrego cimarrón es uno de los mamíferos de mayor tamaño y se distribuye de forma natural en las regiones desérticas y montañosas de los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora. En particular, la población de borregos del desierto de la subespecie *O. c. weemsi* tiene la distribución más

sureña y se encuentran distribuidas sólo en 40% de su distribución original; desde el Volcán de las Tres Vírgenes, en Santa Rosalía, al norte del Baja California Sur, hasta la Sierra El Mechudo, al norte de la Bahía de la Paz. Esta región representa el límite sureño de la distribución de los borregos de montaña de Norte América (Figura 40; Jiménez & Hernández, 2010, p. 449; Guerrero-Cárdenas, 2020, p. 8).

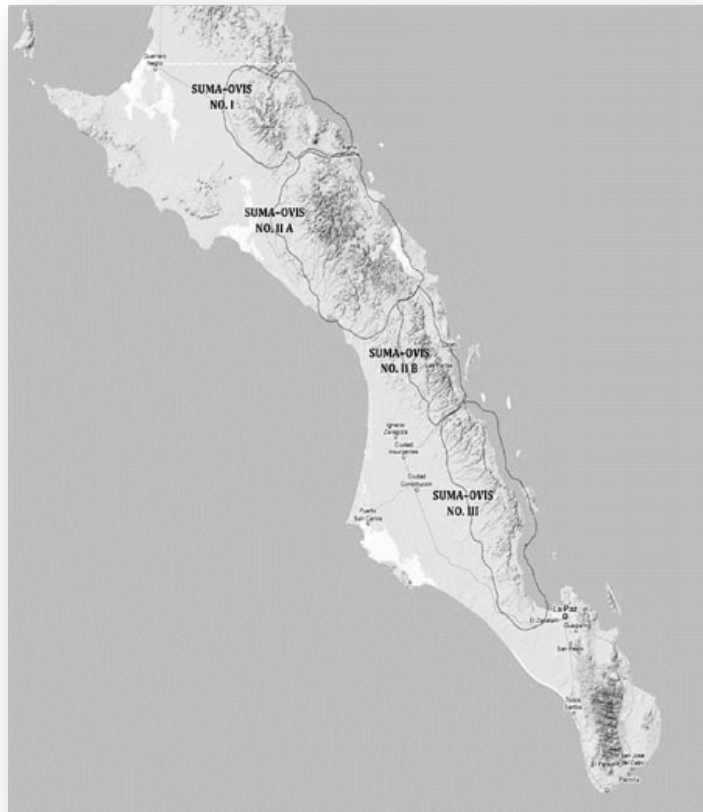


Figura 40. *Distribución del borrego cimarrón *Ovis canadensis weemsi* en las zonas montañosas de Baja California Sur, México* Nota. Estrategias de conservación en México para el borrego cimarrón y el berrendo SUMA-OVIS, en Sistema de Unidades para el Manejo de Vida Silvestre-borrego cimarrón; SEMARNAT 2010.

El borrego cimarrón está incluido en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, en la categoría de Protección Especial (Pr; SEMARNAR 2010). Es una especie con alto grado de valor cultural, ecológico, económico y científico, que no necesariamente se encuentra en peligro de extinción. Desde el punto de vista ecológico es importante como uno de los herbívoros silvestres de mayor tamaño en el ecosistema, y una de las principales presas de depredadores como pumas, coyotes y águila real (Medellin *et al.*, 2005, pp. 387-404; Guerrero-Cárdenas *et al.*, 2013, p. 399). Como herbívoros, los borregos producen un efecto sustancial en la composición de la vegetación, y en procesos básicos del ecosistema como el reciclaje de nutrientes. En este sentido se puede considerar como especie clave, cuya remoción podría provocar una serie de cambios en el ecosistema.

El borrego cimarrón es considerado como uno de los mamíferos ungulados (por poseer pezuñas) más raros del continente (Valdez & Krausman 1999, p. 54), y a pesar de los esfuerzos realizados para su conservación, sus poblaciones enfrentan un futuro incierto. A pesar de ser considerado como una especie ecológicamente frágil, se ha logrado adaptar a hábitats limitados y cada vez más fragmentados. Los cimarrones también son ecológicamente sensibles porque tienen bajas tasas de reproducción. La mayoría de las poblaciones crecen lentamente en comparación con otros animales de caza mayor (por ejemplo, los ciervos). La mortalidad de los corderos también suele ser alta (Krausman *et al.*, 1999, p. 147; Valdez & Krausman 1999, p. 123; Sandoval *et al.*, 2014, p. 485). El borrego cimarrón es una especie emblemática debido a que, al ser carismática para el público en general, promueve el interés en su conservación (Álvarez-Romero & Medellín 2005, p. 5).

Contexto histórico de la actividad cinegética de borrego cimarrón en Unidades para el Manejo de Vida Silvestre (UMAs) de Baja California Sur

En Baja California Sur, como en diferentes zonas del norte de México donde se distribuyen naturalmente poblaciones de borrego cimarrón, durante la época de la colonización española, además de la introducción de ganado y el uso armas de fuego, se produjo la caza incontrolada que condujo a una drástica disminución del borrego cimarrón (Lee, 1989, p. 45). Como consecuencia a estas acciones, las poblaciones del noreste mexicano fueron extirpadas, mientras que las poblaciones del noroeste y la península de Baja California, quedaron fragmentadas (Lee, 2008, p. 247). Hoy, sin embargo, estas poblaciones de borrego cimarrón se han recuperado sustancialmente. Por lo que la cacería deportiva o cinegética, se ha convertido en una forma de comercializar a los especímenes para adquirir recursos económicos (Valdez & Krausman 1999, p. 135; Sandoval *et al.*, 2014, p. 477). Los trofeos son obtenidos en Baja California Sur, principalmente en las zonas serranas, que se ubican dentro de las Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMAs; SEMARNAT, 2023, p. 16). Actualmente y debido a que es una especie protegida en México, los cazadores aprecian al borrego por su cornamenta (Figura 41).

El objetivo primordial de las UMAs, es el de favorecer la conservación de hábitat natural, poblaciones y ejemplares de especies silvestres (Valdez *et al.*, 2006, pp. 270-282). Una UMA es un predio o instalación registrada que opera de conformidad con un plan de manejo aprobado que busca su incorporación al ámbito económico y productivo a nivel local, regional y nacional, promoviendo así la participación social y el desarrollo de fuentes alternativas de ingreso para las comunidades rurales (Valdés & Segundo, 2007, p. 279; Martín-Delgado *et al.*, 2020, p. 4). Las UMAs, constituyen la unidad básica de operación del SUMA (Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre), que busca promover esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, a través del uso racional, ordenado y planificado de los recursos

APROVECHAMIENTO BORREGO CIMARRÓN

naturales, frenando o revirtiendo los procesos de deterioro ambiental de acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEPA; SEMARNAT, 2023, p. 10; Felix-Lizarraga, 2006, p. 12; Huerta-García *et al.*, 2015, p. 341).



Figura 41. *Macho adulto de borrego cimarrón del desierto de la subespecie Ovis canadensis weemsi, considerado como trofeo. Nota. Macho representativo de un trofeo cinegético, tomada con cámara trampa (Bushnell modelo; 119932C/119932CB) en la zona del Tule, en la sierra El Mechudo ubicada en la parte sur de Baja California Sur, México.*

En el estado de BCS, existen nueve UMAs que conservan el hábitat del borrego cimarrón en aproximadamente 1,100,000 ha (11,000 km²) como área de distribución natural. De acuerdo con SEMARNAT, este número unidades ambientales, se distribuyen en tres regiones principales en todo el territorio de Baja California Sur (Fig. 42; SEMARNAT, 2023, p. 11).

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

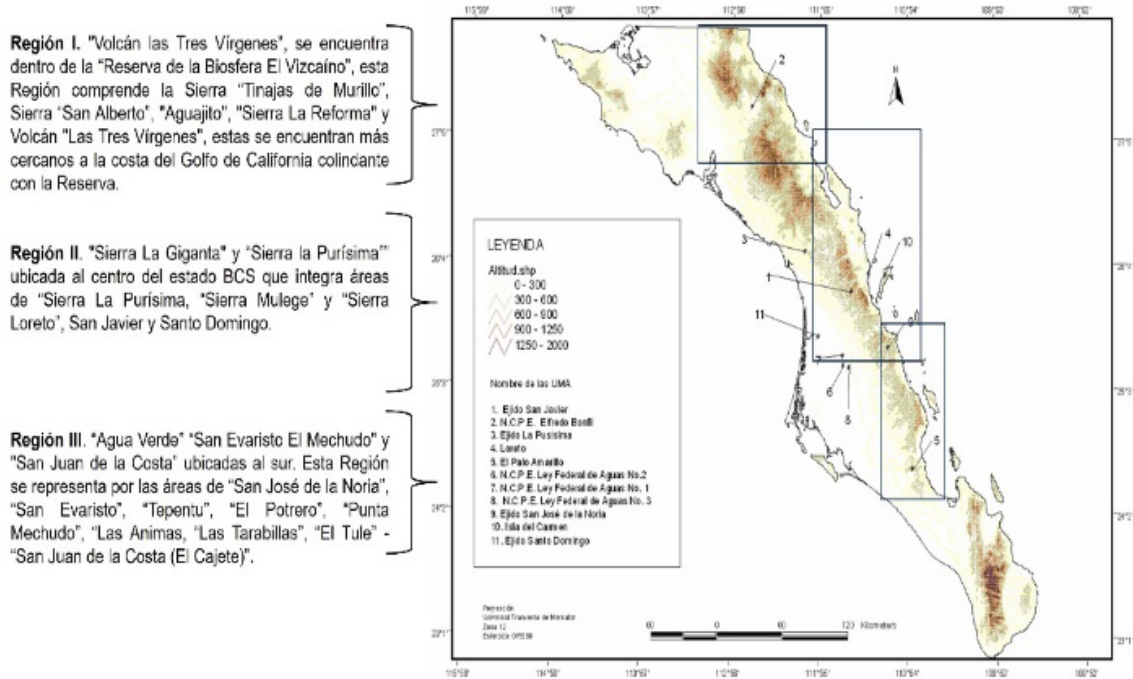


Figura 42. *Distribución histórica de migración del borrego cimarrón y corredores naturales en el Estado de Baja California Sur.* Nota. Tradicionalmente las Regiones I y II son donde se han desarrollado la actividad cinegética por más de 50 años, en la Región III, su aprovechamiento es relativamente reciente.

Importancia economica

Generalmente la cacería de los cimarrones implica una alta inversión económica (en dólares). Por lo que la pérdida de individuos por causas como padecimientos de salud, genera una disminución en las ganancias (Shackleton, 1985, pp. 1-9; SEMARNAT, 2023, p. 12). Uno de los indicadores más claros por la venta de los permisos de caza, es el valor que les otorgan los cazadores al borrego cimarrón. Estos majestuosos animales han sido durante mucho tiempo un trofeo muy apreciado por los deportistas y está altamente relacionado con los enormes cuernos y la rareza del cimarrón, así como por la dificultad para un cazador de obtenerlo como trofeo. El turista extranjero que ejerce la actividad de la cacería en México es

APROVECHAMIENTO BORREGO CIMARRÓN

principalmente de origen estadounidense (89%); seguido por los canadienses (9%) y sólo el 2% procede de Europa (CITES & LIVELIHOODS, 2019, pp. 1-4).

En la comunidad de caza mayor (cacería de animales de grandes tallas), el borrego cimarrón tiene un valor adicional que se asocia con el reconocimiento para el cazador por cosechar un "grand slam" (caza de todas las razas de borrego cimarrón y de cuerno fino de América del Norte: Dall, Stone, Montañas Rocallosas, y el del desierto, que incluye al de la península de Baja California). Incluso existe una organización, la Grand Slam Club/Ovis (GSCO), que promueve la caza legal y la conservación de las poblaciones naturales de borrego cimarrón en toda Norte America (Toweill & Geist, 1999, p. 43; Valdés & Segundo, 2007, p. 280; SEMARNAT, 2023, p. 17).

El borrego cimarrón tiene un valor adicional que se asocia con el reconocimiento para el cazador por cosechar un "grand slam" (caza de todas las razas de borrego cimarrón y de cuerno fino de América del Norte: Dall, Stone, Montañas Rocallosas, y el del desierto, que incluye al de la península de Baja California). Incluso existe una organización, la Grand Slam Club/Ovis (GSCO), que promueve la caza legal y la conservación de las poblaciones naturales de borrego cimarrón en toda Norte America (Toweill & Geist, 1999, p. 43; Valdés & Segundo, 2007, p. 280; SEMARNAT, 2023, p. 17).

De acuerdo con la Unión de UMAs de Baja California Sur, los trofeos tienen valores de los 40 mil hasta los 150 mil dólares por cada espécimen cazado (cuadro 1). Lo que representa una cantidad muy significativa en las regiones rurales dado el nivel de pobreza y aunque los comunitarios no están directamente involucrados con las actividades de una UMA, si se benefician de la caza del cimarrón, ya que las ganancias generadas son repartidas entre ellos.

Tabla 8. *Ingresos (en dólares americanos) por la venta de cintillo en diferentes UMAs de Baja California Sur, en diferentes años (información proporcionada por la Unión de UMAs de Baja California Sur).* ^a ver mapa uno, sobre la descripción de las UMAs por cada región en Baja California Sur.

UMAs (regiones de BCS)^a	Año	Ingresos por cintillo^b en dólares
Región I	1998-2010	195,000-100,000
	2010-2023	48,000-60,000
Región II	1998-2010	60,000-67,000
	2010-2023	40,000-45,000
Región III	1998-2010	60,000-67,000
	2010-2023	40,000-45,000

^b Los cintillos (son una banda auto-adherible foliada, que se coloca en la pieza cobrada al amparo de la autorización de aprovechamiento extractivo otorgada para la cacería, con el fin de garantizar que los ejemplares fueron legalmente cazados) representan los permisos otorgados por SEMARNAT, para cada trofeo que subastara por cada UMA. Estos cintillos varían en cada UMA (desde uno hasta un máximo de diez). La UMA con mayor número de permisos en la historia de las caerías en Baja California Sur, es el Ejido Alfredo B. Bonfil (la zona del volcán de las Tres Vírgenes), ubicado en la parte más norteña del estado.

De los montos económicos obtenidos por las cacerías, en promedio cada familia perteneciente a un ejido obtiene un pago de entre 7 a 15 mil pesos mexicanos por cada trofeo que se cazó en su ejido, lo que implica un porcentaje de beneficio

para la comunidad ejidal del 80%, mientras que el 20 % restante, representa los gastos de la logística durante la cacería y del cazador (viaje, transporte, comida, armas, taxidermia, hospedaje, campamento) CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, este organismo es quine otorga los permisos para que los trofeos cazado, sean sacados de México, debidamente reglamentados) y permisos. Estos pagos se generan durante la temporada de cacería, que va de diciembre a marzo de cada año (SEMARNAT, 2023, p. 20). Es importante mencionar, que si bien cada miembro de familia de estos ejidos, tienen sus propias fuentes de trabajo, los incentivos generados por las cacerías son ingresos económicos extra que favorecen a la economía del hogar, cumpliendo la cacería cinegética con una importante función social.

Por otra parte, los ingresos que provienen de la actividad cinegética y su gestión también crean empleos permanentes y temporales para los miembros de la comunidad ejidal, siendo los principales, la vigilancia dentro de las UMAs para prevenir la cacería furtiva (Jaramillo-Monroy *et al.*, 1991, pp. 23-25; Jaramillo & Castellanos, 1992, pp. 25-30). Hoy en día, los fondos provenientes de la venta de permisos de caza se reintegran a la comunidad para financiar la conservación y actividades de gestión del hábitat de su UMA, así como para la financiación de inversiones comunitarias como becas, fondos para desastres naturales, infraestructura (alumbrado público, suministro de agua y saneamiento, así como para el pago a la policía local, construcción de infraestructura de ecoturismo y el suministro de herramientas para actividades forestales) para la gestión y tenencia de sus tierras. Por lo anterior, los programas de caza han tenido un gran éxito, por apoyar las mejoras de vida de los ejidatarios y sus familias, así como el de fomentar la capacidad comunitaria y el orgullo por emprender el manejo de la vida silvestre. El gobierno mexicano ha dejado el cuidado, conservación y cosecha de estos magníficos animales en manos de las comunidades organizadas. Por lo tanto, aunque estas cacerías son extremadamente caras, el futuro de los borregos es promisorio.

Finalmente, la derrama económica del turismo cinegético se integra por tres componentes: 1) los gastos que se realizan fuera de la UMAs o rancho cinegético (por ejemplo: transportación, compras, alojamiento, alimentación, y otras actividades); 2) el gasto que se realiza dentro de los ranchos o vinculado a ellos (por ejemplo permisos de armas de fuego, hospedaje, alimentación, guías, alquiler de equipo, cartuchos, etc.) y 3) el gasto relacionado con el cintillo o licencia que se otorga para el borrego cimarrón.

Conclusiones

El manejo de cualquier recurso en vida silvestre debe hacerse de manera integral y adaptativa, es decir, considerar tanto los aspectos biológicos, así como los sociales, económicos y políticos en los que se encuentra inmerso el recurso, pues el manejo se relaciona con las personas que convierten una población silvestre en un recurso, esto es, un bien sujeto de aprovechamiento sustentable que puede atribuírsele un determinado valor económico. El manejo debe ser adaptativo porque los sistemas son dinámicos y tienden a cambiar, por lo que la estrategia también debe cambiar y nutrirse del aprendizaje.

La implementación de las UMAs particularmente en Baja California Sur, siempre ha buscado que los mecanismos de manejo sean compatibles con su aprovechamiento racional, implementando alternativas factibles con proyectos productivos, como el turismo de naturaleza, safaris fotográficos, senderos interpretativos, observación de flora y fauna, educación ambiental para la valoración de la vida silvestre e investigación científica y no solo considerar el aspecto cinegético. En este contexto, la conservación del borrego cimarrón se articula con el conocimiento y manejo del hábitat y sus poblaciones, así como con el aprovechamiento sustentable, lo que se logra desarrollando planes de manejo específicos para cada una de las unidades (UMAs) con las que se trabaja. En esta medida, se estimula también al propietario de los predios donde se encuentran los

recursos, para su diversificación productiva y el conocimiento y conservación de los recursos naturales.

Por lo tanto, la conservación de los recursos naturales y particularmente del borrego cimarrón en Baja California Sur, es una tarea que debe enfrentarse a través del establecimiento de estrategias bidireccionales a corto, mediano y largo plazo, que involucren factores sociales y variables ecológicas. Por tal razón las estrategias de conservación tienen que planificarse, de tal manera que contemplen los planes de desarrollo social y de utilización sustentable de los recursos naturales, de cada área en particular. Debido a la variabilidad de factores físicos, biológicos y sociales que existen a lo largo de la distribución del borrego cimarrón en BCS (climas, vegetación, geomorfología, fauna nativa y exótica asociadas, distribución de la población, organización de la tenencia de la tierra, accesibilidad), resulta necesario la elaboración de un plan de manejo tipo para la conservación y aprovechamiento del borrego cimarrón en Baja California Sur, el cual para su preparación, se involucre los propietarios y técnicos de las UMAs, autoridades de gestión y la academia. Es importante considerar que la perspectiva sobre el uso del borrego cimarrón puede variar según la ubicación geográfica (entre cada UMA), las condiciones específicas del ecosistema y las políticas locales.

La sustentabilidad y el respeto por el equilibrio ecológico son fundamentales al considerar el aprovechamiento de cualquier recurso natural renovable. De manera específica, el aprovechamiento del borrego en algunas áreas, permite la caza controlada de estos animales como parte de estrategias de manejo de la población. Esto es de utilidad para evitar la sobrepoblación y la consiguiente degradación del hábitat, al tiempo que proporciona beneficios económicos y de subsistencia a las comunidades ejidales locales. Además, el manejo del borrego cimarrón debe llevarse a cabo de manera sistemática para evitar impactos negativos en el ecosistema. Exceso de caza o métodos de gestión inapropiados, pueden tener consecuencias perjudiciales para la biodiversidad y la salud del ecosistema en general. La actividad cinegética en Baja California Sur es compatible con la

conservación de la naturaleza y, por tanto, es importante su práctica en las UMAs, debido a su contribución a la conservación de los hábitats y de la fauna asociada al borrego cimarrón, siempre que se realice bajo una gestión adecuada, y la generación de ingresos, que tiene un efecto en la economía local.

Importancia social

El borrego cimarrón ha sido, y continúa siendo, una parte integral de la cultura de México desde hace siglos. Para los pueblos indígenas y las comunidades rurales, específicamente del norte de México, esta especie representa un símbolo de libertad y resistencia. Tradicionalmente, la caza del borrego cimarrón ha permitido a estas comunidades obtener alimento y otros recursos esenciales, siendo una práctica enormemente arraigada en sus costumbres. En términos alimentarios, este ungulado representa una fuente importante de proteínas y nutrientes para comunidades tanto rurales como urbanas. Así, la caza y el consumo responsable de esta especie no solo contribuyen a la seguridad alimentaria, sino que también pueden generar ingresos para las comunidades locales mediante la venta de carne, promoviendo el desarrollo económico regional. Esta actividad, cuando se realiza de manera sostenible, forma parte de las prácticas culturales y tradicionales de diversos grupos étnicos del norte del país. Por otro lado, el manejo del borrego cimarrón también implica la transmisión de conocimientos y habilidades entre generaciones. La gestión sostenible de esta especie fortalece el tejido social en las comunidades rurales, promoviendo la cooperación, la organización comunitaria y el trabajo colectivo. La participación activa de las comunidades en la toma de decisiones relacionadas con el manejo del borrego cimarrón es esencial para garantizar su conservación a largo plazo. Finalmente, la educación ambiental y la concienciación sobre la importancia del borrego cimarrón y su hábitat son fundamentales para su protección. Fomentar el respeto hacia esta especie y su entorno natural no solo ayuda a preservar la biodiversidad, sino que también

refuerza la identidad cultural y la resiliencia social de las comunidades que conviven con ella.

Perspectivas

La conservación de los recursos naturales, es una tarea que debe enfrentarse a través del establecimiento de estrategias bidireccionales a corto, mediano y largo plazo, debido a que involucran factores sociales y variables ecológicas. Es difícil establecer un único plan de manejo de borrego cimarrón aplicable a todos los sitios donde se distribuyen estos animales, debido a la variabilidad de varios factores, como el tipo de clima, vegetación, geomorfología, ubicación del área donde se encuentran los rebaños, estados actualizados de la población y del hábitat, relaciones con la fauna asociada incluyendo las especies domésticas, impacto de las actividades humanas, vigilancia, normatividad, etc. Por ello, estos factores se deben tomar en consideración para establecer un plan de manejo particular para el aprovechamiento y conservación del borrego cimarrón y su hábitat en BCS, por parte de propietarios de las UMAs, autoridades y académicos involucrados.

También, es importante tener en cuenta que la actividad cinegética no es la única forma de aprovechamiento del borrego cimarrón y su hábitat. También se pueden obtener ingresos de personas que practican y gustan del campismo, la observación de la fauna, la toma de fotografías o videos, y no solo del borrego cimarrón sino de su hábitat natural y de la fauna asociada. De esta forma, fuera de temporada cinegética, se podría aprovechar al máximo el gran valor estético del paisaje y de la fauna silvestre en general a través del ecoturismo.

Por último, con el establecimiento de las UMAs en Baja California Sur, se han modificado sustancialmente los modelos restrictivos tradicionalmente empleados para la gestión de la vida silvestre, creando oportunidades de aprovechamiento sustentable, legales y viables, que son compatibles con otras actividades

productivas convencionales, como la agricultura, ganadería o pesca. Favoreciendo el manejo diversificado e integral de los recursos naturales, a través de la creación de incentivos para el cuidado y aprovechamiento de estos recursos, y su posterior incorporación al ámbito económico y productivo a nivel local y regional, además de promover la participación social y el desarrollo de fuentes alternativas de ingreso para las comunidades rurales y ejidales se logrará con mayor efectividad la conservación de las poblaciones de borrego cimarrón, un valioso recurso de Baja California Sur.

Literatura citada

- Adhikari, L. K., B. Joshi, S. Ruijun, L. Ali, G. Shah, G. Ismail, M. Bano, K. Ali, & Khan, R. (2021). Community-based trophy hunting programs secure biodiversity and livelihoods: Learnings from Asia's high mountain communities and landscapes. *Environmental Challenges* 4, 100175. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100175>
- Ali, H. (2015). Socio-economic Benefits of Community Based Trophy Hunting Programs. *Environmental Economics*, 6: 9-17. <https://www.businessperspectives.org/index.php/journals/environmental-economics/issue-229/socio-economic-benefits-of-community-based-trophy-hunting-programs>
- Álvarez-Cardenas, S., I., Guerrero-Cárdenas, S., Díaz-Castro, P., Galina-Tessaro & Gallina, S. (2001). The variables of physical habitat selection by the desert bighorn sheep (*Ovis canadensis weemsi*) in the Sierra del Mechudo, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Arid Environments*. 49: 357-374. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0780>
- Álvarez-Cárdenas, S., Galina-Tessaro, P., Díaz-Castro, S., I., Guerrero-Cárdenas, A., Castellanos-Vera, & Mesa-Zavala, E. (2009). Evaluación de elementos estructurales del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México. *Tropical Conservation Science*, 2: 189-203. <https://doi.org/10.1177/194008290900200206>
- Álvarez-Icaza, L.P. (2006). Los recursos de uso común en México: un acercamiento conceptual. *Gaceta Ecológica*, Vol., núm.80, pp.5-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908001>
- Álvarez-Romero, J. & Medellín, R. A. (2005). *Ovis canadensis*. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. En: Medellín R.A., J.G. Álvarez- Romero. H. Gómez de Silva., A. Oliveras de

- Ita. Equihua, I. C. 2005. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Bases de datos SNIB-CONABIO- proyecto U020. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F.
http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/exoticas/doctos/especies_exoticas.html
- Bañuelos-Frías, V.L. (2020 Abril 18). Impacto del turismo cinegético en UMAS en el área natural protegida sierra fría, Aguascalientes. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduado Campus san Luis Potosí.
- Boyce, W.M., P.W. Hedrick, N.E. Muggli-Cockett, S. Kalinowski, M.C.T. Penedo, & Ramey, R.R. (1997). Genetic variation of major histocompatibility complex and microsatellite loci: A comparison in bighorn sheep. *Genetics*, 145 (1); 421-433 pp. DOI: 10.1093/genetics/145.2.421
- Buchalski, M. R., B. N. Sacks, D. A. Gille, M. C. T. Penedo, H. B. Ernest, S. A. Morrison, & Boyce, W. M. (2016). Phylogeographic and population genetic structure of bighorn sheep (*Ovis canadensis*) in North American deserts. *Journal of Mammalogy* 97:823–838.
<https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw011>
- Campbell, B. (1994). *Ecología humana. La posición del hombre en la naturaleza*. Salvat editores. Barcelona, España. ISBN 8434583852, 9788434583856
- CITES y LIVELIHOODS. (2019). Case Study: Bighorn Sheep hunting and trophy trade in Mexico. CITES.org 4 pp.
https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cites.org/sites/default/files/eng/prog/Livelihoods/case_studies/IUCN_CITES%20Fact%20Sheets%202019_Mexico%20Big%20Horn%20Sheep_web_rev1.pdf
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farberk, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Suttonkk & M. van den Belt. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cowan, I. M. (1940). Distribution and variation in the native sheep of North America. *American Midlands Naturalist*. 24:505-580.
<https://www.jstor.org/stable/2420858>
- Felix-Lizarraga, M. (2006 marzo 25). Unidades de manejo para la conservación de vida silvestre (UMA) de borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en el estado de Baja California Sur, México: análisis, propuestas y recomendaciones para su manejo. Tesis de Maestría. Posgrado en Uso, manejo y preservación de los Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, BCS, México.

- Geist, V. (1971). Mountain sheep: a study in behaviour and evolution. Univ. Chicago Press, Chicago, Ill. 383 p. ISBN: 0-226-28572-3
- Gilpin, M.E., & Hanski, D.I. (1991). Metapopulation dynamics: Empirical and theoretical investigations. *Biological Journal of the Linnean Society* 42:1-336. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:127869022>
- Graham, H. (1990). The impact of modern man. *The Desert Bighorn: Its life History, Ecology, and Management* pp. 288-309. Tucson: The University of Arizona Press.
- Guajardo-Quiroga, R. & Martínez-Núñez, A. (2004). Entorno Económico: Cuantificación del impacto económico de la caza deportiva en el norte de México y perspectivas de desarrollo. *Centro de Investigaciones Económicas* Vol. XLII, Número 250. pp. 1-17. <http://efaidnbnmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eprints.uanl.mx/8690/1/Cuantificacion%20del%20impacto%20económico%20de%20la%20caza.pdf>
- Guerrero-Cárdenas, I., Galina-Tessaro, P., Álvarez-Cárdenas, S., & Mesa-Zavala, E. (2013). Avistamientos recientes de águila real (*Aquila chrysaetos*) en la sierra El Mechudo, Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 397-40. <https://doi.org/10.7550/rmb.26780>
- Guerrero-Cárdenas, I., Sonia Gallina, Pablo Corcuera, Álvarez-Cárdenas S. & Ramírez-Orduña, R. (2016). Diet composition and selection of the bighorn sheep (*Ovis canadensis*) in Sierra El Mechudo, Baja California Sur, Mexico. *Therya*, 7: 423-438. <https://doi.org/10.12933/therya-16-394>
- Guerrero-Cárdenas, I. (2020 junio 26). Ecología trófica del borrego cimarrón (*Ovis canadensis weemsi*) en la sierra El Mechudo, Baja California Sur, México. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Ciudad de México.
- Hernández-Silva, Dante Alfredo, Pulido Silva, María Teresa, Zuria, Iriana, Gallina Tessaro, Sonia A., & Sánchez-Rojas, Gerardo. (2018). El manejo como herramienta para la conservación y aprovechamiento de la fauna silvestre: acceso a la sustentabilidad en México. *Acta universitaria*, 28(4), 31-41. <https://doi.org/10.15174/au.2018.2171>
- Huerta-García, A., Ramírez-Milanés, M. N., Valenzuela-Núñez, L. M., & Abad Zavaleta, J. (2015). Aprovechamiento del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en unidades de manejo del noreste de México. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 2(6), 339-347. <https://doi.org/10.19136/era.a2n6.188>

APROVECHAMIENTO BORREGO CIMARRÓN

- Jaramillo, M.F., J. Vallejo, C. Sepúlveda & Mendoza, A. (1991). Observaciones sobre las poblaciones de borrego cimarrón en el área de Santa Rosalía, B.C.S. México. *Ecológica* 1: 23-25
- Hurley, K., C. Brewer & Thornton, G.N. (2015). The role of hunters in conservation, restoration, and management of North American wild sheep. *International Journal of Environmental Studies* 72(5):784-796. DOI:10.1080/00207233.2015.1031567
- Jaramillo, M.F. & A. Castellanos. (1992). Algunos aspectos de la población, manejo y conservación del borrego cimarrón en Baja California Sur, México. *Ecología* 2(1): 25-30.
- Jiménez S. D. & Hernández, Ma. C. (2010). Programa de conservación del borrego cimarrón (*Ovis canadensis weemsi*) en Baja California Sur. *Galemys* 22 (nº especial): 447-468, 2010. DOI: 10.7325/Galemys.2010.NE.A28
- Krausman, P.R., A. V Sandoval, & Etchberger, R.C. (1999). Natural History of Desert Bighorn Sheep. *Mountain Sheep of North America* 353 pp. Tucson, Arizona. The University of Arizona Press.
- Kurten, B. & Anderson, E. (1980). Pleistocene mammals of North America. Columbia University Press; First Edition. 442 pp. ISBN-13: 978-0231037334
- Lee, R.M. (1989). The desert bighorn sheep in Arizona. Arizona game and Fish Department. Desert-Bighorn-Sheep-Arizona/dp/B000N24F7Y
- Lee, R. M. (2008). La caza como herramienta para la conservación: el caso de la caza ovina en México. En: *Mejores prácticas en caza sostenible: Una guía de mejores prácticas de todo el mundo*. Publicación N° 1 de la Serie Técnica CIC, CIC – Consejo Internacional para la Conservación de la Caza y la Vida Silvestre, Budapest, y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. Págs. 53-58.
- Loft, E. L. (1998). Economic Contribution of Deer, Pronghorn Antelope, and Sage Grouse Hunting to Northeast California and Implications to the Overall "Value" of Wildlife. *California Wildlife Conservation Bulletin* No. 11. p 42. [://efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/https://nrm.dfg.ca.gov/FileHandler.ashx?DocumentID=83199&inline](https://efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/https://nrm.dfg.ca.gov/FileHandler.ashx?DocumentID=83199&inline)
- Martín-Delgado, Luz-María, Juan-Ignacio Rengifo-Gallego, & José-Manuel Sánchez-Martín. (2020). Hunting Tourism as a Possible Development Tool in Protected Areas of Extremadura, Spain. *Land* 9(3): 86. <https://doi.org/10.3390/land9030086>
- Medellín, R., C. Manterola, M. Valdéz, D.G. Hewitt, D. Doan-Crider, & Fulbright, T. E. (2005). History, ecology, and conservation of the pronghorn antelope,

- bighorn sheep, and black bear in Mexico 404 pp. Biodiversity, ecosystems, and conservation in northern Mexico. Oxford, Oxford, United Kingdom. University Press.
- Monson, G. y L. Sumner. (1980). The desert bighorn; its life history, ecology and management. Tucson, The University of Arizona Press
- Nóbrega-Alves, R. R. (2012). Relationships between fauna and people and the role of ethnozoology in animal conservation. *Ethnobiology and Conservation* 182):1-70. <https://doi.org/10.15451/ec2012-8-1.2-1-69>
- Pérez-Gil R, Jaramillo F, Muñiz A.M, & Torres M.G. (1995). Importancia económica de los vertebrados silvestres en México. PG-7 Consultores SC y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México. 170 pp. ISBN 9687728000, 9789687728001
- Quiceno-Mesa, M.P., van Vliet N, Moreno J & Cruz, A. D. (2015). Diagnóstico sobre el comercio de carne de monte en las ciudades de Colombia. Documentos Ocasionales 136. Bogor, Indonesia: CIFOR. [/efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-136.pdf](https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-136.pdf)
- Ramey, R. R. II. (1993 agosto 15). Evolutionary genetics and systematics of North American mountain sheep: implications for conservation., Thesis Doctor of Philosophy. New York, USA. Cornell University, Ithaca
- Ruiz-Mondragón, Enrique de J., Guillermo Romero-Figueroa, Rafael Paredes-Montesinos, Luz A. Tapia-Cabazos, Luis A. Méndez-Rosas, Crystian S. Venegas-Barrera, María E. Arrellano-García, Israel Guerrero-Cárdenas, & Lozano-Cavazos, E. A. (2023). Community-Based Workshops to Involve Rural Communities in Wildlife Management Case Study: Bighorn Sheep in Baja California, Mexico. *Animals* 13, 20: 3171. <https://doi.org/10.3390/ani13203171>
- Sandoval, A. V., Valdez, R. & Espinoza, A.T. (2014). El borrego cimarrón en México. *Ecología y Manejo de Fauna Silvestre* 560 pp. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, México.
- Santos-Fita, D., E.J. Naranjo, & J.L. Rangel-Salazar. (2012). Wildlife uses and hunting patterns in rural communities of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8:38. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-8-38>
- Saucedo-Uuh, K., Cadena-Iñiguez, J., Tarango-Arámbula, L. A., Olmos-Oropeza, G., Clemente-Sánchez, F., Serna-Lagunes, R., & Crosby-Galván, M M. (2023). Los ungulados silvestres: modelo de negocio y conservación. *Agro-Divulgación*, 3(3). <https://doi.org/10.54767/ad.v3i3.205>

APROVECHAMIENTO BORREGO CIMARRÓN

- SEMARNAT. (2000). Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón (*Ovis Canadensis*) en México. INE, SEMARNAT, 92 pp
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio lista de especies en riesgo.
- SEMARNAT. (2023). Plan de Manejo Tipo para la Conservación y el Aprovechamiento Sustentable en vida libre de Borrego Cimarrón (*Ovis canadensis*) en Baja California Sur, México. 1ª. Edición. DGVS-SEMARNAT. Ciudad de México, México. 75 pp.
- Shackleton, D. M. (1985). *Ovis canadensis*. The American Society of Mammalogists. (Eds.) Mammalian Species. 230:1-9. [/efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/https://www.science.smith.edu/departments/Biology/VHAYSEN/msi/pdf/i0076-3519-230-01-0001.pdf](https://www.science.smith.edu/departments/Biology/VHAYSEN/msi/pdf/i0076-3519-230-01-0001.pdf)
- Sportsmen's Alliance Foundation. (2021). Economic Contributions of Hunting and Target Shooting- Technical Report. 50 pp. [/efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/https://www.fishwildlife.org/application/files/7516/4555/8785/2020-Economic-Impact-of-Hunting-and-Shooting-Technical-Report.pdf](https://www.fishwildlife.org/application/files/7516/4555/8785/2020-Economic-Impact-of-Hunting-and-Shooting-Technical-Report.pdf)
- Toweill, D. E., & Geist, V. (1999). Return to royalty: wild sheep of North America. Boone and Crockett Club and Foundation for North American Wild Sheep. Missoula, MT. 214 pp. ISBN-13978-0940864337
- Valdez, R. & Krausman, P.R. (1999). Description, distribution and abundance of mountain sheep in North America. The University of Arizona Press, Tucson. 353 p. ISBN: 9780816518395
- Valdez, R., J. C. Guzmán-Aranda, F. J. Abarca, L. A. Tarango-Arámbula & Clemente, F.S. (2006). Wildlife Conservation and Management in Mexico. Journal Wildlife Management Vol. 34, No. 2: 270-282 pp. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[270:WCAMIM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[270:WCAMIM]2.0.CO;2)
- Valdés, A.M., & Segundo, G.J.M. (2007). Estrategias para la conservación en México para el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) y el berrendo (*Antilocapra americana*). Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México 389 pp. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Mexico City, México.

Wedson-Medeiros, S.S., N. M. Rogério & Freitas-Sousa, B. F. C. (2019). Illegal bushmeat hunting and trade dynamics in a major road-hub region of the Brazilian Mid North. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 18 (2): 402-411. ISSN: 0975-1068 (Online)

Para citar esta obra:

Guerrero-Cárdenas, I *, R. Ramírez-Orduña, G. Arnaud, G. Romero-Figueroa, J. Á. Armenta-Quintana y F. Reyes-Bolaños. 2025. Aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón, por comunidades ejidales de Baja California Sur. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 261-291). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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*

* crivera@cibnor.mx

Resumen

El capítulo aborda la importancia histórica y cultural de la pesca artesanal, destacando su papel en la subsistencia de comunidades costeras y su contribución a la seguridad alimentaria local. Se discute cómo la creciente demanda global de pescado ha impulsado la industrialización de la pesca, especialmente en regiones como el noroeste de México. Aunque la industria pesquera tiene un impacto significativo en la economía y la alimentación, también genera desafíos ambientales debido al desperdicio de subproductos. Se examinan los esfuerzos para valorizar estos subproductos, destacando investigaciones que buscan extraer compuestos de alto valor económico y nutricional. Además, se explora el potencial de estos compuestos en diversas industrias, desde la alimentaria hasta la farmacéutica y la cosmética, y se destaca la importancia de adoptar tecnologías innovadoras para promover una industria pesquera más sostenible y rentable.

Palabras clave: pesquerías, valor agregado, bioactivos, subproductos.

Abstract

The chapter addresses the historical and cultural importance of artisanal fishing, highlighting its role in the subsistence of coastal communities and its contribution to local food security. It discusses how the growing global demand for fish has driven the industrialization of fishing, especially in regions like northwest Mexico. Although the fishing industry has a significant impact on the economy and food supply, it also poses environmental challenges due to the waste of byproducts. Efforts to valorize these byproducts are examined, with a focus on research aimed at extracting compounds of high economic and nutritional value. Additionally, the potential of these compounds in various industries, from food to pharmaceuticals and cosmetics, is explored, underscoring the importance of adopting innovative technologies to promote a more sustainable and profitable fishing industry.

Keywords: fisheries, value-added, bioactive compounds, subproducts.

Introducción

La pesca artesanal se erige como una actividad humana arraigada en tradiciones milenarias, representando la conexión íntima entre las comunidades costeras y sus entornos marinos. Durante miles de años, la producción pesquera ha permitido sostener a grupos poblacionales itinerantes (nómadas) y pequeñas sociedades humanas asentadas en las orillas de esteros, caletas, barras, lagunas, desembocaduras de ríos, costas marinas, etcétera (Rodríguez Galicia, 2017). Además de proporcionar alimento, esta actividad era un componente común en sus ceremonias (López Chavarría, 1997). Este tipo de pesca no solo contribuía y sigue contribuyendo a la seguridad alimentaria de las comunidades locales, sino que también preserva la diversidad biológica marina al evitar prácticas destructivas. La pesca artesanal ha permitido la cohesión social al mantener vínculos culturales con el mar y promover el intercambio intergeneracional de saberes, convirtiéndose así

en una actividad esencial que fusiona la subsistencia, la identidad cultural y la gestión responsable de los recursos acuáticos.

La creciente demanda de pescado, destinado a combatir el hambre gracias a sus nutrientes básicos como proteínas, grasas, carbohidratos, y sustancias como minerales y vitaminas (Stansby, 1962), ha propiciado un aumento en las pesquerías industriales a nivel mundial. Los peces contienen 72% de agua, 19% de proteínas y 8% de grasa, entre los que destacan EPA y DHA (Tang et al., 2009). Si embargo, su composición y, por tanto, su valor nutritivo está influenciado por diversas variables como la especie, edad, medio en que viven, tipo de alimentación, época de captura, entre otros (Nazrul y Razzaq, 2005). En México, la región noroeste del país, especialmente las áreas costeras de estados como Baja California, Sonora y Sinaloa, presenta un alto porcentaje de actividad pesquera debido a una combinación de factores geográficos, climáticos y económicos (véase la Figura 43). A nivel global, nuestro país ocupa el puesto 16 en cuanto a la producción de pescados y mariscos (EDF, 2023), y se estima que en México se consumen de 8 a 13 kg anuales de pescado por persona según cifras del Consejo Mexicano de Promoción de Productos Pesqueros (Comepesca, 2021). Sin embargo, el desarrollo de estas actividades productivas está condicionado al estado físico de los activos productivos, como embarcaciones y unidades de producción.

VALORIZACIÓN PRODUCTOS PESQUEROS



Figura 43. Principales (11) pesquerías comerciales en la Región Noreste de México. Atún aleta amarilla y barrilete (Pacífico Mexicano); ostión y mejillón (Baja California); ostión, langosta roja, mejillón y jurel (Baja California Sur); calamar gigante (Alto Golfo de California); y jaiba, camarón, sardina crinuda (Sonora, Sinaloa, Nayarit). Tomado de COMEPESCA (2024).

Según el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA), la flota pesquera mexicana está constituida por 76,306 embarcaciones, de las cuales 2,020 son embarcaciones mayores y 74,286 son embarcaciones menores (ribereñas) registradas (DOF, 2020).

La industria pesquera es responsable de la producción de cantidades significativas de productos marinos y procedentes del mar, donde solo el 40% de la captura se destina al consumo humano, mientras que más del 60% (cabeza, piel, pedacería, aletas, y víscera) se descarta (Dekkers et al., 2011). Como resultado, se generan cantidades considerables de residuos (Chalamaiah et al., 2012), lo que provoca graves problemas ambientales atribuibles al hecho de que estos desechos

no tienen una aplicación directa. El problema dual que surge de las industrias de procesamiento de pescado, comprendiendo problemas ambientales y aplicaciones menos rentables para subproductos y desechos, ha resaltado la necesidad de obtener valorización a partir de los residuos de procesamiento de pescado y, al mismo tiempo, contribuir a una industria pesquera más sostenible.

La industria pesquera ha realizado algunos esfuerzos para abordar de manera eficiente los desechos de pescado, incluyendo su aplicación como alimento para animales, fertilizantes para plantas, aceite de pescado y harinas de pescado (Ferraro et al., 2010). Sin embargo, en el contexto de la valorización de biodesperdicios, estos productos no resultan económicamente atractivos para las industrias pesqueras (Hsu, 2010; Caruso, 2015). A pesar de ello, el paradigma está cambiando y el procesamiento de subproductos puede transformar un producto de bajo valor en uno capaz de cubrir todos los costos de procesamiento y eliminación, con un consecuente mayor valor agregado y un menor daño ambiental (Schmidt, 2016).

Estos residuos derivados del procesamiento de pescados y mariscos incluyen la carcasa, la cabeza, la piel, las escamas, los huesos, las vísceras y las conchas. En este contexto, las investigaciones se han enfocado en la búsqueda de productos de mayor valor que podrían ser extraídos de estos subproductos pesqueros, tales como proteínas (enzimas proteolíticas, hidrolizados de proteínas, péptidos bioactivos, colágeno y gelatina), aceites de pescado e hidroxiapatita (Liceaga-Gesualdo & Li-Chan 1999; Montero & Gómez-Guillen 2000; Chantanchum et al., 2016). La extracción de estos compuestos muestra un considerable potencial económico, dado su reconocido impacto positivo en la salud humana. Designados como compuestos de potencial valor agregado, estos productos ofrecen numerosas posibilidades de aplicación, desde la industria alimentaria hasta la farmacéutica, médica y cosmética (Rivera-Pérez et al., 2023; Caruso, 2015; Kim & Mendis, 2006; Gildberg et al., 2004). De esta manera, la exploración de nuevas metodologías para extraer y purificar productos de alto valor a partir de los desechos de pescado

VALORIZACIÓN PRODUCTOS PESQUEROS

emerge como una excelente oportunidad para las industrias de procesamiento de pescado, permitiéndoles agregar mayor valor a lo que anteriormente se consideraba como desperdicio.

Valorización de los productos de la pesca

Existen diversos usos potenciales de los distintos componentes que constituyen pescados y mariscos, que proveen un valor agregado al producto. El valor agregado se refiere a cualquier proceso o actividad que aumenta el valor económico de un producto más allá de su estado original. Esto puede implicar transformaciones físicas, como el fileteado o el envasado, la incorporación de ingredientes adicionales para crear productos elaborados o la mejora de la presentación y la comercialización del producto (Ikbal et al., 2021). El valor agregado puede incluir también aspectos relacionados con la calidad, la seguridad alimentaria, la sostenibilidad o el origen del producto, lo que lo hace más atractivo para los consumidores y puede justificar un precio más alto en el mercado. Además de la transformación de los productos comestibles como el filete, las partes no comestibles han logrado ser un foco de atención para el desarrollo de nuevos productos (ver Figuras 44 y 45).

Los principales productos generados a partir de estos residuos son harinas de pescado; sin embargo, tienden a tener un bajo valor comercial. Los estudios desarrollados en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., en la Línea Estratégica de Maximización del Valor Económico de Productos Pesqueros del Programa de Ecología Pesquera, enfocan sus esfuerzos en identificar moléculas con potencial valor económico a los productos y subproductos de la pesca, promoviendo su uso y aprovechamiento integral e implementando tecnologías basadas en el conocimiento científico.

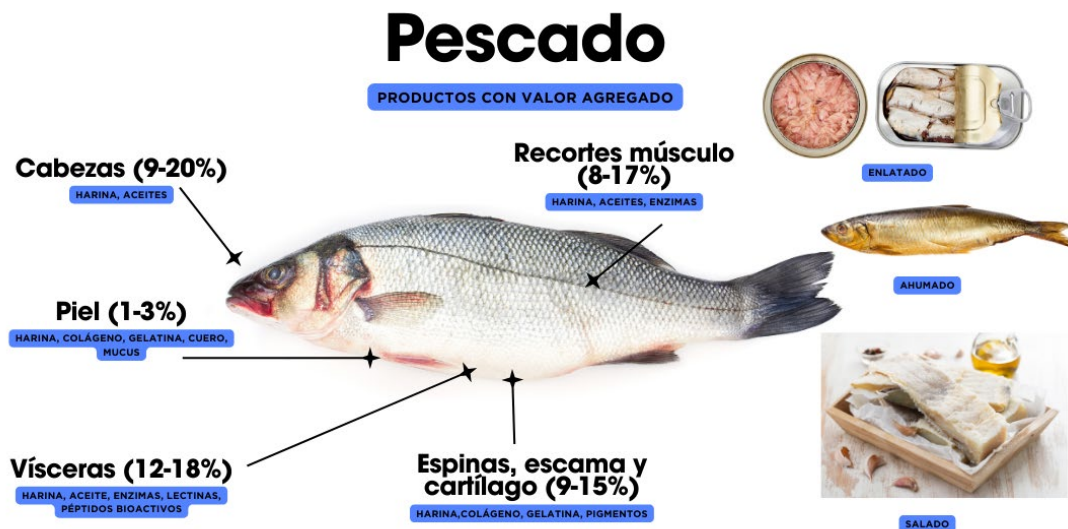


Figura 44. Productos con valor agregado derivados de la pesca, músculo y residuos del procesamiento (Creado con Canva).

A continuación, se mostrarán los usos potenciales que, en función del conocimiento científico actual generado por CIBNOR (Tabla 9), pueden presentar algunos subproductos de la pesca, por el aprovechamiento conjunto de un grupo de componentes moleculares (proteínas, aceites), o bien por el aprovechamiento de una molécula o macromolécula concreta (colágeno, proteasas, etc.)



Figura 45. Productos con valor agregado derivados de los mariscos (Creado con Canva).

Tabla 9. Principales biomoléculas identificadas en CIBNOR con potencial biotecnológico.

Molécula o producto de interés obtenido	Nombre del recurso	Tipo de desecho	Referencias
VALORIZACIÓN PRODUCTOS PESQUEROS			
Concentrados de proteína	Camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i>	Cabeza	Córdova-Murueta et al., 2013; 2018.
	Langostilla <i>Pleuroncondes planipes</i>	Vísceras, Hepatopáncreas	Cordova-Murueta et al., 2018; García-Carreño et. al. 1992; García-Carreño y Haard, 1994
	Calamar gigante <i>Dosidicus gigas</i>	Manto	Córdova-Murueta y García-Carreño, 2002, 2001; De La Fuente-Betancourt et al., 2006, 2009; Palafox et al., 2009;
	Almeja <i>Megapitaria squalida</i>	Vísceras	Córdova Murueta et al., 2018
	Fauna de acompañamiento	Músculo	Córdova Murueta et al., 2007
Enzimas	<i>Debaryomyces hansenii</i>	Biomasa	Hernández-Saavedra et al.1995; Hernández-Saavedra y Ochoa, 1999; Ramírez Orozco, Hernández-Saavedra y Ochoa, 2001;
	Corales	Tejido	Paz-García et al., 2012
	Camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i>	Cabeza	Córdova-Murueta et al., 2013; 2018.
	Langostilla <i>Pleuroncondes planipes</i>	Vísceras, Hepatopáncreas	Cordova-Murueta et al., 2018; García-Carreño et. al. 1994, 1999; Hernández-Cortes et al. 1999; García-Carreño y Haard, 1994
	Camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i>	Hepatopáncreas Branquias	Arreola et al., 2023; Córdova-Murueta et al., 2004, 2003, 2013, 2017; Hernández Cortés et al., 1997, 2017; Rojo-Arreola et al., 2023; Sainz et al., 2005; Sainz Hernández y Córdova Murueta, 2009;
	Otros decápodos	Hepatopáncreas	Hernández-Cortes 2021
Péptidos bioactivos	Abulón <i>Haliotis fulgens</i> y <i>Haliotis corrugata</i>	Vísceras	Rivera-Pérez, Ponce González y Hernández-Saavedra, 2023
Proteínas	Madre perla y concha nácar <i>Pinctada mazatlanica</i> , <i>Pteria sterna</i>	Concha	Rivera-Pérez et al., 2019a; Rivera et al., 2020; Rivera-Pérez et al., 2019b; Arroyo Loranca et al., 2020; Arroyo Loranca et al., 2023
	Callo de hacha <i>Atrina maura</i>	Concha	Domínguez Beltrán, 2023.
	Mano de León <i>Nodipecten subnudosus</i>	Concha	Rojas Sánchez, 2024
Quitina	Camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i>	Cabeza	Córdova-Murueta et al., 2013; 2018.

2.1 Harinas de pescado

Las harinas de pescado normalmente se elaboran a partir de sardinas y anchovetas y son expuestas a muy altas temperaturas, lo cual disminuye su utilidad. Mediante hidrólisis *in vitro* de harinas de pescado secadas a diferentes temperaturas, se demostró que a medida que aumenta la temperatura de secado, los valores de digestibilidad se ven seriamente afectados (Córdova-Murueta et al., 2007; Córdova-Murueta & García -Carreño 2001), lo cual demuestra que exponer la proteína a altas temperaturas de secado reducen la utilidad y el valor de las proteínas de pescado, así como su valor nutritivo. No obstante, este estudio demostró que al reducir la temperatura de secado se obtendrá un producto de mucho más valor y con mejores propiedades nutritivas.

2.2 Hidrolizados de proteína

Otra estrategia de valorización de residuos pesqueros y de especies de bajo valor comercial es la obtención de concentrados de proteínas mediante los procesos de hidrólisis enzimática y cambio de pH (pH-shift). Estos procesamientos permiten la generación de péptidos pequeños (2-20 aminoácidos). En el producto no hidrolizado, estos péptidos de cadena corta están intactos dentro de la secuencia de las proteínas parentales, pero pueden liberarse mediante la acción de la hidrólisis enzimática bajo condiciones aceleradas utilizando enzimas proteolíticas como alcalasa, proteasa, tripsina y pepsina (Sarmadi e Ismail, 2010; Chalamaiah et al., 2012). Se ha descrito que los hidrolizados de pescado tienen excelentes propiedades fisicoquímicas, incluyendo una mayor solubilidad, propiedades emulsionantes, propiedades espumantes, capacidad de retención de agua y capacidad de unión de grasas, lo que a su vez aumenta la palatabilidad del alimento y simplifica la absorción biológica de nutrientes (Kasumyan & Døving, 2003; Bhaskar et al., 2007; Gajanan et al., 2016). Esta estrategia de aprovechamiento se ha implementado a partir de langostilla (García-Carreño et al., 1999), calamar gigante

(*Dosidicus -gigas*) (de la Fuente et al., 2006, 2009; Palafox et al., 2009), cabezas de camarón (Córdova-Murueta et al., 2013) e incluso a partir de vísceras de almeja *Megapitaria squalida* (Córdova Murueta et al., 2018).

2.3 Enzimas

Las enzimas son importantes en diversos procesos en la industria, medicina e investigación y representan una fuente de ingresos muy significativa. Las investigaciones de la Línea Estratégica IV del PEP han demostrado que el ambiente marino posee una variedad de enzimas con potencial biotecnológico, entre las que destacan enzimas antioxidantes con potencial uso como antiinflamatorio a partir de levaduras marinas (Hernández-Saavedra & Ochoa 1999; Ramírez Orozco et al., 2001). También se han identificado enzimas digestivas de diferentes organismos con potencial uso como suplementos alimenticios, como las de langostilla (García-Carreño, 1992; García-Carreño & Haard 1993), varias especies de langosta (Biboverdugo et al., 2015; 2016, Rodríguez-Siordia et al., 2018; Rojo et al., 2010, 2013), y varias especies de camarones (Arreola et al., 2023; Córdova-Murueta et al., 2004; Sainz-Hernández & Córdova-Murueta 2009), estas últimas que provienen casi exclusivamente del sistema digestivo del recurso y que han permitido dilucidar algunos aspectos de su proceso de digestión para tener herramientas de diseño de alimentos aplicables a las diferentes fases de su cultivo. Además, se han identificado enzimas clave que funcionan como marcadores moleculares para determinar la presencia de más de una población de organismos (Paz-García et al., 2012; Hernández Cortés 2021). Las propiedades de las enzimas son muy diversas, al igual que los organismos marinos que sostienen las pesquerías.

2.4 Proteínas de la concha de moluscos

Las conchas de moluscos, que representan el 6% del peso total del organismo, son uno de los residuos menos aprovechados, y toneladas de ellas son descartadas anualmente. Las conchas de moluscos contienen proteínas de interés ambiental y comercial, ya que las proteínas de estos organismos sésiles, al ser susceptibles a cambios climáticos, pueden funcionar como marcadores de cambios ambientales, como la acidificación (Flores-Higuera, 2020; Domínguez-Beltrán, 2023) y la variabilidad de temperatura (Rojas Sánchez, 2024).

Además, las proteínas de las conchas han demostrado tener potencial en la industria biomédica, ya que las proteínas del nácar han mostrado actividad de cristalización *in vitro*, la cual se puede modular mediante modificaciones en sus propiedades fisicoquímicas (Rivera-Pérez et al., 2019ab; Arroyo Loranca et al., 2023). Estas características hacen que, a su vez, puedan ser potencialmente empleadas en la industria cosmética y osteogénica, esta última derivada de su homología con la formación de hueso en humanos.

2.5 Nuevos productos

El valor agregado no solo se da cuando hay un aprovechamiento de un subproducto, sino también mediante la modificación del producto principal para mejorar sus propiedades organolépticas o su vida útil en anaquel. En CIBNOR, hemos contribuido al desarrollo de nuevos productos enlatados de moluscos sin alterar sus propiedades nutricionales e incrementando su vida útil. De esta manera, esta estrategia de conservación permite ampliar los alcances de su venta más allá de la región donde se produce (CONACyT-PEI. Número de Proyecto: 253040).

2.6 Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son sustancias químicas presentes en alimentos y otros materiales biológicos que pueden ejercer efectos beneficiosos para la salud. En el

mercado actual, se ha observado un creciente interés en los compuestos bioactivos derivados de fuentes marinas, especialmente en el contexto de productos pesqueros. Por ejemplo, las vísceras de abulón, usualmente desechadas como subproductos de la pesca de abulón, tras la hidrólisis con enzimas comerciales y su posterior separación mediante cromatografía de filtración en gel. Se encontró actividad antimicrobiana en fracciones de proteínas de *Haliotis corrugata* contra varias bacterias y de *H. fulgens* contra seis cepas bacterianas y hongos. Además, ciertas fracciones mostraron actividad citotóxica, inhibiendo el crecimiento celular del cáncer de próstata en un rango del 30.4 al 53.8%. Algunas fracciones seleccionadas redujeron la expresión de gelatinasas mmp-2 y mmp-9 inducidas y no inducidas en células PC3. Esto sugiere que las vísceras de abulón son una fuente potencial de péptidos antimicrobianos y anticancerígenos (Rivera-Pérez et al., 2023^a; Rivera-Pérez et al., 2022).

2.7. Valorización de productos pesqueros para el bienestar comunitario

Dar valor agregado a los residuos de la pesca conlleva una serie de beneficios tanto a nivel económico como social, con un impacto significativo en el bienestar comunitario. En primer lugar, la transformación de los residuos pesqueros en productos con valor añadido contribuye a maximizar el rendimiento económico de la industria pesquera, reduciendo la cantidad de desperdicios y aprovechando al máximo los recursos disponibles. Esto puede resultar en una mejora de la rentabilidad para los pescadores y las empresas relacionadas con la pesca.

Además, la creación de valor agregado a partir de residuos pesqueros fomenta la innovación y la diversificación en la cadena de suministro, generando oportunidades de empleo y desarrollo de nuevas habilidades en las comunidades pesqueras a través de una economía circular sustentable. Un ejemplo notable es el caso de los moluscos, que son emblemáticos de la zona de Baja California Sur. A partir de estudios realizados por las principales instituciones educativas de la región,

incluyendo CIBNOR, se ha planteado el aprovechamiento integral de callo de hacha (*Atrina maura*), desde su músculo abductor o mejor conocido como callo hasta el aprovechamiento de subproductos (vísceras, gónadas y conchas) (Gámez-Vázquez et al., 2023), para generar una nueva fuente de ingreso adicional para las comunidades pesqueras (ver Figura 46).

En este ejercicio, por una economía circular sustentable en La Paz, se plantean tres propuestas: 1) secado de los residuos para aprovecharlos como aditivo para aves, ya que estos residuos son ricos en ácidos grasos; 2) uso como fertilizante para la producción de hierbas aromáticas y fuente de enzimas proteolíticas; y 3) extracción del calcio de las conchas de moluscos para su uso como aditivo a aves, aunque las conchas también pueden ser usadas como captadoras de metales pesados para descontaminar agua.



Figura 46. Propuesta de economía circular del recurso de callo de hacha (*Atrina maura*).

VALORIZACIÓN PRODUCTOS PESQUEROS

La creación de productos de mayor valor nutricional, como suplementos alimenticios o cosméticos a partir de residuos, no solo abre nuevos mercados, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental al reducir la presión sobre los recursos pesqueros y provee bienestar comunitario, ya que contribuye a la mejora de las condiciones de vida de las comunidades costeras al generar empleo local, aumentar los ingresos y fortalecer la resiliencia económica. Además, al impulsar prácticas más sostenibles y responsables, se fomenta la conservación de los ecosistemas marinos y se preserva el medio ambiente, asegurando la continuidad de los recursos para las generaciones futuras.

Conclusiones

En la búsqueda de un enfoque más sostenible y completo en la industria pesquera, se han desarrollado diversas estrategias para aprovechar tanto los recursos pesqueros como sus residuos, como vísceras y conchas, con el objetivo de agregarles un potencial valor. Innovadoras iniciativas han surgido para transformar estos subproductos en productos finales de alto valor nutricional, cosmético o farmacéutico. El procesamiento de las vísceras de pescado para obtener aceites ricos en omega-3, proteínas y péptidos bioactivos, así como la utilización de conchas para la obtención de calcio y marcadores, son ejemplos notables. Estas prácticas no solo maximizan el rendimiento económico de la pesca, sino que también reducen la generación de residuos, promoviendo un enfoque más circular y sostenible. Al dar valor agregado no solo a los recursos pesqueros sino también a sus subproductos previamente desechados, se contribuye significativamente a la eficiencia económica, la innovación y la preservación de los ecosistemas marinos. Este enfoque integral no solo beneficia a la industria, sino que también refleja un compromiso hacia la responsabilidad ambiental y el desarrollo económico equitativo.

Importancia Social

La pesca artesanal tiene un profundo impacto social al representar mucho más que una actividad económica: constituye un pilar de identidad, cohesión y resiliencia en las comunidades costeras. Al estar estrechamente ligada a prácticas ancestrales, ha permitido no solo la subsistencia alimentaria, sino también el fortalecimiento de la cultura local mediante la transmisión intergeneracional de saberes, técnicas y valores relacionados con el manejo del mar. Esta actividad fomenta la autonomía económica de las comunidades y genera empleos directos e indirectos, particularmente en regiones con limitado acceso a otras fuentes de ingreso. En el contexto actual, iniciativas orientadas a la valorización de subproductos pesqueros, como la extracción de compuestos bioactivos o la transformación de residuos en insumos útiles, tienen un efecto multiplicador en el bienestar comunitario. Estas estrategias promueven una economía circular que diversifica fuentes de ingreso, impulsa el emprendimiento local, reduce la dependencia de la pesca extractiva y contribuye a la sostenibilidad ambiental. Casos como el aprovechamiento integral del callo de hacha en Baja California Sur ilustran cómo el conocimiento científico puede articularse con las capacidades locales para mejorar la calidad de vida, fortalecer la seguridad alimentaria y preservar la cultura pesquera. Así, la pesca artesanal y su valorización son instrumentos clave para el desarrollo social equitativo y sostenible.

Perspectivas

La adición de valor y la diversificación de productos podrían convertir más del pescado en alimento u otros productos valiosos, proporcionando fuentes adicionales de ingresos para procesadores y vendedores. Cuando se trata de subproductos acuáticos, el enfoque suele centrarse en productos finales de mayor valor, como la extracción de compuestos bioactivos para utilizarlos como ingredientes alimentarios, suplementos o nutraceuticos. De estos subproductos de

procesamiento se pueden obtener también otros compuestos valiosos, como el colágeno, la gelatina, la quitina, la quitosana, enzimas y proteínas específicas, péptidos bioactivos y pigmentos, con diversas aplicaciones en la industria alimentaria, de envasado y farmacéutica. No obstante, estos procesos pueden requerir una inversión inicial elevada y el uso intensivo de tecnología, lo cual no resulta práctico ni beneficioso para los procesadores a pequeña escala. La inversión inicial en innovaciones puede ser especialmente alta, ya sea para adquirir nuevos equipos o maquinaria sofisticada, así como para utilizar reactivos en la extracción de aislados en laboratorio. Además, se necesitará invertir en el capital humano, por ejemplo, para desarrollar nuevas habilidades y fortalecer capacidades (Peñarubia et al., 2022).

Antes de implementar nuevas tecnologías y dar valor agregado a un producto, es necesario realizar estudios de mercado para garantizar la demanda del producto. Es crucial conocer si hay posibles compradores o consumidores y entender su comportamiento de compra. Al final, es el consumidor quien determina qué adquirir. Además, contar con un entorno político favorable que apoye la adopción de nuevas tecnologías y productos mediante la oferta de incentivos puede ser crucial (Venugopal et al., 2014).

Literatura citada

- Arreola, L. R., Quiroz-Guzmán, E., Caballero, J. L., Ponce García, E. I., Córdova Murueta, J. H., & García Carreño, F. L. (2023). Shrimp hepatopancreatic crude enzymes as aids in rice bran hydrolysis: Potential contributors to sustainable aquaculture. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(9). <https://doi.org/10.4194/TRJFAS22332>
- Arroyo Loranca, R. G., Rivera Pérez, C., Hernández Adame, L., Cruz Villacorta, A. A., Rodríguez López, J. L., & Hernández Saavedra, N. Y. (2023). Efecto de iones y concentración de proteína Ps19, una proteína de la concha de *Pteria sterna*, en los polimorfos de carbonato de calcio: Polimorfos de carbonato de

- calcio en Concha Nácar. *Biotecnia*, 25(2), 136–145.
<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1885>
- Arroyo-Loranca, R. G., Rivera-Perez, C., Hernandez-Adame, L., Cruz Villacorta, A. A., Rodriguez-Lopez, J. L., & Hernandez-Saavedra, N. Y. (2023). Effect of ion and protein concentration of Ps19, a shell protein from *Pteria sterna*, on calcium carbonate polymorph. *Biotecnia*, 25(2), 136–145.
- Bhaskar, N., Sudeepa, E. S., Rashmi, H. N., & Tamil Selvi, A. (2007). Partial purification and characterization of protease of *Bacillus proteolyticus* CFR3001 isolated from fish processing waste and its antibacterial activities. *Bioresource Technology*, 98(13), 2758–2764.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.033>
- Bibo-Verdugo, B., O'Donoghue, A. J., Rojo-Arreola, L., Craik, C. S., & García-Carreño, F. (2016). Complementary proteomic and biochemical analysis of peptidases in lobster gastric juice uncovers the functional role of individual enzymes in food digestion. *Marine Biotechnology*, 18(2), 201–214.
<https://doi.org/10.1007/s10126-015-9681-5>
- Bibo-Verdugo, B., Rojo-Arreola, L., Navarrete-del-Toro, M. A., & García-Carreño, F. (2015). A chymotrypsin from the digestive tract of California spiny lobster, *Panulirus interruptus*: Purification and biochemical characterization. *Marine Biotechnology*, 17(4), 416–427. <https://doi.org/10.1007/s10126-015-9626-z>
- Caruso, G. (2015). Fishery wastes and by-products: A resource to be valorised. *Journal of Fish Biology*, 9(1), 80–83.
- Chalamaiah, M., Dinesh Kumar, B., Hemalatha, R., & Jyothirmayi, T. (2012). Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chemistry*, 135(4), 3020–3038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>
- Chantachum, S., Benjakul, S., & Sriwirat, N. (2000). Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads. *Food Chemistry*, 69(3), 289–294. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00266-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00266-6)
- CONACyT-PEI. (2018). Número de Proyecto: 253040. Diseño de un prototipo de enlatado para incrementar la vida de anaquel de callo de hacha *Atrina maura*.
- Comepesca. (2024, January 31). #PescaConFuturo. <https://pescaconfuturo.com/11-pescados-mariscos-certificacion-sustentable-mexico/>
- Comepesca. (2021). Aumentan mexicanos consumo de pescado. <https://amqueretaro.com/mexico/2021/03/14/aumentan-mexicanos-consumo-de-pescado/>

- Córdova-Murueta, J. H., Navarrete del Toro, M. A., & García-Carreño, F. (2018). Estrategias para obtener proteína a partir de productos y sub-productos de la pesca normalmente no aprovechados. *Recursos Naturales y Sociedad*, 4(1), 22-31. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.01.0002>
- Córdova-Murueta, J. H., & García-Carreño, F. (2001). The effect on growth and protein digestibility of shrimp *Penaeus stylirostris* fed with feeds supplemented with squid (*Dosidicus gigas*) meal dried by two different processes. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 10(3), 35–47. https://doi.org/10.1300/J030v10n03_04
- Córdova-Murueta, J. H., García-Carreño, F. L., & Navarrete-del-Toro, M. A. (2013). pH-Solubilization process as an alternative to enzymatic hydrolysis applied to shrimp waste. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13(4), 639–646. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_4_09
- Córdova-Murueta, J. H., García-Carreño, F. L., & Navarrete-Del-Toro, M. A. (2004). Effect of stressors on shrimp digestive enzymes from assays of feces: An alternate method of evaluation. *Aquaculture*, 233(1-4), 439–449. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.012>
- Córdova-Murueta, J. H., Navarrete-del-Toro, M. A., & García-Carreño, F. (2007). Concentrates of fish protein from bycatch species produced by various drying processes. *Food Chemistry*, 100(2), 705–711. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.029>
- de la Fuente, G. B. (2006). Proteína de manto de calamar gigante (*Dosidicus gigas*): Almacenamiento y procesamiento (Tesis doctoral). CIBNOR, La Paz, Baja California Sur, México.
- de-la-Fuente-Betancourt, G., García-Carreño, F., Navarrete-del-Toro, M. A., & Córdova-Murueta, J. H. (2009). Effect of pH and temperature on jumbo squid proteins. *Journal of Food Biochemistry*, 33(2), 260–272. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00216.x>
- Dekkers, E., Raghavan, S., Kristinsson, H. G., & Marshall, M. R. (2011). Oxidative stability of mahi mahi red muscle dipped in tilapia protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 124(2), 640–645. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.088>
- DOF. (2020, December 30). Programa Nacional de Pesca y Acuacultura 2020-2024. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0
- Domínguez-Beltrán, R. V. (2023). Efecto de la variación de pH en la estructura de la concha y el tejido del manto de juveniles de callo de hacha (*Atrina maura*) (Tesis de maestría). CIBNOR, La Paz, Baja California Sur, México.

- EDF. (2023, February 15). El cambio climático amenaza pesquerías cruciales para la alimentación y el bienestar social de millones de mexicanos. <https://mexico.edf.org/prensa/el-cambio-climatico-amenaza-pesquerias-cruciales-para-la-alimentacion-y-el-bienestar-social>
- Ferraro, V., Cruz, I. B., Jorge, R. F., Malcata, F. X., Pintado, M. E., & Castro, P. M. L. (2010). Valorisation of natural extracts from marine source focused on marine by-products: A review. *Food Research International*, 43(9), 2221–2233. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.034>
- Flores-Higuera, F. A., Reyes-Bonilla, H., Luis-Villaseñor, I. E., Mazón-Suástegui, J. M., & Guerrero-Tortolero, D. A. (2019). Hábitos alimenticios del erizo blanco *Tripteneustes depressus* (Agassiz, 1863) en dos localidades de Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1), e902830. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2830>
- Flores-Irigoyen, M., Brulé, T., Moo-Campos, R. H., & Colás-Marrufo, T. (2014). Composición de la captura, pesquería artesanal de moluscos y equinodermos de una comunidad costera de la Península de Yucatán, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(1), 100–113. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue1-fulltext-10>
- García-Carreño, F., Dimes, L. E., & Haard, N. F. (1993). Substrate-gel electrophoresis for composition and molecular weight of proteinases or proteinaceous proteinase inhibitors. *Analytical Biochemistry*, 214(1), 65–69. <https://doi.org/10.1006/abio.1993.1457>
- García-Carreño, F. L. (1992). The role of digestive proteases in feeding and growth of the red abalone, *Haliotis rufescens*. In S. A. Shepherd, M. J. Tegner, & S. A. Guzmán del Prío (Eds.), *Abalone of the world: Biology, fisheries and culture* (pp. 123-138). Blackwell.
- García-Carreño, F., & Navarrete-del-Toro, M. A. (2018). Purification and characterization of proteases from the hepatopancreas of the shrimp *Penaeus californiensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 90(2), 333-340. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(88\)90224-3](https://doi.org/10.1016/0305-0491(88)90224-3)
- García-Carreño, F., & Navarrete-del-Toro, M. A. (2006). Digestive proteases in juvenile red abalone *Haliotis rufescens* fed natural food. *Aquaculture*, 254(1-4), 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.032>
- García-Carreño, F., & Navarrete-del-Toro, M. A. (1998). Digestive proteinases from the hepatopancreas of the white shrimp *Penaeus vannamei*. *Comparative*

- Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 121(3), 353-360. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(98\)10067-8](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(98)10067-8)
- García-Carreño, F., & Haard, N. F. (1993). Characterization of proteinase classes in langostilla (*Pleuroncodes planipes*) and crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) extracts. *Journal of Food Biochemistry*, 17(2), 97-113. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.1993.tb00854.x>
- García-Carreño, F., Navarrete-del-Toro, M. A., & Haard, N. F. (1994). Characterization of proteinase classes in the digestive systems of the marine molluscs *Mytilus edulis*, *Perna perna* and *Carcinostrea virginica*. *Marine Biology*, 119(1), 71-79. <https://doi.org/10.1007/BF00350108>
- Gildberg, A. (2004). Enzymes and bioactive peptides from fish waste related to fish silage, fish feed and fish sauce production. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 13(2), 3–11. https://doi.org/10.1300/J030v13n02_02
- Hernández-Cortes, P. (2021). Bioinformatic analysis of substrate binding sites in decapod brachyurin-C collagenases. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 57, 115–125. <https://doi.org/10.1134/S0022093021010117>
- Hernández-Saavedra, N. Y., Hernández-Saavedra, D., & Ochoa, J. L. (1995). Factors affecting the distribution of the genus *Candida* (Berkhout) along the west coast of Baja California Sur. *Systematic and Applied Microbiology*, 18, 109-112. [https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(11\)80457-1](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(11)80457-1)
- Hernández-Saavedra, N. Y., & Ochoa, J. L. (1999). Copper-zinc superoxide dismutase from the marine yeast *Debaromyces hansenii*. *Yeast*, 15, 657-668. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0061\(19990615\)15:8<657::AID-YEA410>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0061(19990615)15:8<657::AID-YEA410>3.0.CO;2-U)
- Hsu, K.-C. (2010). Purification of antioxidative peptides prepared from enzymatic hydrolysates of tuna dark muscle by-product. *Food Chemistry*, 122, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.013>
- Ikbal, A., Swarnadyuti, N., & Chowdhury, S. (2021). Role of value-added fish products for boosting entrepreneurship. *Green Reports*, 2(5), 28-31.
- Kasumyan, A. O., & Døving, K. B. (2003). Taste preferences in fishes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 4, 289–347.
- Kim, S. K., & Mendis, E. (2006). Bioactive compounds from marine processing byproducts: A review. *Food Research International*, 39, 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.10.010>

- Liceaga-Gesualdo, A., & Li-Chan, E. C. (1999). Functional properties of fish protein hydrolysate from herring (*Clupea harengus*). *Journal of Food Science*, 64, 1000–1004. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb12268.x>
- López Chavarría, J. L. (1997). *Panorama del derecho mexicano. Derecho pesquero*. Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM. Mc Graw & Hill. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/5005218>
- Montero, P., & Gomez-Guillen, M. C. (2000). Extracting conditions for megrim (*Lepidorhombus boschii*) skin collagen affect functional properties of the resulting gelatin. *Journal of Food Science*, 65, 434–438. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16022.x>
- Nazrul, I., & Razzaq, A. (2005). Seasonal variation of the proximate composition of freshwater gobi, *Glossogobius aureus* (Hamilton) from the River Padma. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8, 532-536. <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2005.532.536>
- Palafox, H., Córdova-Murueta, J. H., Navarrete del Toro, M. A., & García-Carreño, F. (2009). Protein isolates from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) by pH-shift processing. *Process Biochemistry*, 44, 584–587. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.02.011>
- Paz-García, D. A., Chávez-Romo, H. E., Correa-Sandoval, F., Reyes-Bonilla, H., López-Pérez, A., Medina-Rosas, P., & Hernández-Cortés, M. P. (2012). Genetic connectivity patterns of corals *Pocillopora damicornis* and *Porites panamensis* (Anthozoa: Scleractinia) along the west coast of Mexico. *Pacific Science*, 66(1), 43-61. <https://doi.org/10.2984/66.1.3>
- Peñarubia, O., Toppe, J., Ahern, M., Ward, A., & Griffin, M. (2022). How value addition by utilization of tilapia processing by-products can improve human nutrition and livelihood. *Reviews in Aquaculture*, 2, 32-40.
- Ramírez-Orozco, M., Hernández-Saavedra, N. Y., & Ochoa, J. L. (2001). *Debaromyces hansenii* development in a non-sterile sea water-CIO₂ peptone containing culture medium. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(7), 676-679. <https://doi.org/10.1139/cjm-47-7-676>
- Rivera-Pérez, C., Magallanes Domínguez, C., Domínguez Beltrán, R. V., Ojeda-Ramírez de Areyano, J. J., & Hernández-Saavedra, N. Y. (2019a). Biochemical and molecular characterization of N66 from the shell of *Pinctada mazatlanica*. *PeerJ*, 7, e7212. <https://doi.org/10.7717/peerj.7212>
- Rivera-Pérez, C., Arroyo-Loranca, R. G., & Hernández Saavedra, N. Y. (2022). An acidic protein, Hf15, from *Halotis fulgens* involved in biomineralization. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 272, 111276. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2022.111276>

- Rivera-Pérez, C., Ponce González, X. P., & Hernández Saavedra, N. Y. (2023). Antimicrobial and anticarcinogenic activity of bioactive peptides derived from abalone viscera (*Haliotis fulgens* and *Haliotis corrugata*). *Scientific Reports*, 13, 15185. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41491-w>
- Rivera-Pérez, C., Ojeda-Ramírez de Areyano, J. J., & Hernández-Saavedra, N. Y. (2019b). Purification and functional analysis of the shell matrix protein N66 from the shell of the pearl oyster *Pteria sterna*. *Comparative Biochemistry and Physiology: Part B*, 235, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2019.05.007>
- Rivera-Pérez, C., Flores-Sánchez, I. A., Ojeda Ramírez de Areyano, J. J., Rojas Posadas, D. I., & Hernández-Saavedra, N. Y. (2020). A shell matrix protein of *Pinctada mazatlanica* produces nacre platelets in vitro. *Scientific Reports*, 10, 20201. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76900-2>
- Rodríguez Galicia, B. (2017). La pesca Mesoamericana. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM. <http://ru.iiia.unam.mx:8080/handle/10684/103>
- Rodríguez-Siordia, I., Rojo-Arreola, L., Navarrete del Toro, M. A., & García-Carreño, F. (2018). American lobster Cathepsin D, an aspartic peptidase resistant to proteolysis and active in organic solvents, non-ionic detergents, and salts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1501–1509. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.021>
- Rojas Sánchez, D. (2024). Plasticidad fenotípica de las proteínas de la matriz de la concha de mano de león *Nodepecten subnodusus* (Tesis de maestría). CIBNOR, La Paz, Baja California Sur.
- Rojo-Arreola, L. R., Quiroz-Guzmán, E., Caballero, J. L., Ponce García, E. I., Córdova Murueta, J. H., & García-Carreño, F. (2023). Shrimp hepatopancreatic crude enzymes as aids in rice bran hydrolysis: Potential contributors to sustainable aquaculture. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(9). <https://doi.org/10.4194/TRJFAS22332>
- Rojo-Arreola, L., García-Carreño, F., & Navarrete del Toro, M. A. (2013). Cold-adapted digestive aspartic protease of the clawed lobsters *Homarus americanus* and *Homarus gammarus*: Biochemical characterization. *Marine Biotechnology*, 15, 87–96. <https://doi.org/10.1007/s10126-012-9461-4>
- Rojo, L., Muhlia-Almazán, A., Saborowski, J., & García-Carreño, F. (2010). Aspartic cathepsin D endopeptidase contributes to extracellular digestion in clawed lobsters *Homarus americanus* and *Homarus gammarus*. *Marine Biotechnology*, 12, 696–707. <https://doi.org/10.1007/s10126-010-9257-3>

- Rojo, L., Sotelo-Mundo, R., García-Carreño, F., & Gráf, L. (2010). Isolation, biochemical characterization, and molecular modeling of American lobster digestive cathepsin D1. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part B*, 157, 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2010.08.009>
- Sainz-Hernández, J. C., & Córdova-Murueta, J. H. (2009). Activity of trypsin from *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 290, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.02.034>
- Sainz-Hernández, J. C., García-Carreño, F. L., Córdova-Murueta, J. H., & Cruz-Hernández, P. (2005). Whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931) isotrypsins: Their genotype and modulation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 326(1), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.05.021>
- Sarmadi, B. H., & Ismail, A. (2010). Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides*, 31, 1949–1956. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2010.06.020>
- Schmidt, Dornelles, R.C.P., R.O. Mello, E.H. Kubota, M.A. Mazutti, & I.M. Kempka Demiate. (2016). Collagen extraction process. *International Food Research Journal*, 23(3), 913–922. [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(03\)%202016/\(1\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(03)%202016/(1).pdf)
- Stansby, M. (1962). *Analytical methods, industrial fishery technology*. Londres, Inglaterra: Chapman y Hall.
- Tang, H., Chen, L., Xiao, C., & Wu, Y. T. (2009). Fatty acid profiles of muscle from large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.) of different age. *Journal of Zhejiang University Science B*, 10, 154–158. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0820176>
- Venugopal, V., Shahidi, F., & Lee, T. C. (1995). Value-added products from underutilized fish species. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35(5), 431–453. <https://doi.org/10.1080/10408399509527708>

Para citar esta obra:

***Córdova Murueta, J.H., N. Y. Hernández Saavedra y C. Rivera Pérez*. 2025.
Valorización de productos pesqueros del noroeste de México. En:
Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales
del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 295-318).
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S.
México. 547 pp.***

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

cintya_nevarez@hotmail.com

Resumen

Las medusas son animales muy antiguos en el planeta, proveen de hábitat a juveniles de peces, crustáceos y otros grupos de animales. Son voraces depredadores del plancton y sirven de alimento para peces, tortugas y aves. Además del innegable valor biológico y económico del grupo zoológico, desde hace miles de años, las medusas han sido utilizadas como alimento en países orientales, como China y Corea, por su alto valor nutricional y bajo costo de producción comparado con otros productos. Es en los países asiáticos (donde mucha de la materia prima de productos marinos que se consume proviene de las pesquerías que se llevan a cabo en el Golfo de California) donde la captura de la medusa bola de cañón (*Stomolophus* spp.) ha cobrado relevancia, siendo México ya uno de los principales exportadores de medusa hacia China. La pesquería de medusa en aguas del litoral de Sonora oficialmente inicio como pesca comercial en 2012, siendo las investigaciones sobre la medusa llevadas a cabo por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC en conjunto con otras instituciones, trascendentales para implementar la pesca comercial, de esta pesquería, de la cual se ha llegado a obtener hasta cerca de 100,000 toneladas de producto fresco, lo

APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA

que se refleja en una derrama de 613 millones de pesos para todos los involucrados, desde la extracción hasta el producto final. Esta derrama económica ha representado un gran beneficio para uno de los sector más vulnerable de la población, los pescadores ribereños y coadyuvando al bienestar de las familias sonorenses.

Palabras clave: medusa, *Stomolophus*, bola de cañón, pesquerías, pescadores.

Abstract

Jellyfish are ancient organisms on our planet, providing habitats for juvenile fish, crustaceans, and other groups of animals. They are voracious predators of plankton and are food for various predators, including turtles and birds. In addition to their undeniable biological and economic value, jellyfish have been utilized as food in eastern countries such as China and Korea for thousands of years due to their high nutritional value and low production cost compared to other products. In Asian countries, where much of the raw material of marine products consumed originates from fisheries in the Gulf of California, the catch of cannonball jellyfish (*Stomolophus* spp.) has become significant. Mexico has emerged as one of the main exporters of jellyfish to China. The jellyfish fishery along the Sonoran coast officially began as commercial fishing in 2012. Research on jellyfish, conducted by the Northwest Biological Research Center, SC, along with other institutions, was essential in establishing commercial fishing practices. This fishery has yielded nearly 100,000 tons of fresh product, resulting in a revenue of 613 million pesos for all stakeholders involved, from extraction to the final product. This economic boom has been particularly beneficial for one of the most vulnerable sectors of the population: artisanal fishermen. It has contributed significantly to the well-being of Sonoran families.

Keywords: jellyfish, *Stomolophus*, cannonball, fisheries, fishermen.

Introducción

Las medusas también llamadas aguamalas, son organismos marinos de cuerpos gelatinosos, pelágicos y de amplia distribución mundial, pertenecientes al filo Cnidaria, con gran importancia biológica y ecológica, que juegan un papel relevante en los ecosistemas marinos. Son los organismos más abundantes en los mares tropicales y subtropicales, algunos de importancia médica por sus picaduras mortales para el ser humano. Evolutivamente, constituyen el grupo de animales vivos más primitivo (existen desde hace 650 millones de años). En particular, la clase Scyphozoa se distribuye ampliamente en muchas zonas costeras y del océano abierto, colonizando todos los ambientes marinos, permitiéndoles sobrevivir a condiciones ambientales diferentes, a menudo adversas, desde la era Cámbrica (Young & Hagadorn, 2010). Las medusas forman parte de las culturas ancestrales y es innegable su valor socioeconómico debido a su aprovechamiento alimenticio y médico que el hombre ha efectuado desde hace 17 siglos, la FAO recomienda su consumo. Por lo tanto, son un recurso pesquero importante, siendo una de las especies relevantes la medusa *Stomolophus meleagris*, llamada bola de cañón.

En México, la captura de esta medusa es realizada por pescadores del sector ribereño, contribuyendo económicamente y en el bienestar social de este sector en el Noroeste del país.

Este capítulo describe aspectos biológicos (reproducción) y ecológicos de las medusas y su aprovechamiento, también sobre la investigación efectuada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y los impactos económicos y sociales de la pesca de medusas en México.

Formas de reproducción de las medusas

Las medusas poseen la característica de reproducirse de forma sexual en su fase medusa y de forma asexual en su fase pólipo (Fig. 47). La forma adulta del ciclo de vida es la medusa, la cual tiene un periodo corto de vida y es planctónica, mientras que, en forma sésil, los pólipos, pueden vivir varios años produciendo más adultos cada invierno (López-Martínez et al., 2022). Aunque se han descrito muchas de las características reproductivas que tienen estos organismos, aún existen muchos huecos de información de muchas especies de medusas, siendo una línea de investigación a desarrollar en el futuro.

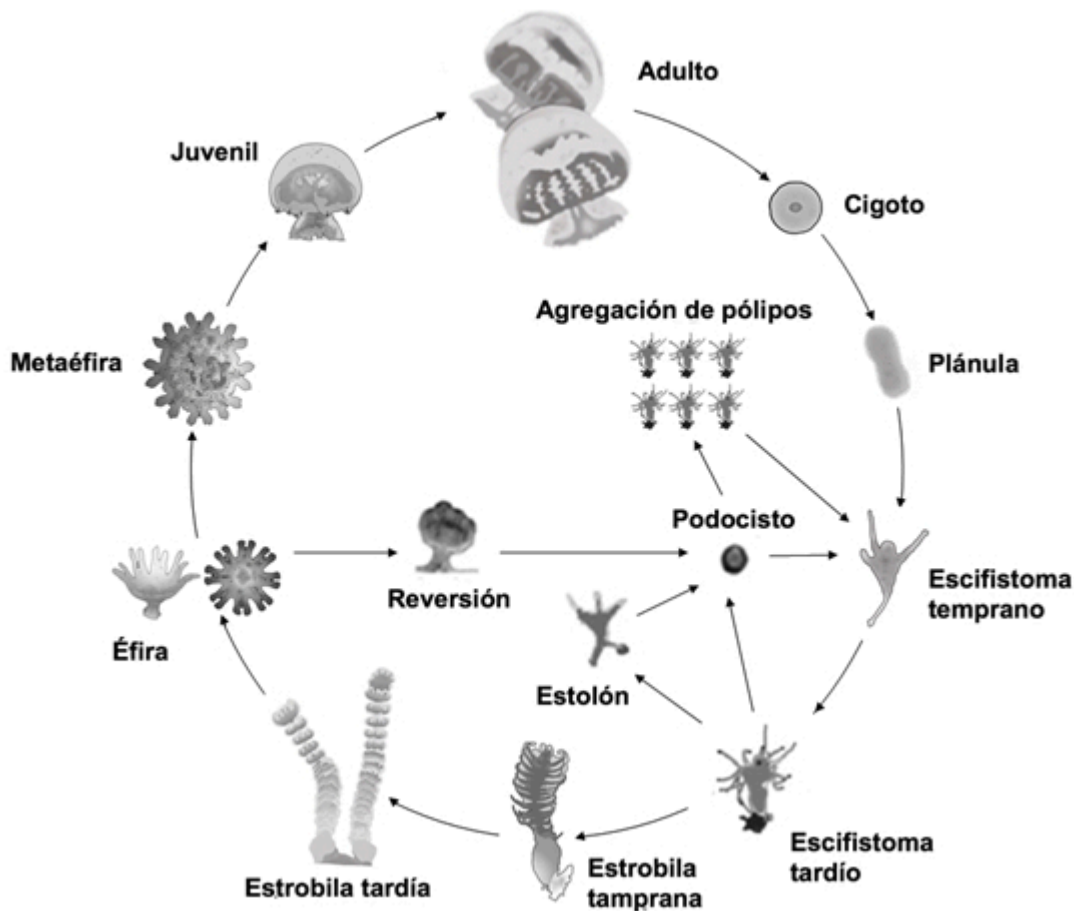


Figura 47. Fases del ciclo de vida de la medusa bola de cañón del Golfo de California, México (López-Martínez et al., 2022).

Causas del incremento de las medusas

Las medusas forman enjambres espectaculares por sus volúmenes, siendo muchos y complejos los factores que contribuyen a su formación, su llegada a nuestras costas es un fenómeno natural que ha ido en aumento, pero también ha despertado una preocupación que es mayor por ser escasas las investigaciones al respecto. Dentro de las potenciales causas del incremento se encuentran: 1) la alteración de las corrientes; 2) la sobrepesca y la alteración de las cadenas alimenticias; 3) la contaminación industrial; 3) las especies invasoras; 4) eventos climáticos. Sea cual sea la causa, parecen estarse creando las condiciones favorables para la proliferación de las medusas, con la consecuente reducción de las larvas de organismos de importancia pesquera y ecológica y los cambios en los ecosistemas donde habitan (Liu, 2023). Las medusas son consideradas estructuradoras de los ecosistemas y son temas centrales que demandan investigación con fines de prevención y control de sus poblaciones.

Aprovechamiento de las medusas

El incremento de sus poblaciones ha despertado el interés del potencial aprovechamiento biotecnológico y alimenticio. Desde los años 1700, las medusas han formado parte de platillos típicos en festividades importantes en los países orientales, principalmente China y Japón. En las décadas siguientes, derivado de investigaciones en biotecnología se han descrito propiedades medicinales importantes como su efecto antihipertensivo, anticoagulante, antimicótico, antioxidante, anti-obesidad, anticancerígenas, antienvjecimiento por su alto contenido de colágeno, también como marcadores para medicina molecular y como péptidos bioactivos a partir del veneno de algunas medusas (Duarte et al., 2022).

Otros usos que se le han dado a las medusas es 1) como alimento para ganado, 2) como plaguicida en la industria agrícola, 3) como biomonitores, 4) como biofiltro para recuperar

micro plásticos (EU-project GoJelly Project), 5) para confeccionar pañales, tampones y toallas de papel biodegradable, 6) en biomecánica, el movimiento de nado de las éfiras ha inspirado el desarrollo de robots blandos para exploraciones submarinas (Hussein et al., 2015, Christianson et al., 2019, Duarte et al., 2022).

Pesca de medusas

Se capturan principalmente en países del sureste asiático, como China, Tailandia, Indonesia y Malasia, además de Australia, en países europeos como Rusia y España, países africanos como Namibia y más recientemente en países como EE. UU., México y Ecuador. Las capturas mundiales en 2018 fueron cercanas a las 300,000 T.M. (FAO, 2024). Las pesquerías de medusa son de únicamente 34 especies y se caracterizan por su estacionalidad, efectuándose en un periodo corto del año, además presentan alta variabilidad en las abundancias de las poblaciones de un año a otro, lo cual se le ha asociado principalmente a factores ambientales (Decker et al., 2023); esto hace que las inversiones en infraestructura para crear nuevas pesquerías sean bastante desafiantes.

Algunos países asiáticos que históricamente capturan medusas han implementado diversas estrategias, como el uso de plantas de proceso móviles, que les permiten trasladar la infraestructura de procesamiento a las localidades donde se capturan y descargan. Otra estrategia desarrollada por productores de China, es llevar a cabo investigaciones orientadas a desarrollar cultivos de medusa y actualmente se crían y liberan medusas juveniles, siendo una práctica exitosa para mantener la población y las capturas (Duarte et al., 2022).

Pesca de medusas en México

La medusa *Stomolophus spp* conocida como bola de cañón, posee una estructura semiesférica llamada campana y un tronco central que forman los brazos orales carentes de tentáculos, al cual se le llama piñón (Fig. 48). Internamente presentan una estructura

gelatinosa consistente de una epidermis, con una gruesa capa de material semitransparente (mesoglea), seguido por otra fina capa recubriendo la parte interna de la cavidad gástrica.

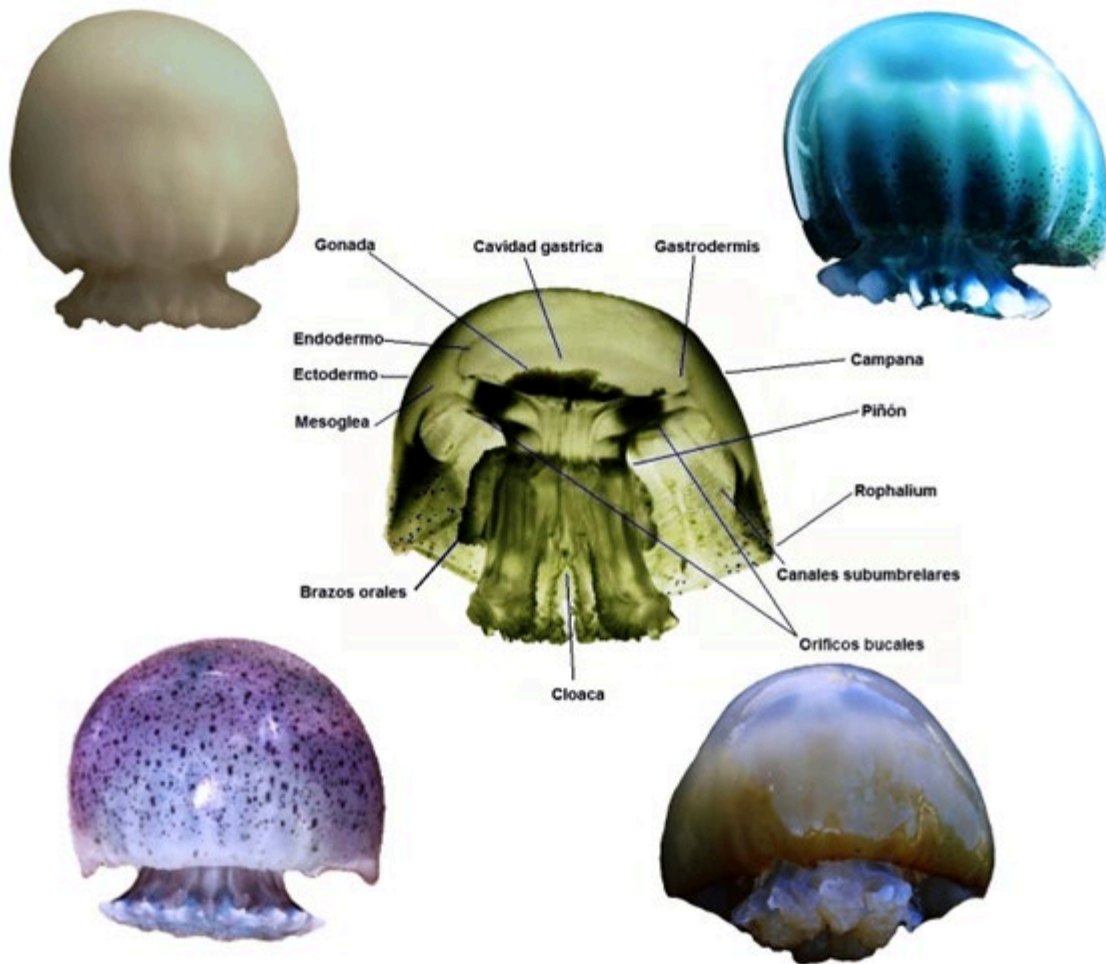


Figura 48. Esquema de la anatomía y de la variedad de fenotipos de la medusa bola de cañón del Golfo de California, México.

APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA

En la base de la cavidad se ubican los filamentos gástricos que digieren el alimento, a la vez que comparten el espacio con las gónadas del organismo. Su color varía desde azul cobalto, azul cielo, blanco, morado y café (Nevárez-López et al., 2021). Su dieta incluye huevos de peces, copépodos, larvas de moluscos, crustáceos como camarones, jaibas, entre otros (Álvarez-Tello et al., 2016). Durante el periodo reproductivo sexual (de marzo a mayo, como máximo en abril-mayo) se presentan grandes agregaciones de medusas, lo que incrementa su éxito reproductivo (López-Martínez et al., 2022). Después de este evento, la medusa alcanza su máximo periodo de vida, de alrededor de 6 meses, posteriormente ocurre una mortandad masiva, una gran cantidad de medusas son arrojadas a las playas o flotando cerca de la orilla, muchas otras se van al fondo del mar, donde ayudan a mantener la productividad de las aguas. Después de ese periodo, las medusas desaparecen de la zona y aparecen como juveniles o éfiras durante octubre-noviembre.

Aunque esta especie ya era conocida en México desde hace décadas, no se conocía un mercado de consumo para ella. A principios de este siglo se tuvo conocimiento de su gran demanda en países asiáticos; así, se abrió la oportunidad para la comercialización y dio inicio su aprovechamiento como pesca de fomento.

En el Golfo de California desde el 2001 la explotación de medusa se ha realizado de manera ininterrumpida (Fig. 49) a lo largo de la costa del litoral sonorense (López-Martínez & Álvarez-Tello, 2013).

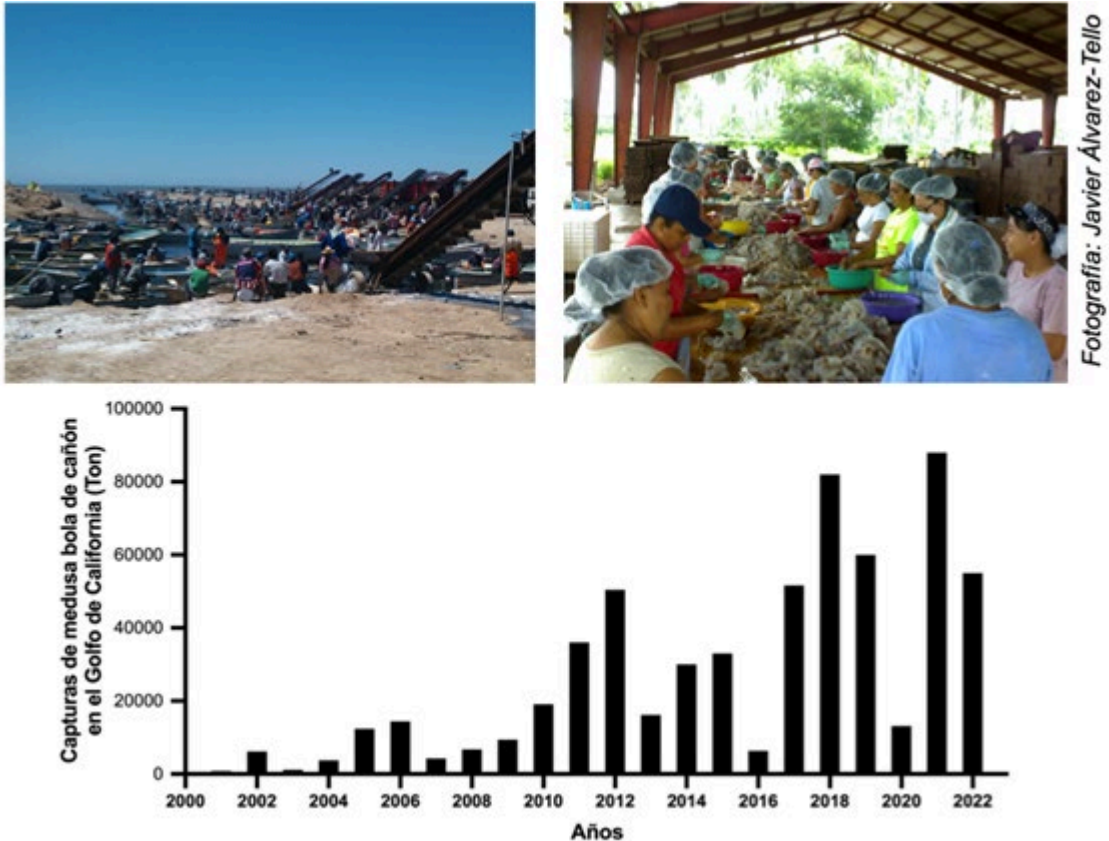


Figura 49. Actividad de la pesca (panel superior) y valores de las capturas (panel inferior) de la medusa bola de cañón del Golfo de California, México.

En Sonora, la pesca de medusa se desarrolló fuertemente, siendo las zonas de Guaymas-Empalme, Bahía de Kino-El Choyudo y El Golfo de Santa Clara las más relevantes en cuanto a empleos y flujo económico (Fig. 50). La pesca comercial inició a partir del 2012 en algunas regiones del Golfo de California y desde entonces su explotación se ha realizado ininterrumpidamente a lo largo de la costa centro-sur del litoral sonorense (López-Martínez & Álvarez-Tello, 2013).

En el comienzo de la pesquería, la captura se concentraba en la región centro-sur del litoral de Sonora, la temporada era de marzo a julio, incluso agosto, con alrededor de 215 embarcaciones participando. Actualmente, la pesca se realiza en todo el litoral del estado, en localidades como Golfo de Santa Clara, El Desemboque, Bahía de Kino,

APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA

El Sahuímaro, El Choyudo, Yavaros, Agiabampo entre otros. En la laguna costera Las Guásimas, se extrajeron capturas todos los años hasta el 2018 que no hubo por no presentarse medusa en las cantidades suficientes para hacer rentable las actividades extractivas. Desde entonces a la fecha (2024) no se han capturado los volúmenes que se obtuvieron en años anteriores, si bien recientemente se ha observado un incremento paulatino en las abundancias, esperándose capturas cercanas a las 8000 toneladas en la temporada 2024 en Las Guásimas. En localidades como en Bahía de Kino y El Desemboque de Caborca donde se ha pescado medusa, se ha dado un crecimiento espectacular en sus abundancias y después de 2-3 temporadas de pesca desaparecen; esta es una línea de trabajo que deberá abordarse en un futuro.

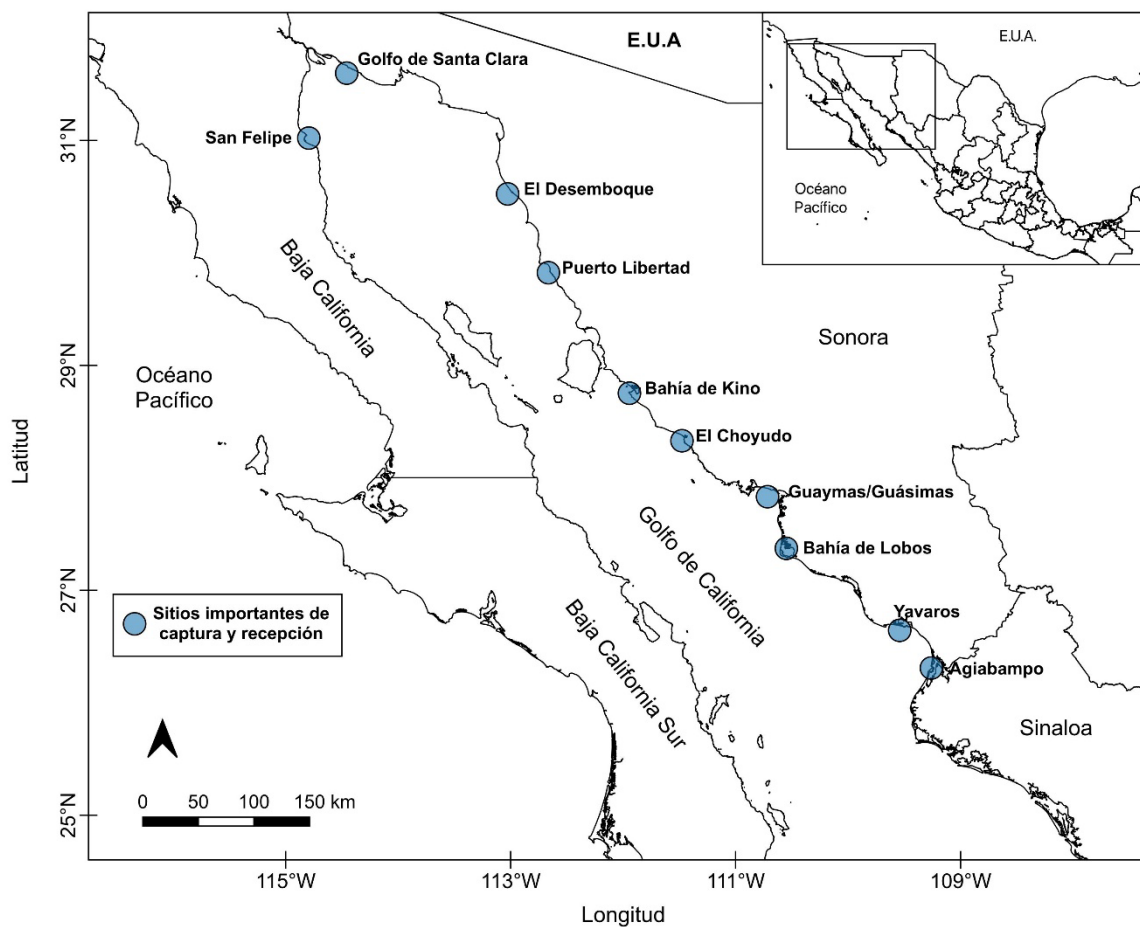


Figura 50. Sitios de importancia para la captura y el procesamiento de la medusa bola de cañón del Golfo de California, México.

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

En el Golfo de Santa Clara (donde la captura se lleva a cabo en los meses de mayo a agosto) se han obtenido las mayores capturas de México, cercanas a las 100,000 T.M. de la medusa café; la cual a partir de investigaciones con marcadores moleculares se ha planteado que es otra especie del mismo género (Gómez-Daglio & Dawson 2017), otra línea de trabajo que deberá abordarse con mayor profundidad. Otras localidades que han reportado capturas de medusa bola de cañón son Guerrero Negro y Bahía Magdalena, en Baja California Sur; Topolobampo, Navachiste y Teacapán, en Sinaloa; El Novillero, Nayarit y en el complejo lagunar Superior e Inferior de Oaxaca. Sin embargo, en ninguno de ellos los intentos para desarrollar una pesquería han sido exitosos.

Su pesca se realiza con una red tipo cuchara muy económica, a bordo de una embarcación menor (lancha) de fibra de vidrio de siete a diez metros de longitud, con un motor fuera de borda de 100 caballos y una tripulación de tres a cuatro pescadores. La captura por unidad de esfuerzo es de aproximadamente 3 T.M. por viaje, en algunas ocasiones se hacen hasta 3 viajes por embarcación por día cuando el recurso se encuentra muy cercano a la costa.

Impacto de la investigación efectuada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, CIBNOR

Aunque esta medusa fue estudiada desde la década de los setenta, fue hasta el año 2001 en el que se incrementaron las actividades de investigación, donde se detectó un alto potencial de este recurso en los estados colindantes con el Golfo de California y dando como resultado, el desarrollo oficial de una pesquería con la generación de la ficha técnica para la carta nacional pesquera.

Paralelamente al desarrollo de la pesquería de medusa, se evaluaron sus aspectos biológicos fundamentales para plantear medidas administrativas de manejo pesquero que aseguraran su aprovechamiento sustentable.

APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA

El ciclo de vida, la dinámica poblacional, la biología reproductiva, fisiología, dieta, papel funcional y genética, entre otras líneas de investigación, fueron desarrollándose como producto de la coordinación y colaboración de instituciones mexicanas de investigación científica, lideradas por el CIBNOR, centro de excelencia del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología CONAHCYT, a través de sus múltiples laboratorios de alta especialidad como el de Pesquerías, Histología, Fisiología, Ictiología, Genética y Manejo Costero, en colaboración con el sector productivo pesquero del Estado de Sonora (Pesquera México, SA de CV, diversas cooperativas pesqueras y dueños de plantas procesadoras) e instituciones como el Instituto Mexicano de Investigaciones en Pesca y Acuicultura Sustentable IMIPAS, la Universidad de Sonora, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

El trabajo del CIBNOR inicio en 2004, con la solicitud por parte de productores pesqueros de evaluar el recurso. Como producto de este esfuerzo se generó la información que ayudó, en conjunto con el INAPESCA (hoy IMIPAS), a plantear medidas de manejo sustentable y elaborar la ficha técnica del recurso medusa bola de cañón en la Carta Nacional Pesquera y en la Carta Nacional Acuícola que permitieron la pesca comercial en 2012. Derivado de estas investigaciones, se pudo atender la demanda de 32 cooperativas pesqueras ribereñas, que ampararon 280 embarcaciones, generado cerca de 900 empleos directos, y cerca de 300 empleos indirectos.

Se dio apoyo a CONAPESCA, INAPESCA, y Subsecretaría de Pesca y Acuicultura del Estado de Sonora en la toma de decisiones respecto al recurso. A partir del 2012, el IMIPAS lleva a cabo las evaluaciones y el manejo del recurso, tal cual lo mandata la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables.

El CIBNOR se ha enfocado en investigar el papel funcional de la medusa bola de cañón en el ecosistema, su interacción con otras pesquerías y el efecto del

ambiente (y su variabilidad en diferentes escalas, incluyendo el cambio climático) en las poblaciones de medusa. En este contexto, la investigación del CIBNOR ayudó a iniciar una pesquería, que genera miles de dólares y fuentes de empleos.

Impactos económicos y sociales de la pesca de medusas en México

Para las comunidades costeras del noroeste de México, la pesca es fundamental en la estructura social, debido a que, en muchas ocasiones, es la única fuente de ocupación y aporta tanto seguridad como soberanía alimentaria, sobre todo en localidades geográficamente remotas o marginadas (Ibarra-Morales et al., 2023), como es el caso de la mayoría de las zonas donde se pesca medusa en el Golfo de California.

Esta pesquería ha adquirido gran relevancia por sus implicaciones socioeconómicas altamente favorables. Esto es debido a que la pesca se da en los siguientes entornos:

1. la actividad extractiva es llevada a cabo exclusivamente por el sector pesquero ribereño, uno de los sectores más vulnerables de la sociedad. En la fase de procesamiento participan miembros de las familias de los pescadores.

2. la temporada de pesca de medusa ocurre cuando la actividad pesquera de otros recursos disminuye debido al inicio de la época de veda de otras especies comerciales (López-Martínez et al., 2018).

Actualmente hay 34 plantas procesadoras temporales de medusa en Sonora, distribuidas en Guaymas, Bahía Kino, Puerto Peñasco, San Luis Río Colorado y Golfo de Santa Clara, principalmente, así como en Baja California (San Felipe y Ensenada). El precio promedio a pie de playa es de \$12.00 pesos por kilo, en algunas zonas se realizan dos viajes diarios, con pesca de 3 T.M. en cada uno, el pago aproximado es de \$72,000.00 pesos, de los cuales, se cubren el costo del permiso, combustible, comida, renta de los aparejos de pesca, pago de hasta 8 pescadores que apoyan en la pesca y captura, servicios preventivos al motor, reparaciones al motor, entre otros (Ibarra-

APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA

Morales et al., 2023). A pesar de lo artesanal de esta labor, las cifras de la pesca de medusa son considerables: en 2017 se capturó en Guaymas-Las Guásimas, Yavaros y Golfo de Santa Clara, aportando esta última zona el 86% del volumen de extracción, con una captura total de 46,400 T.M. El costo del producto fue de \$18,804,190.00 USD, mientras que se vendió en \$29,696,000.00 USD, con un margen de ganancias de \$10,891,809 USD, mientras que el pescador percibió un ingreso de \$56 USD, esto es, \$1,060 pesos mexicanos diarios por un periodo de 45 días tan solo en El Alto Golfo de California.

La captura máxima de medusa se obtuvo en 2021, arriba de 80,000 T.M., convirtiendo a México en uno de los principales productores a nivel mundial. Esto representó casi 613 millones de pesos de derrama para pescadores, comerciantes, transportistas y el gobierno vía pago de impuestos. Además, se emplean poco más de 4,500 personas en la fase de procesamiento y otros 1,500 empleos indirectos relacionados a transporte de personal, alimentos y hospedajes, en la región del Alto Golfo.

La cadena de valor de la pesquería involucra también a las familias de los pescadores, los procesadores, los intermediarios, los compradores, las instancias federales y los actores indirectos (Cruz-Colin, 2019). Resaltando la inclusión de las mujeres en los trabajos de procesamiento en planta, donde la mayoría es realizado por mujeres, lo que las ha visibilizado en la pesca a nivel nacional.

Conclusiones

Las medusas son consideradas como las grandes estructuradores de los ecosistemas, en los últimos años, y en particular en el litoral sonorenses, sus apariciones masivas han traído beneficios para uno de los sectores más vulnerables de la población, los pescadores ribereños, los cuales han tenido bajas capturas de otros recursos como el camarón, pero con la pesquería de medusas, sus condiciones de vida han mejorado.

Este es un ejemplo de éxito de las investigaciones en materia de pesca por parte del CIBNOR, las cuales deben ser impulsadas y replicadas para otras localidades y especies buscando generar otras opciones de pesca al sector para la diversificación de sus actividades extractivas. Esta información ayudaría así mismo a las autoridades en la planeación de la diversificación y adaptación del sector pesquero del país ante las potencialmente adversas situaciones que se prevén en un futuro mediano ante el Cambio climático donde muy probablemente las medusas sean unas de las especies que logren adaptarse a dicho cambio.

Importancia social

La medusa bola de cañón representa la pesquería más nueva de México, actualmente el país ocupa el 5º lugar como productor de medusa en el mundo, con un promedio de 45,000 toneladas anuales, generando 19,000 empleos y una derrama económica de 36 millones de dólares, más del 75% de este ingreso se queda en los pescadores y los trabajadores de las plantas procesadoras. A nivel nacional esta pesquería ocupa el tercer lugar en volumen, además, tiene un alto impacto social, ya que se lleva a cabo por el sector social ribereño y muchos familiares de los mismos pescadores trabajan en las plantas procesadoras; por lo que esta pesquería se convirtió en una verdadera alternativa para el sector ribereño de Sonora.

Perspectivas

Por la importancia que este recurso está alcanzando, y con fines de lograr su sustentabilidad, es necesario llevar a cabo un manejo dinámico y participativo, involucrando a miembros de todos los sectores de la pesquería en la toma de decisiones.

APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA

Uno de los problemas en la pesquería de la medusa, es la dependencia de intermediarios asiáticos para su venta, al no poder acceder a la venta directa en China.

Es necesario contar con el apoyo conjunto de autoridades y procesadores, para abrir canales de comercialización.

Es necesario contar con apoyos económicos en infraestructura y asesoría para cubrir los requisitos para diferentes certificaciones de las plantas para la exportación.

Se debe impulsar el aprovechamiento de la medusa dando valor agregado y valor terminal para buscar nuevas formas de aprovechamiento, como encapsulado para insumos médicos, industria cosmética, entre otros. Además de su viabilidad de cultivo para fines de repoblamiento como se realiza en otros países como China.

Es esencial promover la investigación en un enfoque basado en ecosistemas, para avanzar en el conocimiento y el modelado predictivo de su proliferación e implementar planes estratégicos para desarrollar este recurso como fuente de alimento sostenible.

Es necesario conocer el impacto de los crecientes afloramientos de este tipo de organismos en mares mexicanos, su potencial efecto en el ecosistema como especie que probablemente se verá beneficiada con el calentamiento del mar.

Todas estas acciones ayudarían a mejorar la calidad de vida de los pescadores, esfera prioritaria del nuevo Marco estratégico de la FAO para 2022-2031 concebida para acelerar la consecución de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible en el ámbito de alimentación (SOFIA 2022).

Agradecimientos

Se agradece el apoyo de Cirilo Soto (Comité de Aguamala, productor y exportador internacional de medusa “bala de cañón” de Guaymas, Sonora, México) y Marcos Navarro (Asociación de procesadores y comercializadores de aguamala en el Estado de Sonora).

Literatura citada

Álvarez-Tello, F. J., López-Martínez, J., & Lluch-Cota, D.B. (2016). Trophic spectrum and feeding pattern of cannonball jellyfish *Stomolophus meleagris* (Agassiz, 1862) from central Gulf of California. *Marine Biological Association of the United Kingdom* 96 (6), 1217-1227. <https://doi.org/10.1017/S0025315415001605>

Carta Nacional Pesquera 2023. Diario Oficial de la Federación.

Christianson, C., Bayag, C., Li, G., Jadhav, S., Giri, A., Agba, C., Li, T., & Tolley, M.T. (2019). Jellyfish-Inspired Soft Robot Driven by Fluid Electrode Dielectric Organic Robotic Actuators. *Frontiers in Robotics and AI* 6, 126. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00126>

Cruz-Colin, M. E. Cisneros-Mata, M. Á., & Montaña-Moctezuma, G. (2019). Análisis de actores de la pesquería de medusa en Guaymas, Sonora. *Región y sociedad*. 2019, vol.31, e1104. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1104>

Decker, M. B., Brodeur, R. D., Ciannelli, L., Britt, L. L., Bond, N. A., DiFiore, B. P., & Hunt Jr, G. L. (2023). Cyclic variability of eastern Bering Sea jellyfish relates to regional physical conditions. *Progress in Oceanography*, 210, 102923. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102923>

Duarte, I. M., Marques, S. C., Leandro, S. M., & Calado, R. (2022). An overview of jellyfish aquaculture: for food, feed, pharma and fun. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 265-287. <https://doi.org/10.1111/raq.12597>

FAO 2024. Consultado 24/01/2024. <https://www.fao.org/3/cb8667en/online/src/html/chapter-4.2.html>

APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA

- Gomez-Daglio, L., & Dawson, M. N. (2017). Species richness of jellyfishes (Scyphozoa: Discomedusae) in the Tropical Eastern Pacific: missed taxa, molecules, and morphology match in a biodiversity hotspot. *Invertebrate Systematics*, 31(5), 635-663. <https://doi.org/10.1071/IS16055>
- Hussein, O.S., Sayed, R. M., & Saleh, O. I. 2015. Uses of jellyfish in pre sowing seeds treatment and pest control. *American Journal of Experimental Agriculture* 5 (1), 60-69. <http://doi.org/10.9734/AJEA/2015/12196>
- Ibarra-Morales, L. E., Carrillo-Cisneros, E., & Huerta-Dueñas, M. (2023). Caracterización de la pesquería medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*) y su efecto en el desarrollo económico de la región sur del estado de Sonora. Un estudio exploratorio. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: Facultad Interdisciplinaria De Ciencias Económicas Administrativas - Departamento De Ciencias Económico Administrativas-Campus Navojoa*, 39. <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi39.553>
- Liu, Y. (2023). Impact, Responses and Future Prediction of Climate Change on the Phenology of Jellyfish. *Theoretical and Natural Science*, 3: 658-665. <http://doi.org/10.54254/2753-8818/3/20220413>
- López Martínez, J., Álvarez Tello, F. J., Porchas Cornejo, M. A., Nevárez López, C. A., Muhlia Almazán, A., & Urias Padilla, K. V. (2022). Multiple reproduction forms in the polyps of the cannonball jellyfish *Stomolophus* sp 2: Probable life-cycle reversal. *Journal of Experimental Zoology Part A-Ecological and Integrative Physiology*, 339 (3), 1-14. <https://doi.org/10.1002/jez.2673>
- López-Martínez, J., & Álvarez-Tello, F. J.. (2013). Jellyfish fishery in Mexico. *J. Agricultural Science*, 4 (6), 57-61. <http://doi.org/10.4236/as.2013.46A009>
- López-Martínez, J., Álvarez-Tello, F. J., Navarro-Fernández, M., Cisneros-Mata, M. A., Ross-Guerrero, M., Soto-Murillo, C., & Arzola-Sotelo, E. A. (2018). La medusa en México: Importancia socioeconómica y su futuro en la acuicultura. *Panorama Acuicola Magazine*, 23 (3), 56-61.
- Mills, C. E. (1984). Density is altered in hydromedusae and ctenophores in response to changes in salinity. *The Biological Bulletin*, 166 (1), 206-215. <https://doi.org/10.2307/1541442>
- Nevárez-López, C., Hernández-Saavedra, N., Sánchez-Paz, A., Rojas-Posadas, D., Muhlia- Almazán, A., & López-Martínez, J. (2021). Colour polymorphism and genetic structure in the cannonball jellyfish (*Stomolophus meleagris*, L. Agassiz, 1860) in the Gulf of California. *Marine Biology Research*, 16 (10), 714-728. <https://doi.org/10.1080/17451000.2021.1887495>
- SOFIA 2022. <https://www.fao.org/documents/card/es?details=CC0461ES>. CONSULTADO 01/02/2024.

Raposo, A., Alasqah, I., Alfheeaaid, H. A., Alsharari, Z. D., Alturki, H. A., & Raheem, D. (2022). Jellyfish as food: a narrative review. *Foods*, 11, 2773. <https://doi.org/10.3390/foods11182773>

Young, G.A., & Hagadorn, J.W. (2010). The fossil record of cnidarian medusae. *Palaeoworld*, 19, 212–221. <http://doi.org/10.1016/j.palwor.2010.09.014>

Para citar esta obra:

López Martínez J., E. Herrera Valdivia, C. A. Nevárez López*, R. Morales Azpeitia, J. Álvarez Tello y E. B. Farach Espinoza. 2025.
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. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 319-337). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 17

Invasión de ascidias sobre bancos de hachas en la Bahía de La Paz, BCS

Betzabé Moreno-Dávila y Leonardo Huato-Soberanis *

luato@cibnor.mx

Resumen

Este estudio analiza la cobertura de una especie de ascidia invasora y cinco variables ambientales (salinidad, temperatura superficial del mar, oxígeno disuelto, concentración de clorofila-a en la superficie del mar y pH) como posibles factores para explicar un evento de mortalidad masiva en una población recuperada de hachas en la Ensenada de La Paz, México. Los muestreos realizados en otoño de 2015 a 2017 (noviembre-diciembre) y uno adicional en verano de 2016 (junio) revelaron que la ascidia fue avistada por primera vez en pocos sitios de muestreo durante 2015 y se expandió rápidamente sobre la población de las hachas en 2016. La muerte masiva de las hachas, detectada en 2016 y 2017, resultaron en pérdidas económicas para los pescadores locales. Un modelo estadístico mostró que el sustrato proporcionado por las hachas fue el único factor significativo asociado a la rápida expansión de la ascidia. Paradójicamente, el éxito en la recuperación de la población del hacha aumentó la disponibilidad de sustrato para la ascidia, provocando eventos de mortandad masiva del hacha en 2016 y 2017. Nuestro modelo predice que los efectos de la cobertura de la ascidia en la mortalidad de hachas empiezan a manifestarse a partir de densidades de 47 individuos en 250 m². Un segundo modelo reveló que los efectos de mortalidad de la ascidia en las hachas inician cuando la cobertura de la ascidia supera el 8% de la concha, la salinidad es superior a 37.3 UPS, la temperatura superficial es menor a 26.9 °C y el

oxígeno disuelto es mayor a 5.06 mg O₂/L. Nuestros análisis indican que la recolección temprana del hacha reduciría la disponibilidad de sustrato ante los primeros signos de crecimiento poblacional de la ascidia y así se evitarían pérdidas económicas significativas en el futuro.

Palabras clave: *Atrina*, *Distaplia*, especie exótica, mortalidad, invasión.

Abstract

This study analyzes the coverage of an invasive species (ascidian) and five environmental variables (salinity, sea surface temperature, dissolved oxygen, chlorophyll-a concentration in the sea surface, and pH) as possible factors explaining a mass mortality event in a recovered population of pen shells in La Paz Bay, Mexico. Samplings conducted from fall 2015 to 2017 (November-December) and an additional one in summer 2016 (June) revealed that the ascidian was first sighted in a few sampling sites during 2015. The ascidian rapidly expanded over the pen shells population in 2016, resulting on a mass mortality of pen shells during 2016 and 2017 and large economic losses for local fishermen. A statistical model showed that the substrate provided by the pen shells was the only significant factor associated with the rapid expansion of the ascidian. Paradoxically, the success in recovering the bivalve population increased the availability of substrate for the ascidian, leading to mass mortality events of the pen shells in 2016 and 2017. Our model predicts that the effects of ascidian coverage on pen shell mortality begin to manifest when there are 47 pen shells in 250 m². A second model revealed that the main factor for pen shells mortality was when ascidian coverage exceeds 8% of the shell, salinity was higher than 37.3 UPS, sea surface temperature decreased below 26.9°C, and dissolved oxygen increased above 5.06 mg O₂/L. These results that indicate the early harvesting of pen shells would reduce substrate availability at the first signs of ascidian population growth, thus avoiding significant economic losses in the future.

Key words: *Atrina*, *Distaplia*, exotic species, invasion, mortality.

Introducción

Las invasiones de organismos marinos pueden tener impactos devastadores en los ecosistemas, afectando la biodiversidad en general. Estas invasiones pueden tener consecuencias económicas significativas, como la pérdida de ingresos en la pesca y pueden requerir costosas medidas de control y erradicación. En este caso los actores involucrados en la historia son un bivalvo y una ascidia.

Los bivalvos, son organismos que tienen dos conchas las cuales están unidas por un ligamento elástico por el extremo más angosto que les permite abrir y cerrar sus conchas para alimentarse, respirar y para la liberación de gametos. Específicamente hablamos de las llamadas “hachas” que pertenecen al género *Atrina*. Las hachas viven semienterradas en la arena o fango en estuarios, bahías y lagunas costeras. El nombre científico de la especie dominante que vive en la Ensenada de La Paz es *Atrina maura*, esta especie tiene una estrategia de reproducción sexual en la que produce gametos durante todo el año, a menos que la temperatura del mar sea mayor a 25°C, en este caso reabsorbe los gametos y si la temperatura es mayor a 25°C los gametos son liberados al mar (Camacho-Mondragón, 2012). De esta manera la temperatura del mar es el principal regulador en su reproducción, el segundo es el alimento, estos organismos son filtradores y se alimentan de materia orgánica suspendida (detritus).

Las hachas tienen una gran importancia comercial siendo un producto muy valorado en el mercado dado su gran sabor y apreciación en la gastronomía donde se consume su músculo conocido como “callo de hacha”. Las conchas de las hachas proporcionan sustrato y refugio a especies móviles y sésiles (aquellas que no se mueven) como esponjas, algas y en este caso ascidias. Las ascidias son animales de forma variada (tubular, globosa, aplanada) cuyo cuerpo está cubierto por una túnica, presentan dos orificios; uno con función de boca y otro como ano, algunas especies forman colonias y otras viven de manera solitaria. Aún no se conoce con exactitud la reproducción de esta especie, pero en general, se sabe que la liberación de gametos se da cuando la temperatura del mar es alrededor de los

INVASIÓN DE ASCIDIAS

13-22°C (Bourque et al., 2007), también tienen reproducción asexual (fragmentándose las colonias), esta depende más del alimento disponible, que al igual que las hachas son filtradoras y comen detritus.

Cuando las ascidias crecen en exceso sobre las hachas limitan su capacidad para abrir y cerrar sus conchas; esto es por el peso y volumen excesivo que genera la ascidia quedando limitada la capacidad del hacha de alimentarse y respirar. Lo que puede llevar a una disminución de su músculo, un bajo desarrollo en gónadas y debilitamiento de la concha. En algunos casos el crecimiento de las ascidias es tan grande que llegan a impedir que las hachas abran y cierren sus conchas causando así la muerte por asfixia, lo que resulta en una reducción de la población de hachas y pérdidas económicas para los pescadores (Petersen, 2007; Lins y Rocha, 2020).

Se han registrado casos donde la sobrepoblación de ascidias ha afectado a otras especies de bivalvos como mejillones (Comeau et al., 2015; Davis et al., 2017), ostras (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2009) y almejas (Dijkstra y Nolan, 2011), que igual que las hachas se alimentan y respiran abriendo y cerrando sus conchas. Un estudio realizado en Canadá y mostró que los mejillones con ascidias fueron considerablemente menos eficientes para alimentarse que los mejillones sin ascidias (Comeau et al., 2015). En Brasil realizaron un monitoreo durante 10 años en granjas comerciales de bivalvos encontrando 17 especies de ascidias, de las cuales dos (*Styela plicata* y *Didemnum perlucidum*) son una amenaza potencial para las poblaciones de bivalvos (Rocha et al., 2009). Un estudio muy interesante demostró que el crecimiento de la ascidia *Didemnum vexillum* afectó la velocidad de nado, desplazamiento horizontal y vertical de la almeja gigante (*Placopecten magellanicus*); las almejas con ascidia se agotaron más rápido y no pudieron nadar tan lejos (Dijkstra y Nolan, 2011).

En México, el primer caso registrado del efecto de las acidias en cultivo ocurrió en Ensenada, B.C. donde 10 de 13 especies de organismos encontrados sobre las ostras (*Crassostrea gigas*) eran ascidias. Estas colonizaron el 40% de la población de ostras y después de un año de estudios mensuales, concluyeron que las ascidias crecían más cuando se incrementa la temperatura del agua de mar, concluyendo que las condiciones climáticas controlan el crecimiento poblacional de las ascidias (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2009).

Proceso de invasión

El éxito de una especie en el ambiente depende de varios factores. Algunos de estos factores están estrictamente relacionados con la especie misma; como los factores genéticos. Otros factores a su vez se dividen en abióticos y bióticos. Los factores abióticos son: temperatura, luz, humedad, salinidad, pH, turbidez del agua, etc. (Stachowicz et al., 2002). Los factores bióticos, son las relaciones que hay entre organismos de diferentes especies, las más comunes son el parasitismo, competencia, depredación, epibiosis, etc. Para que una especie se desarrolle en un ambiente nuevo, debe tolerar bien el clima, tener alimento y que no existan animales que se la puedan comer tan fácilmente.

Generalmente una invasión se observa en especies introducidas también llamadas exóticas o no nativas. Estas especies llegan a nuevas áreas debido a actividades humanas. Un ejemplo de esto es la acuicultura, donde los organismos pueden ser transportados inadvertidamente si no se inspeccionan adecuadamente y llevan otros organismos consigo. Otro ejemplo es el transporte marítimo, a veces se encuentran organismos adultos adheridos al interior del contenedor de agua de lastre, o incluso en el agua misma cuando los organismos están en su fase larvaria; el agua de lastre ayuda al barco a mantener estabilidad y flotabilidad y la recolectan en el lugar donde inician el viaje y la descargan al llegar al destino. Algunas especies introducidas no causan invasiones justo después de su introducción, se mantienen

INVASIÓN DE ASCIDIAS

en una fase de “hibernación”, donde su crecimiento es lento y enfocado a mantenerse vivas mientras se adaptan a las nuevas condiciones ambientales, para después competir con las especies nativas por espacio y/o alimento, crecer rápidamente y reproducirse, llegando a ser ampliamente invasivas cuando las condiciones ambientales se vuelven favorables (Crooks, 2005).

Llegada de la ascidia a la Ensenada de La Paz

Desde el año 2015 se detectó la presencia de una ascidia identificada como *Distaplia stylifera* adherida a las conchas de las hachas que viven en la Ensenada de La Paz (Moreno-Dávila et al., 2023). En 2016 la ascidia presentó un crecimiento repentino con un comportamiento invasor donde se pudo observar que cubría más del 50% de las conchas de las hachas; principalmente de la especie dominante *A. maura* que es de importancia comercial en la ensenada (Fig. 51).

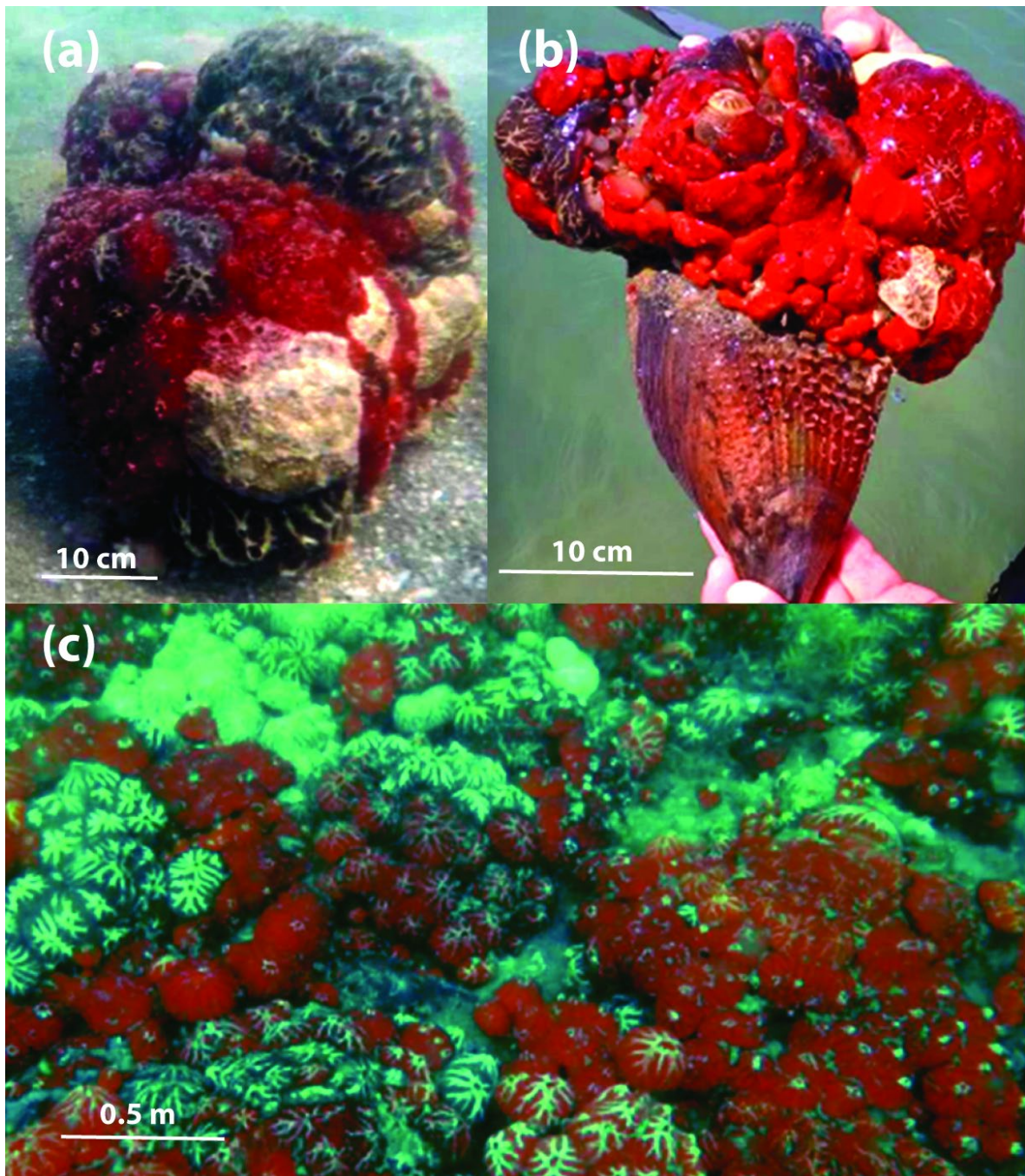


Figura 51. a-b) *Atrina maura* invadida por *Distaplia stylifera*; c) tapetes de *D. stylifera*, cubriendo un banco de hachas durante 2016 en Ensenada de La Paz, BCS, México.

INVASIÓN DE ASCIDIAS

La presencia de *D. stylifera* en la Ensenada de La Paz afectó directamente a pescadores de la Organización de Pescadores Rescatando la Ensenada (OPRE) de la comunidad de El Manglito, La Paz, BCS, quienes desde el 2011, junto con Noroeste Sustentable A.C. (NOS), iniciaron un programa de restauración natural y resiembra de las tres especies de hachas para repoblar la zona después una intensa sobreexplotación pesquera. El proceso de restauración tuvo éxito hasta la llegada de la ascidia, cuando se comenzó a observar la presencia de hachas muertas, por lo que los pescadores iniciaron un trabajo de extracción manual de la ascidia, con extremo cuidado de no romper la colonia y que larvas maduras se liberaran al mar. La extracción realizada durante septiembre-noviembre 2016 abarcó tres sitios de muestreo que equivalen a tres hectáreas, retirando 34.7 toneladas de ascidia y de enero-marzo 2017 en 12 sitios extrayendo 142.3 toneladas (Noroeste Sustentable A.C. [NOS], 2018). También, fue importante determinar qué zonas de la Ensenada de la Paz eran las más afectadas por la ascidia, y determinar los factores que favorecieron el crecimiento repentino de la ascidia; así como, si había evidencia de la capacidad de la ascidia para matar a las hachas.

Recabando información

A lo largo de varios años OPRE y NOS, realizaron monitoreos anuales en la Ensenada de La Paz durante noviembre y diciembre de cada año recabando información sobre el tamaño de la población de hachas. Para nuestra investigación nos concentramos en los años 2015 al 2017, que fue el periodo donde apareció la ascidia utilizando la información de 4 monitoreos, con 180 sitios de muestreo en nov-dic de 2015 (primera aparición de la ascidia), 96 sitios en verano (junio) de 2016 (momento de la invasión), 173 sitios en otoño (noviembre) en 2016 (después de la operación de limpieza) y 166 sitios de nov-dic en 2017. Los sitios de muestreo fueron de 10,000 m² y en cada uno se obtuvieron 250 muestras de 1 m². Los datos reportados fueron el número de hachas vivas y muertas, y la cobertura de la ascidia sobre ellas. La densidad de hachas se estimó como la suma de individuos

encontrados en los 250 puntos de muestreo de cada sitio y fue reportado como ind./250 m². El porcentaje de cobertura de la ascidia fue calculado como el promedio de la proporción de hachas cubiertas dentro de cada sitio de muestreo.

Para determinar el efecto del ambiente en el comportamiento del hacha y de la ascidia durante el verano de 2016 (momento de la invasión), obtuvimos los datos ambientales a partir de imágenes satelitales LANDSAT 8 con una resolución de 30 m de la plataforma US Geological Survey (USGS, <https://www.usgs.gov>). De estas imágenes se estimaron las variables ambientales: concentración de oxígeno disuelto (OD, mg O₂/L), pH, salinidad (Sal, g/Kg), temperatura superficial (TSM, °C) y concentración de clorofila Chl-a (mg Chl-a/m³). Esta estimación se realizó aplicando una serie de modelos lineales calibrados para la Ensenada de La Paz previamente elaborados por Matus-Hernández et al. (2019).

Para determinar los factores que contribuyeron a la rápida expansión de la ascidia en la Ensenada de La Paz se utilizó un modelo aditivo generalizado (GAM) definido de la siguiente manera: [(proporción de cobertura de *D. stylifera*) ~ f (sustrato disponible (*A. maura* viva + muerta) + OD + pH + Sal + TSM + Chl-a)], y para establecer los factores que contribuyeron a la mortandad de hachas configuramos un modelo GAM de la forma: [(*A. maura* muerta) ~ f (proporción de cobertura de *D. stylifera* + OD + pH + Sal + TSM + Chl-a)].

Resultados

expansión geográfica de *Distaplia stylifera* durante 2015 a 2017

Durante 2015 la ascidia fue avistada por primera vez en cerca del 2% del total de sitios muestreados (Fig. 52a). Durante el muestreo de verano de 2016 la cobertura de ascidias aumentó considerablemente extendiéndose a 64% de sitios, por el canal de mareas hacia la región central de la ensenada, cubriendo hasta el 70% de las hachas (Fig. 52b). En otoño de 2016 su presencia se redujo a 31% de los sitios, sin

INVASIÓN DE ASCIDIAS

embargo, el 5% de esos, su mayoría en el canal de marea, tenían valores mayores a 80% (Fig. 52c). Finalmente, en 2017, se vio una reducción considerable observándose solo el 7% de sitios con ascidias de los 166 muestreados (Fig. 2d).

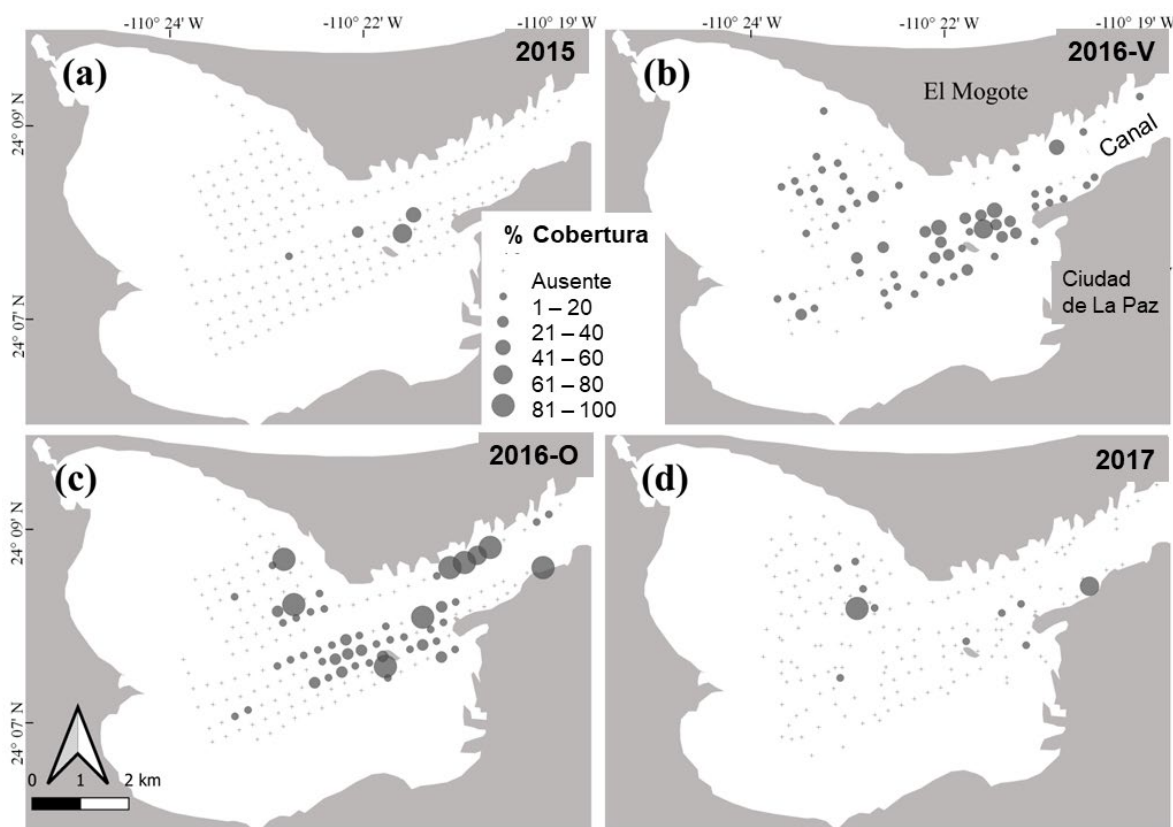


Figura 52. Distribución espacial del área de cobertura de *Distaplia stylifera* durante, a) 2015, b) verano 2016, c) otoño 2016 y d) 2017.

Densidad de *Atrina maura* muerta y viva durante 2015 a 2017

Durante el verano de 2016 en 52% de sitios se encontraron hachas muertas, donde casi la mitad de estos sitios presentó entre 10 y 103 hachas muertas en un área de 250 m² (Fig. 53b). Para otoño de 2016 fue el 40% de los sitios donde se encontraron hachas muertas, incrementando considerablemente hasta 457 hachas muertas por sitio de muestreo (Fig. 53c). Posteriormente, en 2017 fue el 35% sitios con hachas muertas, donde la cantidad máxima de organismos fue de 220 en uno de los sitios de muestreo. Del total de sitios con hachas muertas, en 62% de estos se encontraron menos de nueve hachas muertas (Fig. 53d).

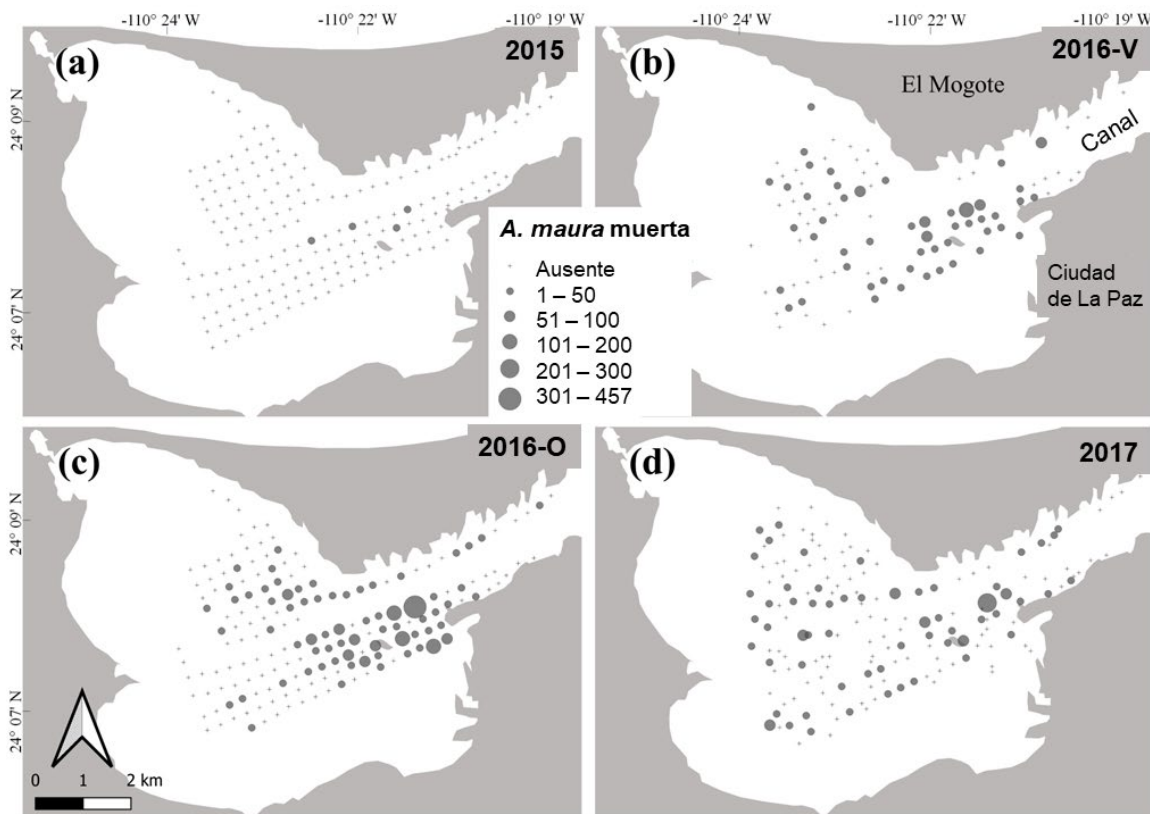


Figura 53. Distribución espacial de la abundancia de organismos muertos (ind./250 m²) de *Atrina maura* durante, a) 2015, b) verano 2016, c) otoño 2016 y d) 2017.

INVASIÓN DE ASCIDIAS

La densidad de *A. maura* viva disminuyó gradualmente de 2015 a 2017. En 2015 fue donde se registró la mayor cantidad de hachas, 1367 ind./250 m² en un solo sitio de muestreo, mientras que el 23% sitios muestreados tenían densidades mayores a 100 ind./250 m² (Fig. 54a). Para el verano de 2016 (Fig. 54b) y otoño del mismo año (Fig. 54c) los sitios con densidades mayores a 100 ind./250 m² se mantuvieron casi en la misma proporción 14.6% y 14.5% respectivamente. La densidad más baja de *A. maura* viva se observó en 2017, con solo el 7% de sitios con densidades mayores a 100 hachas en 250 m².

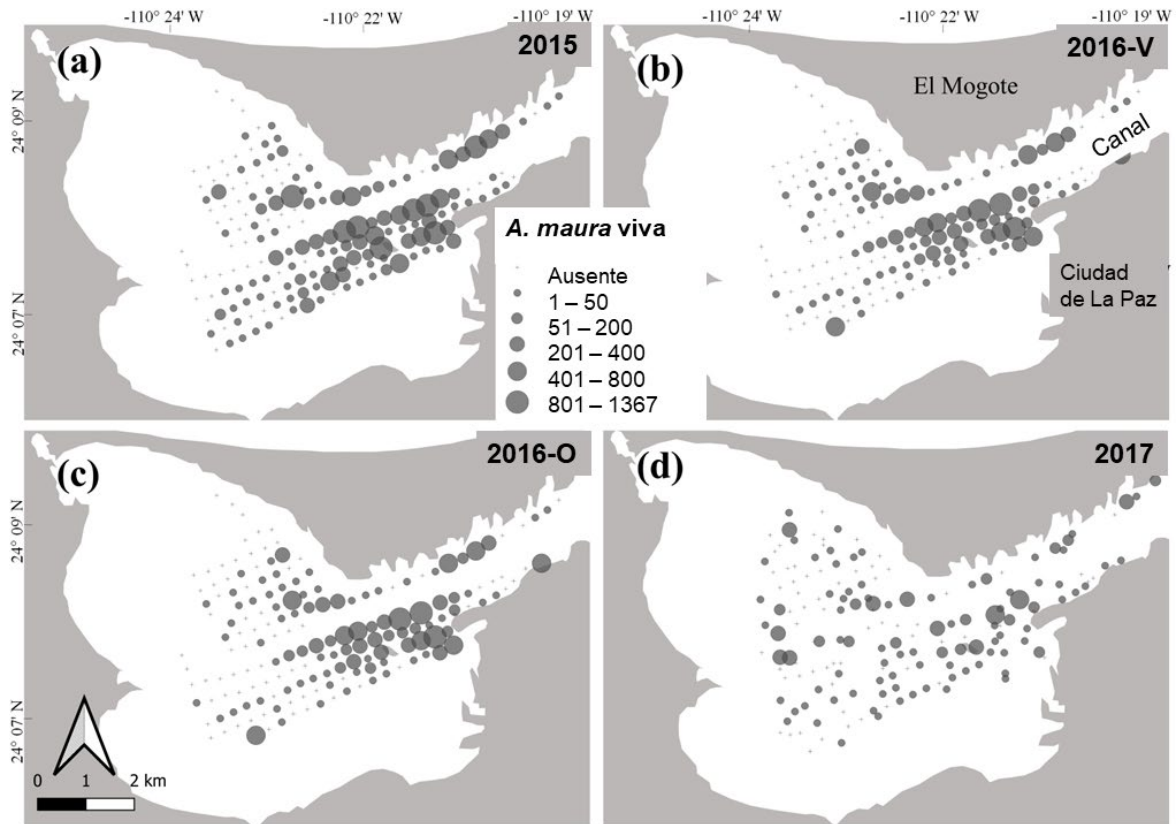


Figura 54. Distribución espacial de la abundancia de organismos vivos (ind./250 m²) de *Atrina maura* durante, a) 2015, b) verano 2016, c) otoño 2016 y d) 2017.

Cobertura de *Distaplia stylifera* asociada con la densidad de *Atrina maura* y las condiciones ambientales durante el verano de 2016

El modelo GAM ajustado a las anomalías de las variables ambientales: [(proporción de cobertura) ~ f (sustrato disponible + A_OD + A_pH + A_Sal + A_TSM + A_ChI-a)] cuyos indicadores de bondad de ajuste fueron R^2 ajustado = 0.78, desviación explicada = 70.3% y el estimador de riesgo insesgado (UBRE) = -0.79, fue ligeramente mejor que el modelo con las series ambientales sin transformar. El modelo indica que la única variable significativa para explicar el nivel de cobertura de la ascidia fue el sustrato disponible, mostrando un comportamiento casi lineal que aumenta monótonamente para la cobertura de *D. stylifera* con el sustrato proporcionado por la densidad de las hachas, y predice que los efectos de cobertura de *D. stylifera* comienzan a ocurrir cuando la densidad de *A. maura* es mayor 47 ind./250 m² (Fig. 55).

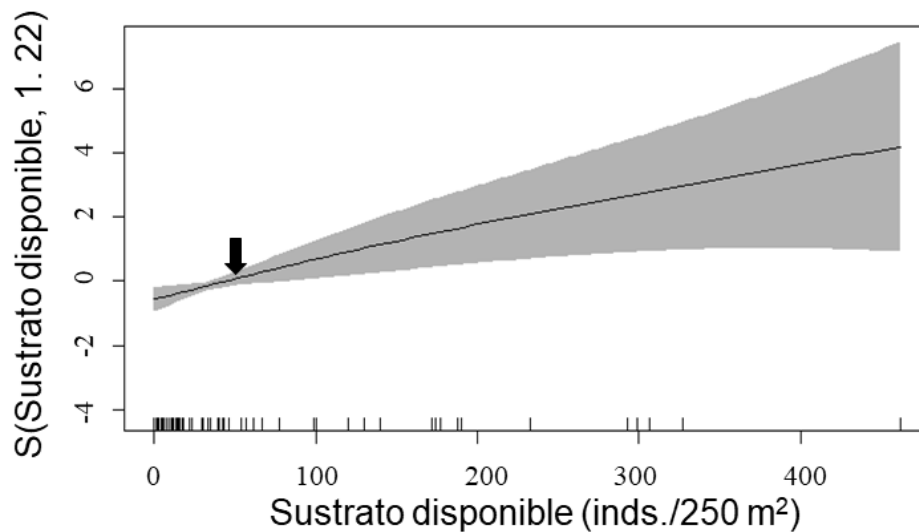


Figura 55. Modelo aditivo generalizado ajustado (línea continua) con intervalo de confianza del 95% (área gris) para el efecto de la disponibilidad del sustrato en la proporción de cobertura de *Distaplia stylifera*. Los grados de libertad se dan en la etiqueta del eje y. El eje Y está en la escala de la variable de predicción lineal. Las líneas de marca en el interior del eje X indican la presencia de valores observados de la variable predictora.

Densidad de *Atrina maura* muerta relacionada con la cobertura de *Distaplia styliifera* y las condiciones ambientales durante el verano de 2016

El GAM [(*A. maura* muerta) ~ f (proporción de cobertura por *D. styliifera* + OD + pH + Sal + TSM + Chl-*a*)] con medidas de bondad de ajuste de R^2 ajustado = 0.89, desviación explicada = 88.8% y un valor de validación cruzada aditiva generalizada de (GACV) = 0.014, fue el mejor modelo. Indicando que el principal factor que explica la varianza de *A. maura* muerta observada fue la proporción de *D. styliifera* que tiene una tendencia positiva casi lineal (Fig. 56a). La salinidad, TSM y OD también fueron significativas, pero menos relevantes como variables explicativas. La mortalidad de las hachas aumenta con la salinidad y disminuye con la TSM, ambas con tendencias casi lineales (Fig. 56b-c) mientras que *A. maura* muerta aumenta conforme aumentan los valores de OD (Fig. 56d). En general, el GAM ajustado predice que la densidad de *A. maura* muerta aumenta cuando la cobertura de *D. styliifera* es mayor a 8%, la salinidad es mayor a 37.3 UPS, TSM menor a 27.1° C y OD mayor a 5.05 mg O₂/L.

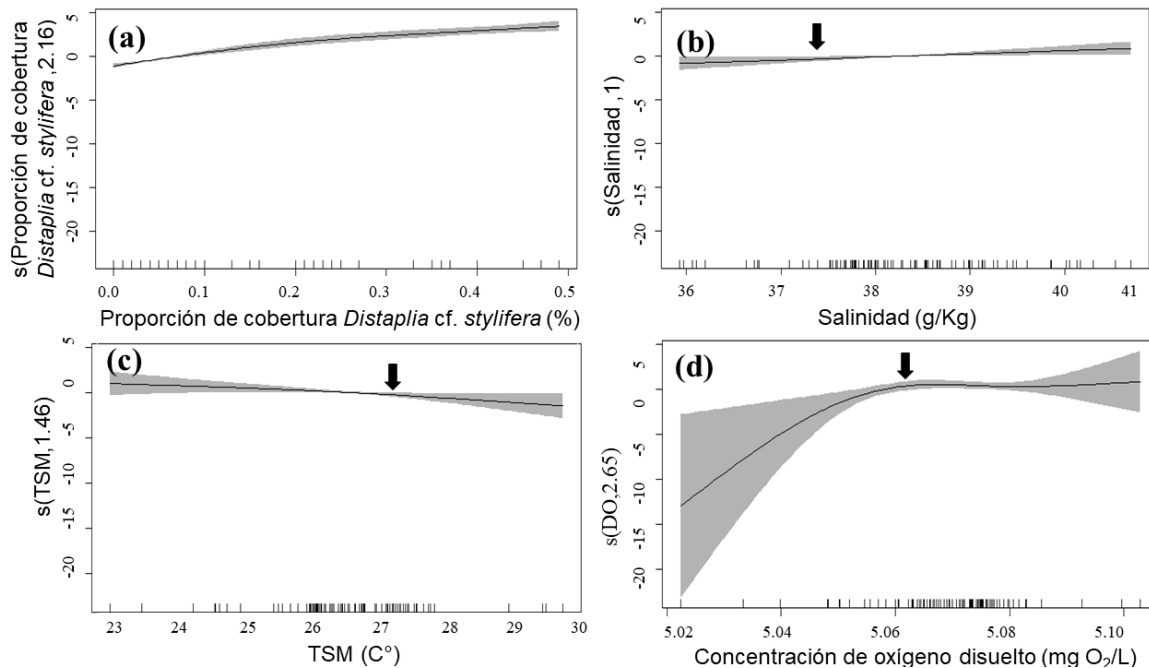


Figura 56. Modelos aditivos generalizados ajustados (líneas continuas) con intervalos de confianza del 95% (área gris) para el efecto de la cobertura de *D. styliifera* sobre la mortalidad de *A. maura*. Se muestran los efectos de las variables sobre la mortalidad del hacha a) Cobertura de la ascidia; b) Salinidad; c) TSM; y d) OD. Los ejes Y están en la escala de la variable de predicción lineal. Las líneas de marca en el interior del eje X indican la presencia de valores observados de la variable predictora. Los números en la etiqueta del eje Y indican los grados de libertad.

Discusión

Después de varios años de éxito del programa de restauración en la Ensenada de La Paz para los bancos de hachas, la rápida colonización y crecimiento de *D. styliifera* resultó en un suceso de mortalidad masiva de *A. maura*. Paradójicamente, nuestros resultados revelan que la abundante disponibilidad de sustrato proporcionado por las conchas de hachas fue uno de los principales factores involucrados en el crecimiento de *D. styliifera* durante el verano de 2016.

Si bien, nuestro estudio no investigó los efectos de la ascidia sobre las hachas, otros estudios han mostrado estos efectos negativos (Claereboudt et al., 1994; Lodeiros et al., 2002; Taylor et al., 1997). En Brasil, tres especies de organismos (incluida la ascidia *Didemnum perlucidum* Monniot F., 1983) cubrían al

menos el 70% de la población de mejillones *Perna perna* (Linnaeus, 1758) resultando en mejillones 19% a 36% más pequeños y con ~ 60% menos peso corporal que los mejillones sin ascidia (Lins y Rocha, 2020).

Cobertura relativa de *Distaplia stylifera* durante 2015 a 2017

La repentina expansión de *D. stylifera* sobre la población de hacha en una gran área de la Ensenada de La Paz y su presencia en uno de los muelles náuticos a la entrada de la ensenada y la falta de reportes previos de esta especie en el Pacífico oriental (Blackburn et al., 2011) sugiere que es una especie introducida ya que hasta el momento solo se ha observado en dos sitios portuarios de la zona; Marina La Paz y Pichilingue.

Densidad de *Atrina maura* viva y muerta durante 2015 a 2017

Las zonas con mayor cobertura de ascidias fueron a lo largo del canal de mareas extendiéndose hacia la costa sureste y suroeste del Mogote, que coinciden con las zonas de mayor densidad de *A. maura* viva y muerta. Sin duda, la mortalidad masiva de *A. maura* está significativamente asociada con la alta proporción de cobertura de *D. stylifera* observada en el verano de 2016.

En un intento por reducir la mortalidad y las pérdidas económicas de *A. maura*, los pescadores llevaron a cabo dos operaciones de extracción de *D. stylifera* en 2016 y 2017 en los bancos más densos localizados en el canal de mareas. En el monitoreo de 2017 se observó una reducción notable de las ascidias; sin embargo, esta reducción pudo deberse más a eventos ambientales puntuales y de gran impacto como la tormenta tropical Javier (7 al 9 de agosto 2016), el huracán Newton (4 al 7 de septiembre 2016) y la tormenta tropical Lidia (31 de agosto a 2 de septiembre de 2017) y no con los esfuerzos de remoción. Especulamos que los cambios repentinos en la salinidad, turbidez, OD y temperatura resultante de estos

eventos fueron las perturbaciones que crearon las condiciones para el abatimiento de la población de ascidias en la zona.

Cobertura de *Distaplia stylifera* asociada con la densidad de *Atrina maura* y las condiciones ambientales durante el verano de 2016

Los resultados del primer GAM orientado a responder las preguntas de si la cantidad de hachas había influido en el rápido crecimiento de la ascidia o si fueron las condiciones ambientales o ambas, revelan una correlación positiva significativa entre la densidad del hacha y la cobertura de las ascidias, indicando que las conchas del hacha proporcionaron un sustrato favorable para la colonización de las ascidias, y no se encontraron efectos significativos de las variables ambientales (OD, salinidad, TSM, pH y clorofila-a) en la cobertura de las ascidias, a pesar de las condiciones ambientales favorables como el pH, que según Bellas et al. (2003), es entre 7.4 y 8.8 para las ascidias. El pH registrado en Ensenada de La Paz durante 2016 a 2017 estuvo dentro de este rango (7.7 a 8.3 pH). Además, se registró un aumento de la TSM que facilita la reproducción sexual y asexual de las ascidias (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2009). El año 2016 fue el más cálido registrado mundialmente entre 1880 y 2018 (Meijers et al., 2019) y también el año más cálido registrado entre 2002 y 2018 en la región suroeste del Golfo de California (Martínez-Soler et al., 2021).

Se sugiere que la reproducción asexual combinada con la disponibilidad de sustrato de *A. maura* facilitó un rápido crecimiento poblacional y la formación de grandes colonias, lo que provocó la mortalidad masiva del hacha. Se propone considerar estrategias de control, como la reducción mediante extracción comercial de los bancos de hacha de alta densidad, para minimizar el hábitat adecuado para el crecimiento de las ascidias. Además de actualizar los monitoreos de detección de especies invasoras. Claramente, se requieren estudios biológicos para corroborar

cuáles variables ambientales y rango de valores favorecen el crecimiento poblacional de *D. stylifera* en La Ensenada de La Paz.

Densidad de *Atrina maura* muerta relacionada con la cobertura de *Distaplia stylifera* y las condiciones ambientales durante el verano de 2016

En nuestro segundo GAM, los resultados indican que la principal causa de la mortalidad de *A. maura* fue la cobertura de ascidias, seguida por cambios en la salinidad, TSM y OD. El modelo predice que la densidad de *A. maura* muerta aumenta cuando la cobertura de *D. stylifera* es $> 8\%$, salinidad > 37.3 UPS, TSM $< 27.1^{\circ}$ C y OD > 5.06 mg O₂/L. *Atrina maura* cuenta con una estrategia de reproducción sexual oportunista en La Ensenada de La Paz, que permite la reabsorción de gametos (evitando la pérdida de masa corporal) cuando ocurren condiciones climáticas desfavorables (Camacho-Mondragón, 2012). El Niño 2015–2016 ecuatorial se manifestó en la zona entre enero de 2015 y febrero de 2016 con anomalías levemente negativas durante el resto de 2016 (Martínez-Soler et al., 2021). En el presente estudio se encontró una tendencia similar de la TSM en La Ensenada de La Paz. Podemos especular que el efecto combinado de un rápido crecimiento de *D. stylifera* y la reabsorción de gónadas de *A. maura* debido a El Niño 2015–2016 dieron como resultado una retroalimentación negativa para la población del hacha en la Ensenada de La Paz. La población de *A. maura* mostró cambios significativos en la densidad poblacional promedio presentando un máximo en otoño de 2016 de 35.78 ind/250 m² y un mínimo de 17.78 ind/250 m² durante el otoño de 2017, incluso menos que lo observado en verano de 2016 cuando se registró la mayor cobertura de *D. stylifera*. Lo cual puede ser un indicador de que la población *A. maura* está muy afectada y su recuperación será lenta

Conclusiones

La imagen que emerge de nuestro análisis es que el éxito en la recuperación de la población de hachas fue en realidad el principal impulsor del crecimiento explosivo de la población de ascidias, resultando en un evento de mortalidad masiva de las hachas y una gran pérdida económica para los pescadores. Los esfuerzos de extracción de ascidias llevadas a cabo (177 toneladas) fueron costosos, consumieron mucho tiempo, fueron extremadamente limitados desde el punto de vista espacial; y en general, fueron ineficaces. Las tormentas tropicales y los huracanes que azotaron la región fueron probablemente las causas detrás de la reducción de la ascidia durante 2017. Sugerimos que la reducción de altas densidades de hachas mediante la cosecha en los bancos debe realizarse tan pronto como se detecte la presencia de ascidias. Esta acción evitaría más pérdidas económicas para los pescadores locales que protegen, cultivan y dependen de esta especie de molusco económicamente valiosa.

Importancia Social

La importancia social de la presencia de la ascidia invasora *Distaplia stylifera* en pesquerías de hachas (*Atrina maura*, entre otras especies) radica en las profundas implicaciones que tiene sobre la vida y el bienestar de las comunidades costeras que dependen de este recurso. La presencia de ascidias invasoras afecta la salud y disponibilidad de las hachas, poniendo en peligro la seguridad económica de las familias, lo que puede llevar a una pérdida de las actividades económicas de los pescadores y ocasionar el movimiento de los pescadores hacia otro tipo de empleo y con ello generar una disrupción del tejido social en las comunidades pesqueras. Este acontecimiento impulsa la necesidad de capacitar a los pescadores en el monitoreo, identificación y prevención de especies invasoras.

Perspectivas

La investigación futura debe centrarse en la taxonomía y la biogeografía de las especies de *Distaplia* del mundo para determinar si la especie que causó la mortalidad masiva de las hachas es una especie nativa o exótica. Se debe realizar un trabajo experimental para inferir los efectos de la cobertura de ascidias sobre la tasa de crecimiento y la biomasa de las hachas de los bancos y determinar si la mortalidad se debe a la asfixia o a la inanición. Es necesario también abordar el papel de las estrategias reproductivas sexuales y asexuales en los procesos de colonización y expansión espacial de la ascidia. Es probable que esta información proporcione mejores acciones de manejo para controlar la propagación de la ascidia y la mortalidad de las hachas una vez que se detecte nuevamente *Distaplia stylifera* en la región.

Literatura Citada

- Bellas, J., Beiras, R., y Vásquez, E. (2003). A standardization of *Ciona intestinalis* (Chordata, Ascidiacea) embryo-larval bioassay for ecotoxicological studies. *Water Research*, 37, 4613–4622. [http://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00396-8](http://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00396-8).
- Blackburn, T.M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J.T., Duncan, R.P., Jarošík, V., Wilson, J.R., y Richardson, D.M. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 26, 333–339. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023>
- Bourque, D., Davidson, J., MacNair, N., Arsenault, G., LeBlanc, A., Landry T., y Miron, G. (2007). Reproduction and early life history of an invasive ascidian *Styela clava* Herdman in Prince Edward Island, Canada. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342:78–84. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.21545.13924>
- Camacho-Mondragón, M.A., Arellano-Martínez, M., y Ceballos-Vázquez, B.P. (2012). Particular features of gonadal maturation and size at first maturity in *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae). *Scientia Marina*, 76(3): 539–548. <http://doi.org/10.3989/scimar.03522.05A>

- Claereboudt, M.R., Bureau, D., Cote, J., y Himmelman, J.H. (1994). Fouling development and its effect on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Aquaculture*, 121, 327–342. [http://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90268-2](http://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90268-2)
- Comeau, L.A., Filgueira, R., Guyondet, T., y Sonier, R. (2015). The impact of invasive tunicates on the demand for phytoplankton in longline mussel farms. *Aquaculture*, 441, 95–105. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.018>
- Crooks, J.A. (2005). Lag times and exotic species: The ecology and management of biological invasions in slow-motion. *Écoscience*, 12(3), 316–329. <http://doi:10.2980/i1195-6860-12-3-316.1>
- Davis, A.R., Walls, K., y Jeffs, A. (2018). Biotic consequences of a shift in invertebrate ecosystem engineers: Invasion of New Zealand rocky shores by a zone-forming ascidian. *Marine Ecology*, 39:e12502. <https://doi.org/10.1111/maec.12502>
- Dijkstra, J.A., y Nolan, R. (2011). Potential of the invasive colonial ascidian, *Didemnum vexillum*, to limit escape response of the sea scallop, *Placopecten magellanicus*. *Aquatic Invasions*, 6 (4): 451–456. <https://doi:10.3391/ai.2011.6.4.10>
- Lins, D.M., y Rocha, R.M. (2020). Cultivated brown mussel (*Perna perna*) size is reduced through the impact of three invasive fouling species in southern Brazil. *Aquatic Invasions*, 15(1), 114–126. <https://doi.org/10.3391/ai.2020.15.1.08>
- Lodeiros, C., y Himmelman, J.H. (1996). Influence of fouling on the growth and survival of the tropical scallop, *Euvola (Pecten) ziczac* L. 1758 in suspended culture. *Aquaculture Research*, 27, 749–756. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1996.tb01233.x>
- Martínez-Soler, E., De Silva-Dávila, R., Gómez-Gutiérrez, J., González-Rodríguez E., y Aburto-Oropeza, O. (2021). Cephalopod paralarval species richness, abundance, and size structure during 2014–2017 anomalous warm period at south Gulf of California. *Journal Plankton Research*, 43(2), 224–243. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab010>
- Matus-Hernández, M.A., Martínez-Rincón, R.O., Aviña-Hernández, R.J., y Hernández-Saavedra, N.Y. (2019). Landsat-derived environmental factors to describe habitat preferences and spatiotemporal distribution of phytoplankton. *Ecological Modelling*, 408, 108579. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108579>

INVASIÓN DE ASCIDIAS

- Meijers, A.J., Sallée, B., Grey, A., Johnson, K., Arrigo, K., Swart, S., King, B., y Mazloff, M. (2019). Southern Ocean [in "State of the Climate in 2018"]. The Bulletin of the American Meteorological Society, 100 (9), S181–S185. <https://doi.org/10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1>
- Moreno-Dávila, B., Huato-Soberanis, L., Gómez-Gutiérrez, J., Galván-Tirado, C., Sánchez, C., Alcoverro, T., Balart, E.F., y Turón, X. (2023). Taxonomic identity of *Distaplia stylifera* (Tunicata, Ascidiacea), a new arrival to the eastern Pacific displaying invasive behavior in the Gulf of California, Mexico. ZooKeys, 1157, 109–125. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1157.95986>
- Noroeste Sustentable, A.C. (2015). Aprovechamiento sustentable de callo de hacha y almeja catarina en La Ensenada de La Paz, BCS. Resumen Ejecutivo, Noroeste Sustentable A. C. (42 pp.)
- Noroeste Sustentable, A.C. (2018). Reporte de biológico de callo de hacha en La Ensenada de La Paz, BCS. Resumen Ejecutivo, Noroeste Sustentable A. C. (53 pp.)
- Petersen, J.K. (2007). Ascidian suspension feeding. The Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, (342), 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.10.023>
- Ramsay, A., Davidson, J., Landry, T., y Arsenault, G. (2008). Process of invasiveness among exotic tunicates in Prince Edward Island, Canada. Biological Invasions, (10), 1311–1316. <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9205-y>
- Rocha, R.M., Kremer, L.P., Baptista, M.S., y Metri, R. (2009). Bivalve cultures provide habitat for exotic tunicates in southern Brazil. Aquatic Invasions, 4 (1), 195–205. <https://doi.org/10.3391/ai.2009.4.1.20>
- Rodríguez, L.F., e Ibarra-Obando, S.E. (2009). Cover and colonization of commercial oyster (*Crassostrea gigas*) shells by fouling organisms in San Quintin Bay, Mexico. Journal of Shellfish Research, 27(2), 337–343. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2008\)27\[337:CACOCO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2008)27[337:CACOCO]2.0.CO;2)
- Stachowicz, J.J., Fried, H., Osman, R.W., y Whitlatch, R.B. (2002). Biodiversity, invasion resistance, and marine ecosystem function: reconciling pattern and process. Ecology, 83(9), 2575–2590. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2575:BIRAME\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2575:BIRAME]2.0.CO;2)
- Taylor, J.J., Southgate, P.C., y Rose, R.A. (1997). Fouling animals and their effects on the growth of silver-lip pearl oysters, *Pinctada maxima* (Jameson) in suspended culture. Aquaculture, 153, 31–40. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00014-8)

Para citar esta obra:

Moreno-Dávila B. y L. Huato-Soberanis *. 2025. Invasión de ascidias sobre bancos de hachas en la Bahía de La Paz, BCS. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 339-361). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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 E. Vargas Peralta, Paulina Mejía-Ruíz, Fabiola Lafarga de la Cruz y Fausto Valenzuela-Quíñonez*

fvalenzuela@cibnor.mx

Resumen

Los recursos pesqueros a nivel mundial son una fuente relevante de alimento y trabajo generando bienestar para millones de personas. México no es la excepción y existen recursos pesqueros con un alto arraigo regional además de ser clave para el sostenimiento de comunidades pesqueras. El recurso pesquero abulón ha sido promotor del desarrollo de comunidades pesqueras en la costa Occidental de la Península de Baja California siendo una fuente relevante de ingresos para las familias. En años recientes se han presentado reducciones importantes en las capturas debido diversos factores antropogénicos y ambientales, por ello se requiere de la generación de información científica que coadyuve a la conservación y manejo de este recurso. El presente capítulo aborda investigaciones recientes relacionadas con la diversidad genómica del recurso abulón en términos de su estructura genómico poblacional y trazabilidad. Estas investigaciones las han realizado Centros Públicos de Investigación y se enfocan en la generación de información genómica que pueda tener utilidad práctica por parte de los usuarios del recurso y de las autoridades pertinentes.

Palabras clave: Abulón, pesca, genómica poblacional, manejo pesquero, trazabilidad

Abstract

Global fishery resources are a significant source of food and employment, providing well-being for millions of people worldwide. Mexico is no exception, with fisheries resources deeply rooted in regional identity and crucial for sustaining fishing communities. The abalone fishery resource has played a key role in the development of fishing communities along the West Coast of the Baja California Peninsula, serving as a significant source of income for families. However, in recent years, there have been significant reductions in catches due to various anthropogenic and environmental factors. Therefore, there is a need for generating scientific information that contributes to the conservation and management of this resource. This chapter addresses recent research related to the genomic diversity of the abalone resource in terms of its population genomic structure and traceability. These studies have been conducted by Public Research Centers and focus on generating genomic information that can be practically useful for resource users and relevant authorities.

keywords: Abalone, fishing, population genomics, fisheries management, traceability

Introducción

La pesca a nivel mundial representa una actividad de elevada relevancia debido a que genera alimento, ingresos y bienestar para millones de personas (FAO 2022). Por ello, es necesario generar información científica que permita mantener la sostenibilidad de los recursos pesqueros en el largo plazo para mantener esta actividad (FAO 2022). En México, el abulón desempeña un papel crucial tanto desde

una perspectiva ecológica como socioeconómica, siendo un recurso emblemático en la región de la Península de Baja California. En 2012, la producción total de este recurso, incluyendo captura y cultivo, alcanzó las 516 toneladas en peso vivo. En 2021, esta cifra disminuyó significativamente a 281 toneladas en peso vivo, con un valor de 121 millones de pesos (CONAPESCA 2021), una reducción del 46 % respecto a 2012. En ese mismo año, el abulón ocupó el lugar número 49 en la producción pesquera de México por volumen, el lugar 26 por su valor y el lugar 13 entre las especies pesqueras exportadas. La captura representó el 84% con 236 toneladas, mientras que la producción por cultivo fue de solo 45 toneladas (16%), con Baja California produciendo el 59% y Baja California Sur el 41%.

En México se encuentran presentes siete de las ocho especies de abulón que habitan en la costa occidental del Pacífico (Geiger y Owen 2012), incluyendo el abulón rayado (*Haliotis assimilis*; Dall, 1878), chino (*Haliotis sorenseni*; Linnaeus, 1758), negro (*Haliotis cracherodii*; Leach, 1814), amarillo (*Haliotis corrugata*; Wood, 1828), pinto (*Haliotis kamtschatkana*; Jonas, 1845), rojo (*Haliotis rufescens*; Swainson, 1822) y azul (*Haliotis fulgens*; Philippi, 1845). De estas especies, cinco están incluidas como especies comerciales en la Carta Nacional Pesquera (Figura 57; DOF 2023). Sin embargo, las especies principales en términos de producción son el abulón azul, que representa el 78.4%, y el abulón amarillo, con el 21.1% de las capturas.

ESTUDIOS GENÉTICOS PARA LA CONSERVACIÓN

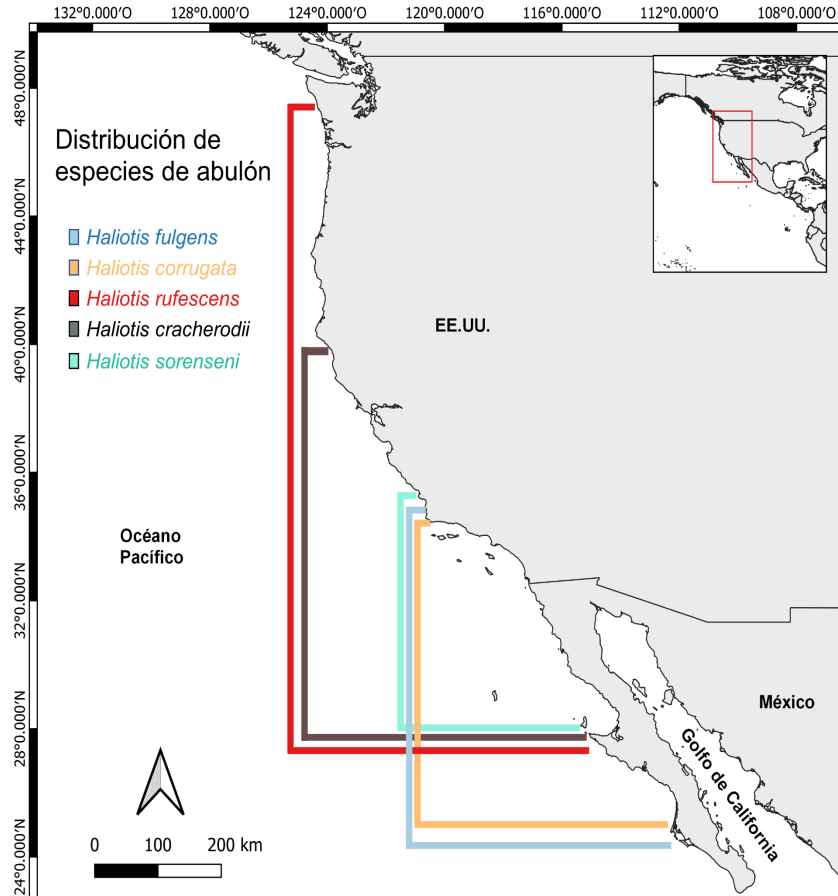


Figura 57. Rango de distribución de las principales especies comerciales de abulón en México.

El manejo de la pesquería de abulón se basa en la Norma Oficial Mexicana 005-PESC-1993 (NOM-005-PESC-1993) y establece cuatro áreas administrativas que fueron implementadas debido a la variación en las características biológicas en cada zona, cada área tiene una talla legal mínima, así como una temporada de veda específica: zona I (150 mm, Julio 1–Noviembre 30); zonas II (145 mm, Agosto 1–Diciembre 31) y III (140 mm, Agosto 1–Diciembre 31), y zona IV (120 mm, Septiembre 1–Enero 31) (Figura 58; DOF 2023). Adicionalmente, existen áreas concesionadas a las cooperativas que se dedican a esta actividad y se les asigna una cuota de captura con base en la evaluación de stock. La pesca se lleva a cabo mediante buceo autónomo llamado “Hooka”, la unidad de pesca la constituyen regularmente tres personas el motorista, el cabo de vida y el buzo.

Pese a las medidas de manejo y gran compromiso de los pescadores para mantener el recurso en niveles saludables, se han presentado graves descensos principalmente por la sobrepesca, enfermedades, factores ambientales y pesca ilegal o no reportada (Ponce et al., 2013; Searcy et al., 2010). Lo anterior genera la necesidad de proveer de información a las cooperativas y autoridades que coadyuven a la implementación de medidas de manejo espaciales y así como la inspección y vigilancia.

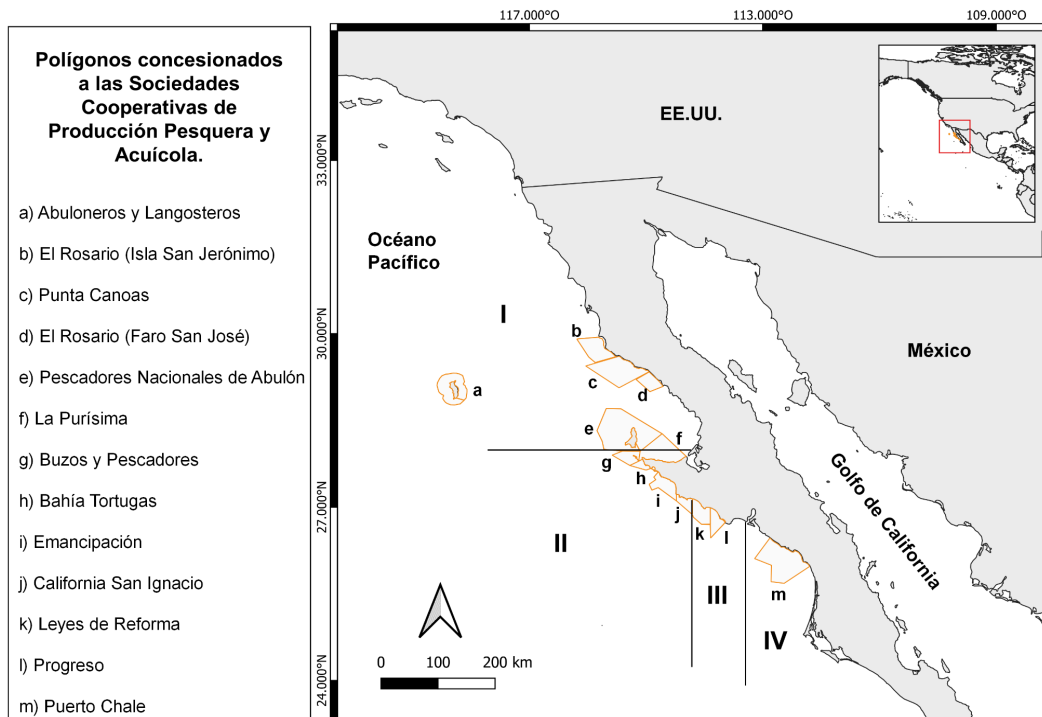


Figura 58. Representación de las Áreas Administrativas para el aprovechamiento del recurso abulón en números romanos, y disposición de los polígonos concesionados a algunas de las sociedades cooperativas de producción pesquera y acuícola con permiso de pesca de abulón en la costa Pacífico de la península de Baja California en letras.

Otra problemática tiene que ver con la sustitución de especies de abulón con especies de menor valor comercial en marcas de abulón enlatado que no pertenecen a las cooperativas productoras de abulón, por lo que se deben generar

herramientas que brinden certidumbre de las especies y potencialmente del origen natal del contenido (Aranceta-Garza et al., 2011; Vargas-Peralta et al., 2022).

En este sentido, se han realizado investigaciones desarrollando recursos genómicos para solventar algunos de estos problemas que impactan al recurso. Estudios genéticos revelan discrepancias entre las poblaciones naturales y las zonas de captura establecidas como medidas de manejo para regular su aprovechamiento, tanto en el caso de abulón amarillo (Mares-Mayagoitia et al., 2021) como del abulón azul (Mejía-Ruíz et al., 2020, 2023). Esto es sumamente relevante ya que las futuras evaluaciones de stock dependen de este insumo para evaluar el estado de la población. Asimismo, se ha desarrollado investigaciones relacionadas a la certificación y origen natal de la producción. A continuación, se describen algunas de estas investigaciones y su relación con la incidencia para el manejo, inspección y vigilancia del recurso abulón.

Estudios genéticos de la pesquería de abulón

2.1 Estudios de genética/genómica poblacional

Una de las piezas clave para el manejo pesquero se basa en la evaluación de stock. Usualmente estos modelos asumen unidades poblacionales independientes lo que impacta directamente en las estimaciones de los puntos de referencia del recurso (Ovenden et al., 2015). Por ello generar información de la genética-poblacional permite comprender cómo se arregla espacialmente las poblaciones, su conectividad y cómo se forman grupos con adaptaciones potenciales, generando información necesaria para establecer estrategias integrales de manejo y conservación (Valenzuela-Quíñonez, 2016).

Los estudios sobre estructura genética de abulones se centran en la naturaleza neutral de las poblaciones, en la descripción de patrones demográficos como la migración, diversidad genética, deriva génica (Gutiérrez-González et al., 2007; Díaz-Viloria et al., 2009; Munguía-Vega et al., 2015; Lowe et al., 2017; Mejía-Ruíz et al., 2020). Recientemente, con el uso de SNPs (*Single Nucleotide Polymorphism*, por sus siglas en inglés), se ha podido profundizar en la naturaleza adaptativa del recurso mediante la obtención de marcadores candidatos a selección y, con ello, inferir el impacto del cambio climático en el arreglo espacial de grupos de la región con adaptaciones locales (Nielsen et al., 2009; Mares-Mayagoitia et al., 2021, 2024).

A continuación, se describe el progreso de los estudios en estructura genómico-poblacional del abulón azul y el abulón amarillo en la costa Pacífico de la península de Baja California (Figura 59), dependiendo de la cobertura espacial de estudio y la incorporación de marcadores moleculares con mayor resolución para ambas especies.

ANTECEDENTES EN GENÉTICA DEL RECURSO ABULÓN

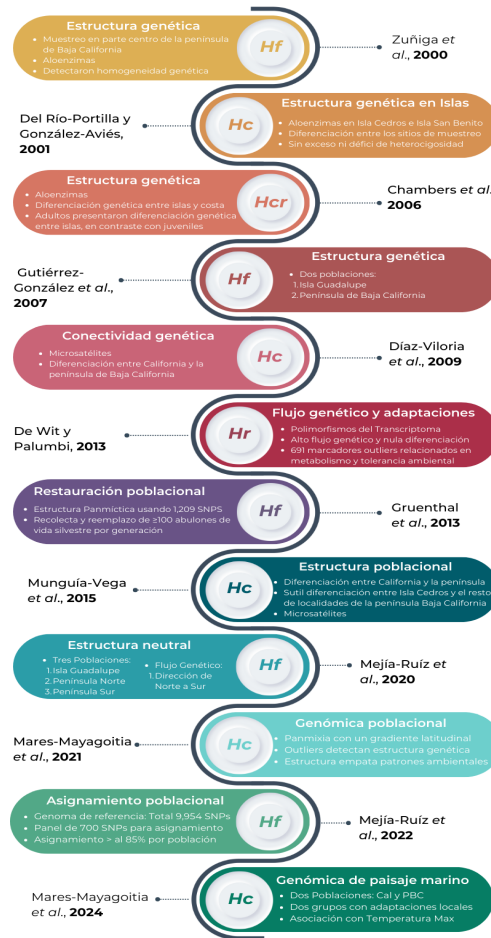


Figura 59. Recopilación histórica de estudios genético/genómico poblacionales del recurso abulón en México.

2.1.1 Abulón Azul (*Haliotis fulgens*).

En una primera aproximación, un estudio de estructura genética empleando microsatélites como marcador molecular, se identificaron dos poblaciones de abulón azul en la península de Baja California, separando la localidad de Isla Guadalupe de las ocho localidades restantes muestreadas en la península desde Isla Cedros

hasta Bahía Magdalena (Gutiérrez-González et al., 2007). Sin embargo, se consideró como una población panmíctica para fines de manejo.

Posteriormente, Mejía-Ruiz et al. (2020) obtuvieron 2,170 marcadores SNP e identificaron tres poblaciones: 1) la localidad de Isla Guadalupe con respecto, 2) las localidades de la parte norte de la Península de Baja California (PBC; Faro San José e Isla San Jerónimo), y 3) las localidades del sur de la PBC, de Isla Cedros a La Bocana (Figura 60). Asimismo, describió un flujo genético con dirección norte-sur predominante en la región norte de la PBC y un flujo genético bidireccional en la porción sur de la PBC, patrones que empatan con las características oceanográficas locales. Además, tanto los estudios realizados con microsatélites como con SNPs, señalarían que un efecto de aislamiento por distancia explicaría significativamente el tipo de estructura genética observada en el abulón azul e indicarían que las zonas administrativas dispuestas para su manejo no coinciden con las unidades biológicas, por lo que sugieren una revisión sobre la evaluación de la población y las zonas de manejo.

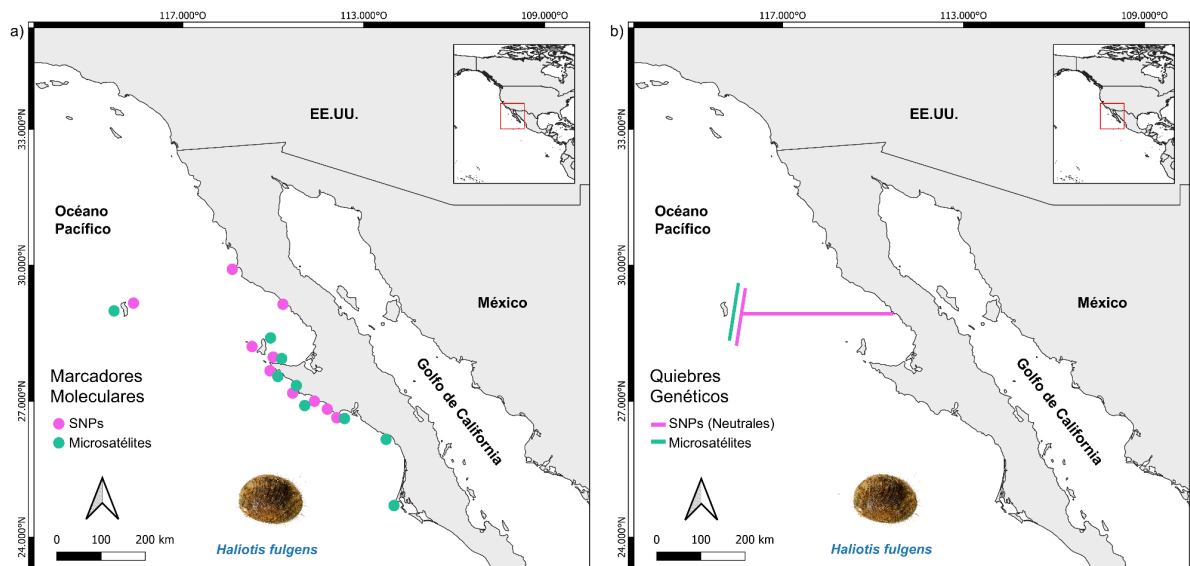


Figura 60. Comparativa de la cobertura espacial entre los estudios con distintos marcadores moleculares (a) y los respectivos quiebres genéticos del abulón azul (b).

2.1.2 Abulón Amarillo (*Haliotis corrugata*).

El caso del abulón amarillo abarca estudios más contrastantes en cuanto a cobertura espacial, tipo y cantidad de marcadores moleculares se refiere. Inicialmente, Del Río-Portilla y González-Avilés (2001) realizaron un muestreo focalizado en Isla Cedros e Isla San Benito, al centro de la PBC, emplearon aloenzimas y obtuvieron ocho *loci* en seis muestras provenientes de dos zonas de Isla Cedro y una más en Isla San Benito. Concluyeron que, además de no presentar exceso, ni déficit en niveles de heterocigosidad, el abulón amarillo presentó una estructura genética que diferenciaba las localidades muestreadas y, por tanto, podrían ser consideradas como poblaciones independientes para su aprovechamiento.

Estudios posteriores en los que se emplearon microsatélites como marcadores moleculares en un rango espacial más amplio, los resultados fueron contrastantes y elucidaron nuevos paradigmas sobre la estructura genética del abulón amarillo. Díaz-Viloria et al., en 2009, incluyeron la localidad de Isla San Clemente, California (EE. UU.) a su muestreo de cuatro localidades en la península de Baja California y, con ocho *loci* microsatélites de ADN, encontraron diferenciación genética entre la localidad de Estados Unidos (EE. UU.) con respecto a las localidades de México. Sin embargo, no encontraron diferenciación genética entre las localidades de la península de Baja California, difiriendo de los resultados previos de Del Río-Portilla y González-Avilés (2001), y sugirieron que la estructura genética en México debía considerarse panmíctica (una sola población). Por su parte, Munguía-Vega et al. (2015), realizaron un estudio considerando una cobertura espacial similar y encontraron patrones de estructura genética similar, es decir, diferenciación genética entre la localidad de San Diego, California con respecto a las localidades de México. Sin embargo, reportaron una señal de diferenciación genética sutil entre Isla Cedros y las localidades de Isla Natividad, La Bocana y Punta Abreojos en la PBC.

Recientemente, Mares-Mayagoitia et al. (2024) abarcando casi el total del rango de distribución de la especie, obtuvieron 2,231 SNPs de naturaleza neutral e identificaron dos poblaciones: 1) California, EE. UU., y 2) las localidades de la PBC, con un patrón de conectividad genética débil de norte a sur entre ellas, y un mayor flujo genético al interior de las localidades de la PBC. Además, detectaron nueve marcadores con potencial adaptativo, con los que identificaron dos grupos con potenciales adaptaciones locales y con un patrón de estructura genética distinto al de los marcadores neutrales: 1) un grupo Norte, desde las localidades de California hasta Isla Cedros al centro de la PBC, y 2) un grupo Sur, desde Isla Natividad hasta la localidad de San Juanico (Figura 61).

Este patrón de potencial adaptativo fue consistente con análisis de Asociación Genotipo-Ambiente, en los que las agrupaciones se relacionaron significativamente con los valores máximos de la temperatura superficial del mar de la región, coincidiendo además con las Eco-regiones Marinas de la zona, *Southern California Bight* (SCB) y *Magdalena Transition* (MT) (Spalding et al., 2007). La SCB coincide con el grupo Norte, desde California hasta Punta Eugenia, se encuentra bajo el efecto permanente de la Corriente de California y arrastra aguas frías a lo largo del año, especialmente durante las estaciones invierno-primavera.

Mientras la MT coincide con el grupo Sur, desde Punta Eugenia hasta Cabo, con dos patrones a lo largo del año, uno frío en las estaciones invierno-primavera y otro cálido en verano-otoño bajo la influencia de la Contracorriente Ecuatorial del Norte (Aquad et al., 2011; Durazo 2015).

ESTUDIOS GENÉTICOS PARA LA CONSERVACIÓN

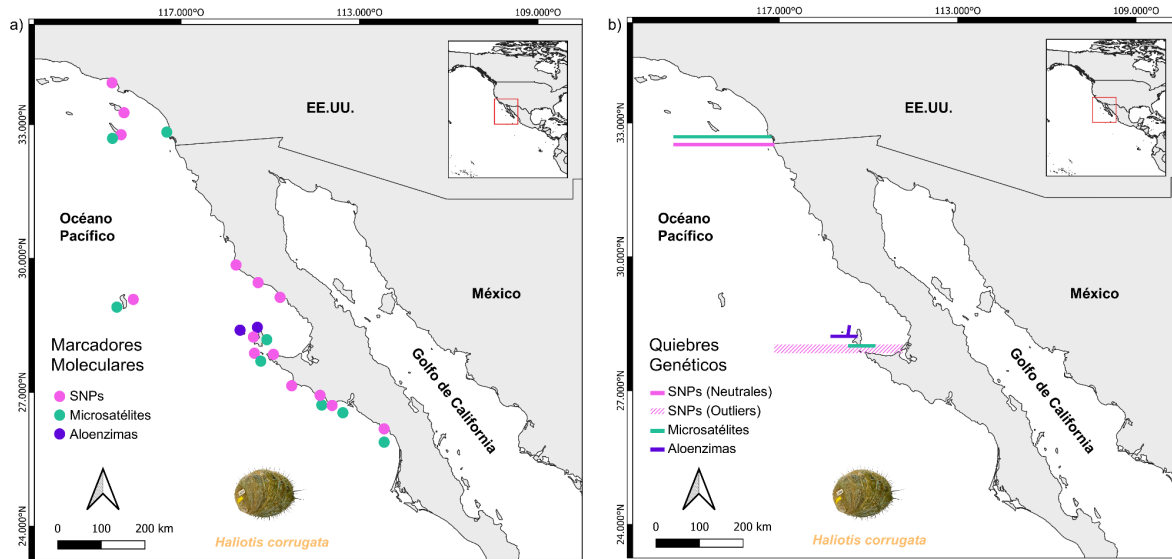


Figura 61. Comparativa de la cobertura espacial entre los estudios con distintos marcadores moleculares (a) y los respectivos quiebres genéticos del abulón amarillo (b).

2.2 Trazabilidad

2.2.1 Identificación de especies de abulón

La aplicación y regulación de la ley en la trazabilidad de productos pesqueros promueven la legalidad y previenen actividades ilegales, tales como la pesca no reglamentada, el etiquetado incorrecto y prácticas fraudulentas como la sustitución de alimentos (Oceana, 2019; Rodríguez-Ramírez et al., 2011). Esto garantiza la protección de consumidores, productores y especies en peligro.

La trazabilidad se establece en tres niveles: la identificación de especies, la rastreabilidad del origen geográfico y el seguimiento de la cadena de suministro (Ogden, 2008). A través del empleo de herramientas moleculares, se buscan marcadores genéticos o segmentos de ADN para rastrear la huella genética de las diversas unidades de pesca o especies de interés comercial, permitiendo la identificación de individuos, poblaciones y/o especies. Este análisis se realiza

examinando únicamente una pequeña parte del organismo o producto de una manera rápida y rentable (Larraín et al., 2019; Negrini et al., 2008; Wilson et al., 2018).

En el ámbito del comercio del recurso abulón, cuyo producto se presenta principalmente en enlatado (90%) en México (CONAPESCA 2024; CONAPESCA & SEPESCABC 2018), se ha registrado la sustitución de especies o la incorporación de otras de menor valor. Diversos análisis genéticos han revelado que el recurso abulón frecuentemente es sustituido por la lapa gigante (*Megathura crenulata*) y el loco chileno (*Concholepas concholepas*), en productos enlatados etiquetados como “abulón” (Aguilera-Muñoz et al., 2008; Aranceta-Garza et al., 2011). Además, se han detectado otras prácticas fraudulentas relacionadas con este valioso recurso, como la omisión del nombre científico en las etiquetas o el uso de fotografías de abulones para productos etiquetados como “Tipo abulón” el producto (Figura 62). Por estas razones, la verificación de las normas de etiquetado se convierte en un aspecto crucial para consumidores, productores y autoridades.

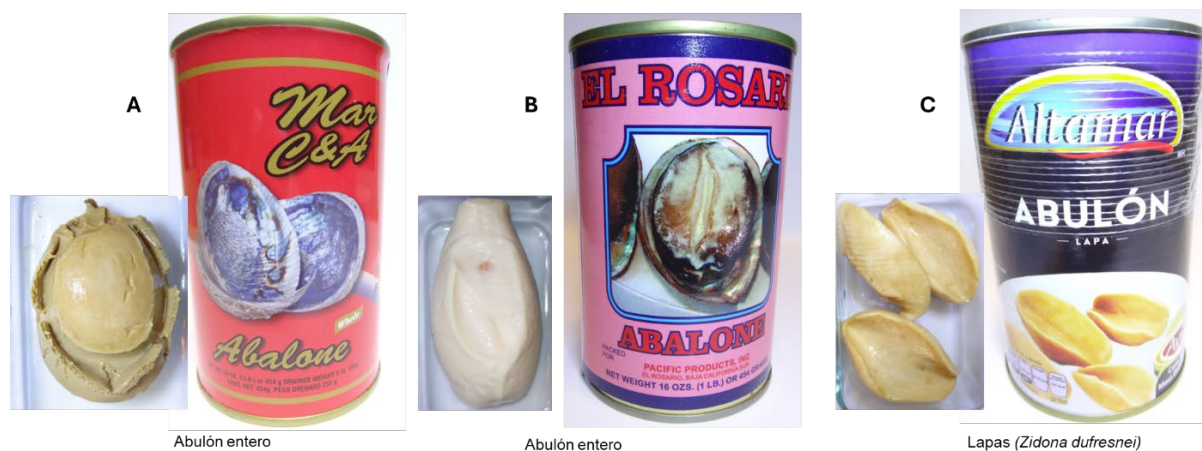


Figura 62. Fotos de callo y lata de productos enlatados con etiqueta que sugiere contener abulón. A: Se observa callo característico a una especie de abulón, pero en la etiqueta indica que contiene abulón entero, pero no indica la especie. B: Se observa callo característico a una lapa gigante, pero en etiqueta solo menciona contener abulón entero sin indicar la especie. C: Se observan callos característicos a lapas, en la etiqueta dice “Abulón” en letra grande y debajo “Lapa” con letra muy pequeña, a diferencia de A y B, si mencionan la especie que contiene el producto “*Zidonia dufresnei*”.

ESTUDIOS GENÉTICOS PARA LA CONSERVACIÓN

Los marcadores de Polimorfismo de un solo nucleótido, comúnmente conocidos como SNP por sus siglas en inglés, son ampliamente utilizados en la identificación de especies. En el caso de abulón, se han identificado 1,127 SNP y un panel reducido altamente informativo de 66 SNP, los cuales son capaces de discriminar entre cinco de las seis especies que se encuentran en aguas mexicanas (Vargas-Peralta et al., 2022) (Figura 63). Estos marcadores permiten identificar con éxito las especies de mayor captura, como el abulón amarillo y azul, así como el abulón rojo el cual principalmente es producido por acuicultura. Además, logran distinguir al abulón negro, especie cuyo comercio está prohibido con los Estados Unidos ya que esta enlistado en el *Acta de Especies en Peligro de Extinción* (*Endangered Species Act*, ESA) desde 2009 (NMFS 2021; NOAA 2023). Por otra parte, también se identifica al abulón pinto/rayado, especie que no está contemplada en la normativa mexicana para su captura (Secretaría de Pesca (1987); DOF 1994). La pesca de esta última especie resulta, por lo tanto, ilegal.

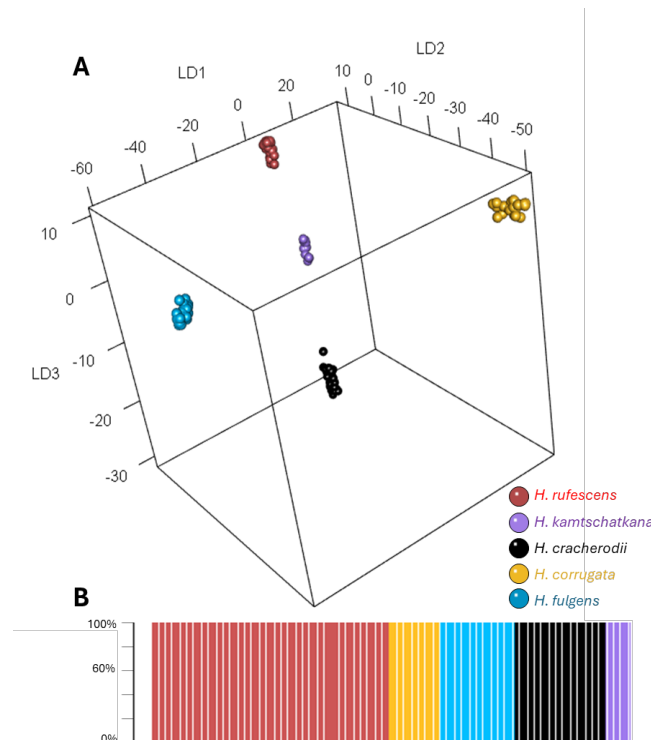


Figura 63. Identificación de especies de abulón con marcadores SNP. A: Muestra como los marcadores agrupan por especie cada abulón analizado. B Se muestra el porcentaje de asignación de cada abulón analizado con la especie a la que pertenece (Figura tomada y modificada de Vargas-Peralta et al., 2022).

2.2.2 Asignación de poblaciones de origen en especies de abulón

Los estudios genéticos permiten determinar la diversidad y estructura de las poblaciones naturales y de cultivo. Estos estudios cuantifican la acumulación de la variación genética a lo largo del genoma a través de las generaciones, tanto en regiones neutrales como no neutrales, incluyendo aquellas adaptativas (Anderson 2010). Esta información genética es especialmente útil para identificar la procedencia geográfica de individuos en una población de una región específica, conocida como asignación de origen geográfico, siempre y cuando estas poblaciones sean lo suficientemente genéticamente distintas. Un ejemplo de ello se ha observado en el caso del abulón amarillo (Mares-Mayagoitia et al., 2021, 2024) y el abulón azul (Mejía-Ruíz et al., 2020, 2023).

Por ejemplo, en el caso del abulón azul se han identificado grupos de marcadores tipo SNPs (50-1,000 SNPs) para la asignación de organismos a una de sus potenciales tres poblaciones (Mejía-Ruíz et al., 2023). Es decir, un abulón seleccionado al azar o como en el caso de la pesca furtiva o productos comerciales puede ser evaluado y estimar la probabilidad de su población de origen. De manera general se cuenta con una elevada precisión >75% en las asignaciones de manera global para todas las poblaciones. Y en particular las asignaciones a las poblaciones de Isla Guadalupe y el grupo costero sur presentan asignaciones entre el 72% al 100%. Mientras que el grupo costero norte presenta asignaciones entre el 3% al 89% (Figura 64).

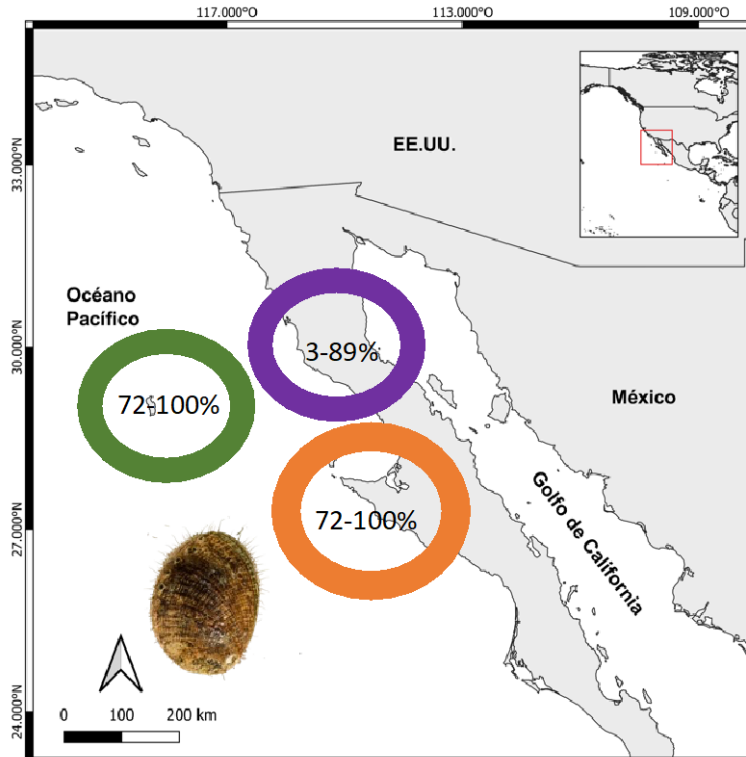


Figura 64. Porcentaje de precisión de asignación a poblaciones de origen en el abulón azul partir de 50 a 1,000 SNPs (Mejía-Ruiz et al., 2023).

Estos estudios han desarrollado un considerable número de marcadores SNP, herramientas poderosas para trazar estas especies. Estos marcadores no solo facilitan la identificación de especies, sino que también permiten asignar el origen geográfico de los individuos (Mares-Mayagoitia et al., 2021, 2024; Mejía-Ruiz et al., 2020, 2023; Vargas-Peralta et al., 2022). Sin embargo, es necesario destacar que su aplicación y monitoreo continuo son esenciales, tanto para el comercio como para establecer medidas de manejo efectivas del recurso abulón, garantizando así su pesca sustentable.

Conclusiones

Las investigaciones plasmadas en el presente documento en su mayoría han sido realizadas a partir de proyectos de investigación por parte de los Centros Públicos

(CPIs) de Investigación del Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) como lo son el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR) y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). La finalidad de los proyectos ha sido la generación de conocimiento básico y aplicado para la conservación y manejo del recurso abulón en México.

Como se puede evidenciar los principales resultados han establecido la línea base para establecer las fronteras poblacionales de las principales especies de abulón que sostienen la pesquería y por ende a comunidades, cooperativas y familias que dependen de esta actividad. Este primer punto es un aspecto básico que debe incidir en la forma en que se cuantifica la proporción de organismos que se pescan año con año. De la misma manera se han desarrollado información que útil para la trazabilidad, inspección y vigilancia del recurso abulón. Ahora se puede tener certidumbre de las especies de abulón en el mercado además se puede evaluar la población de origen de los abulones. Estos elementos denotan la importancia de los proyectos de investigación y de los CPIs trabajando en aspectos relevantes de la sociedad.

Importancia social

El abulón es un recurso pesquero emblemático en la región de la Península de Baja California, que sostiene económica y socialmente a numerosas comunidades pesqueras. Sin embargo, factores como la sobrepesca, el cambio climático y la pesca ilegal han reducido significativamente sus poblaciones, poniendo en riesgo la viabilidad de esta actividad y el bienestar de las familias que dependen de ella. Este manuscrito resalta el papel crucial de los estudios genéticos y genómicos para apoyar un manejo pesquero más sostenible e informado. Al identificar la estructura poblacional del abulón y su adaptación local, la información generada permite ajustar las estrategias de manejo a las realidades biológicas del recurso, superando limitaciones de los modelos tradicionales de stock. Además, el

desarrollo de herramientas de trazabilidad genética combate el fraude comercial, protege a los consumidores y asegura el cumplimiento de normativas, fortaleciendo la competitividad y la confianza en el mercado. En conjunto, estas investigaciones ofrecen una base científica para políticas de conservación efectivas, promueven la equidad en la comercialización del recurso y apoyan la resiliencia socioeconómica de las comunidades costeras. Este enfoque integrador subraya cómo la ciencia puede tener un impacto directo y tangible en el desarrollo social y la sostenibilidad de las pesquerías regionales.

Perspectivas

Las evaluaciones de diversidad genómica en recursos pesqueros en México aún son incipientes. Se requiere tomar en consideración los conceptos y procesos ecológico-evolutivos de los recursos pesqueros para contar brindar recomendaciones para su conservación y manejo. Principalmente, identificar composición espacial de las poblaciones/stocks pesqueros el cual es un insumo clave para los evaluadores de stock. Esto a su vez se debe traducir en estimaciones más precisas de las tasas de explotación de los recursos pesqueros.

Literatura Citada

- Aguilera-Muñoz, F., Valenzuela-Muñoz, V. y Gallardo-Escárate, C. (2008). Authentication of commercial Chilean mollusks using ribosomal internal transcribed spacer (ITS) as specie-specific DNA marker. *Gayana* (Concepción), 72(2), 178–187. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382008000200007>
- Anderson, E.C. (2010). Assessing the power of informative subsets of loci for population assignment: standard methods are upwardly biased. *Molecular Ecology Resources*, 10(4), 701–710. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02846.x>
- Aranceta-Garza, F., Perez-Enriquez, R. y Cruz, P. (2011). PCR-SSCP method for genetic differentiation of canned abalone and commercial gastropods in the Mexican retail market. *Food Control*, 22(7), 1015–1020. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.025>

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

- Auad, G., Roemmich, D. y Gilson, J. (2011). The California Current System in relation to the Northeast Pacific Ocean circulation. *Progress in Oceanography*, 91, 576–592.
- CONAPESCA. (2021). Anuario estadístico de Acuacultura y Pesca. https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2021.pdf
- CONAPESCA. (2024). Producción pesquera por estado. SIAP- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. http://www.campomexicano.gob.mx/raw_pesca_gobmx/seccionar.php
- CONAPESCA, S. S., & SEPESCABC, 2018. (2018). Informe estadístico Resumen Anual de Producción Pesquera y Acuícola de Baja California. <https://www.ceieg.bajacalifornia.gob.mx/wp-content/uploads/2023/01/Produccion-Pesquera-y-Acuicola-por-especi.pdf>
- Del Río-Portilla, M.A., y González-Avilés, J.G. (2001). Population genetics of the yellow abalone, *Haliotis corrugata*, in Cedros and San Benitos islands: a preliminary survey. *Journal Shellfish Research*, 20, 765–770.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (1994). Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Miércoles 16 de marzo de 1994. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4678590&fecha=16/03/1994
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2023) Carta Nacional Pesquera, Pub. L. No. 21/07/2023, Acuerdo mediante el cual se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. 1 (2023). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/842686/Carta_Nacional_Pesquera_2023.pdf
- Díaz-Viloria, N., Cruz, P., Guzmán-Del Prío, S.A. y Perez-Enriquez, R. (2009). Genetic connectivity among pink abalone *Haliotis corrugata* populations. *Journal of Shellfish Research*, 28(3), 599-608. Doi: <https://doi.org/10.2983/035.028.0324>
- Durazo, R. (2015). Seasonality of the transitional region of the California Current System off Baja California. *Journal Geophysical Research: Oceans*, 120, 1173–1196.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) Publicado el 21/07/2023. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Disponible en línea:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/842686/Carta_Nacional_Pesquera_2023.pdf

FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>

Geiger, D.L. & Owen, B. (2012). Abalone: Worldwide Haliotidae. Hackenheim: Conchbooks. viii + 361 pp. [29 February 2012].

Gutiérrez-González, J.L., Cruz, P., Del Rio-Portilla, M.A. y Pérez-Enríquez, R. (2007). Genetic structure of green abalone *Haliotis fulgens* population off Baja California, México. *Journal Shellfish Research*, 26, 839–846.

Larraín, M.A., González, P., Pérez, C. y Araneda, C. (2019). Comparison between single and multi-locus approaches for specimen identification in *Mytilus* mussels. *Scientific Reports*, 9(1), 19714. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55855-8>

Lowe, W.H., Kovach, R.P. y Allendorf, F.W. (2017). Population genetics and demography unite ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 32, 141-152.

Mares-Mayagoitia, J.A., De-Anda-Montañez, J.A., Perez-Enriquez, R., Mejía-Ruíz, P., Gutiérrez-González, J.L. y Valenzuela-Quiñonez, F. (2021). Neutral and adaptive population structure of pink abalone (*Haliotis corrugata*): fishery management implications. *ICES Journal of Marine Science*, 78, 1–13

Mares-Mayagoitia, J.A., Lafarga-De la Cruz, F., Micheli, F., Cruz-Hernández, P., de-Anda-Montañez, J.A., Hyde, J., Hernández-Saavedra, N.Y., Mejía-Ruíz, P., De Jesús-Bonilla, V.S., Vargas-Peralta, C.E. y Valenzuela-Quiñonez, F. (2024). *Journal of Heredity*, 20, 1–15. <https://doi.org/10.1093/jhered/esad083>

Mejía-Ruíz, P., Pérez-Enríquez, R., Mares-Mayagoitia, J.A. y Valenzuela-Quiñonez, F. (2020). Population genomics reveals a mismatch between management and biological units in green abalone (*Haliotis fulgens*). *PeerJ*, 8:e9722.

Mejía-Ruíz, P., Perez-Enriquez, R., Severin, A., Martínez-Rincón, R.O., Garza, J.C., Mares-Mayagoitia, J.A. y Valenzuela-Quiñonez, F. (2023). A novel diagnostic SNP panel for fishery management of green abalone (*Haliotis fulgens*). *Fisheries Research*, 266, 106786. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106786>

Munguía-Vega, A., Sáenz-Arroyo, A., Greenley, A.P., Espinoza-Montes, J.A., Palumbi, S.R., Rossetto, M. y Micheli, F. (2015). Marine reserves help preserve genetic diversity after impacts derived from climate variability: lessons from the pink abalone in Baja California. *Global Ecology and Conservation*, 4, 264–276

- Negrini, R., Nicoloso, L., Crepaldi, P., Milanesi, E., Marino, R., Perini, D., Pariset, L., Dunner, S., Leveziel, H., Williams, J.L. y Ajmone Marsan, P. (2008). Traceability of four European Protected Geographic Indication (PGI) beef products using Single Nucleotide Polymorphisms (SNP) and Bayesian statistics. *Meat Science*, 80(4), 1212–1217. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.021>
- Nielsen, E.E., Hemmer-Hansen, J., Larsen, P.F. y Bekkevold, D. (2009). Population genomics of marine fishes: identifying adaptive variation in space and time. *Molecular Ecology*, 18, 3128–3150.
- NMFS. (2021). NOAA Fisheries, ESA Threatened & Endangered. Abalone. <https://www.fisheries.noaa.gov/species-directory/threatened-endangered>
- NOAA. (2023). Southwest Fisheries Science Center. Abalone. <https://www.fisheries.noaa.gov/about/fisheries-resources-division-southwest-fisheries-science-center>
- Oceana. (2019). Fraude y sustitución en la comida del mar. www.gatoxliebre.org
- Ogden, R. (2008). Fisheries forensics: the use of DNA tools for improving compliance, traceability and enforcement in the fishing industry. *Fish and Fisheries*, 9(4), 462–472. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00305.x>
- Ovenden J.R., Berry, O., Welch, D.J., Buckworth, R.C. y Dichmont, C.M. (2015). Ocean's eleven: a critical evaluation of the role of population, evolutionary and molecular genetics in the management of wild fisheries. *Fish and Fisheries*, 16: 125–159.
- Ponce-Díaz, G., Arreguín-Sánchez, F., Hernández-Llamas, A., del Monte-Luna, P. y Ramade-Villanueva, M. (2013). Estimación de la captura ilegal de abulón y langosta en la costa de la península de Baja California. *Ciencias Marinas*, 39(3), 323–329. <https://doi.org/10.7773/cm.v39i3.2197>
- Rodríguez-Ramírez, R., González-Córdova, A.F. y Vallejo-Cordoba, B. (2011). Authentication and traceability of foods from animal origin by polymerase chain reaction-based capillary electrophoresis. *Analytica Chimica Acta Review*. 685, 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.11.021>
- Searcy-Bernal, R., Ramade-Villanueva, M. y Benito, A. (2010). Current Status of Abalone Fisheries and Culture in Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 29(3), 573–576.
- Spalding, M.D., Fox, H.E., Allen, G.R., Davidson, N., Ferdaña, Z.A., Finlayson, M., Halpern, B.S., Jorge, M.A., Lombana, A., Lourie, S.A. et al. (2007). Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57, 573–583.

- Valenzuela-Quiñonez, F. (2016). How fisheries management can benefit from genomics? Briefings in Functional Genomics, 15(5), 352–357. <https://doi.org/10.1093/bfgp/elw006>
- Vargas-Peralta, C.E., Araneda, C., Galindo-Sanchez, C.E., Larrain, M.A., Del Rio-Portilla, M.A. y Lafarga-De La Cruz, F. (2022). Species identification in *Haliotis* genus from the northeastern Pacific Ocean using genome-wide RAD-SNPs. Food Control, 138, 108979. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108979>
- Wilson, J., Matejusova, I., McIntosh, R.E., Carboni, S. y Bekaert, M. (2018). New diagnostic SNP molecular markers for the *Mytilus* species complex. PLoS ONE, 13(7), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200654>

Para citar esta obra:

Mares-Mayagoitia, J.A., C. E. Vargas Peralta, P. Mejía-Ruíz, F. Lafarga de la Cruz y F. Valenzuela-Quiñonez*. 2025. Estudios genéticos para la conservación y manejo de recursos pesqueros en el Noroeste de México: caso de estudio pesquería de abulón. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. (pp. 363-384). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 19

Impacto social de la pesca en las comunidades litorales del Alto Golfo de California

Eugenio Alberto Aragón-Noriega

aaragon04@cibnor.mx

Resumen

El noroeste de México es la región pesquera más importante del país, tanto en volúmenes de captura como en generación de riqueza. El desarrollo de este sector ha experimentado conflictos sociales por acceso a recursos, sobreexplotación de las especies, deterioro ambiental tanto natural como de origen humano. Para atender esta problemática, se han dedicado diversas investigaciones sobre la biología básica de los organismos que se capturan, las interacciones ecológicas y los diferentes componentes del sistema pesquero. Se busca contribuir con información técnica-científica robusta, para la toma de decisiones por parte de la autoridad pesquera. Con esta información el sector social de la pesca puede desarrollar estrategias para mejor aprovechamiento del recurso pesquero. Este capítulo aborda todos los aspectos arriba mencionados en la región del alto Golfo de California. Se presentan los resultados de la situación actual de especies tradicionalmente utilizados como recursos pesqueros. Entre los que destacan camarón y curvina y dos nuevas pesquerías que contribuyen a la actividad económica en la zona de estudio. La información que aquí se presenta fue obtenida mediante dos proyectos realizados por el autor. Uno de ellos fue financiado durante seis años por el ahora CONAHCYT. El proyecto tuvo dos fases de tres años cada una. El proyecto se intituló Bases socioeconómicas y biológicas para la explotación sustentable de los recursos pesqueros del Alto Golfo de California. El objetivo fue presentar ante la autoridad federal una evaluación del beneficio de la pesca en las

comunidades y mostrar una propuesta de compensación financiera a los pescadores ante el cierre de la pesca. El segundo proyecto fue financiado por los propios pescadores de sociedades cooperativas o permisionarios que se intituló Prospección y evaluación de nuevas áreas de aprovechamiento de la pesquería de almeja de sifón (*Panopea* spp) en la costa de Sonora, México y tuvo como objetivo presentar bases técnico-científicas ante la autoridad pesquera para que otorgara permisos de captura a los pescadores solicitantes.

Palabras clave: Almeja de sifón, comunidades indígenas, medusa bola de cañón, recursos pesqueros, totoaba

Abstract

Northwest Mexico is the most important fishing region in the country, both in terms of catch volumes and wealth creation. The development of this sector has been accompanied by internal problems, such as social conflicts over access to resources, overexploitation of species, and environmental degradation, both natural and human. To address this problem, has been devoted various investigations on the basic biology of the organisms that are caught, the relationships of the environments where they live and the different components of the fishing system, to contribute with robust technical information, both to decision-making by the fishing authority, as well as to investment planning and development strategies for the productive sector. This chapter discusses all the above aspects in the upper Gulf of California region. The results of the current situation of species traditionally used as fishery resources and two new fisheries that contribute to the economic activity of the study area are presented. The information presented here was obtained through two projects carried out by the author. One of them was financed for six years by CONAHCYT. The project had two phases of three years each one. The project was titled Socioeconomic and biological bases for the sustainable exploitation of fishing resources in the Upper Gulf of California. The objective was to present to the federal authority an evaluation of the benefit of fishing in the communities and show a

proposal for financial compensation to fishermen in the event of the closure of the fishery. The second project was financed by the fishermen themselves from cooperative societies or permit holders, which was titled Prospecting and evaluation of new areas for the use of the geoduck clam (*Panopea* spp) fishery on the coast of Sonora, Mexico, the objective of which was to present technical-scientific bases to the fishing authority to grant capture permits to the applicant fishermen.

Keywords: Geoduck clam, native people, cannonball jellyfish, fishery resources, totoaba

Introducción

La información que aquí se presenta fue obtenida directamente en el campo con visitas realizadas a las comunidades pesqueras. Alguna información fue adquirida por medio de entrevistas a los pescadores, otra información directamente de los libros de bitácora de cada organización pesquera y la información oficial de los avisos de arribo que resguardan las oficinas de pesca locales y pertenecen a la agencia federal de información pesquera, Conapesca. Las visitas a campo se realizaron con apoyo de un proyecto que fue financiado por el CONAHCYT en los años 2008 a 2011 y 2012 a 2015. El aviso de arribo es un documento en el que se reporta a la autoridad competente los volúmenes de captura obtenidos por especie durante una jornada o viaje de pesca. Se consiguieron fotocopias de avisos de arribo de las embarcaciones menores, así como el resumen y detalle mensual de la pesca artesanal desembarcada en las oficinas de pesca del Golfo de Santa Clara, y Puerto Peñasco, Sonora, así como San Felipe, Baja California. Se capturó la información de los avisos en hojas de cálculo del software Excel. La información que se capturó en la base de datos fueron los siguientes campos: número de folio, fecha, permisionario, lugar de captura, especie, volumen capturado y precio por kilogramo (pesos mexicanos) en playa. Utilizando las herramientas del programa mencionado se realizaron filtros de la información para obtener: Volúmenes de

captura por especie y ordenarlas en orden de importancia de este. En conjunto con el precio se filtró la información del valor de la captura por especie y se ordenó por este concepto a las especies más importantes. Así mismo se determinó la temporalidad de las capturas por especie y la participación de cada permisionario en el volumen total y por especie. Las entrevistas se hicieron en los sitios de reunión de los pescadores: La gasolinera, sitios de descarga y sitios para zarpar. Se optó por este tipo de información para no usar la encuesta formal ya que con la experiencia generada en las visitas de campo se sabe que la encuesta formal no es bien atendida en esa zona del territorio mexicano.

La importancia de la pesca

La explotación de los recursos pesqueros en el Alto Golfo de California (Puerto Peñasco, San Felipe y Golfo de Santa Clara) se convirtió, desde principios del siglo pasado, en el motor de crecimiento económico y demográfico de la región (Godínez-Plascencia 1993, pp. 13-14). En un principio fue la totoaba, misma que dejó de ser la base económica en la década de los 1940. Mientras que la captura de totoaba dejaba de ser la base económica regional, la captura de camarón pasa a ser la principal fuente de ingresos de la actividad pesquera, y hasta la fecha, un pilar importante de la economía de la región (Blanco-Orozco 2002, pp. 318-338).

Al correr de los años las actividades económicas se han diversificado en la zona y han tomado importancia actividades como el turismo y el comercio. Estas últimas, sin embargo, han sido más importantes en San Felipe y Puerto Peñasco (Godínez-Plascencia 1993, pp. 13-14). De las tres comunidades del AGC, Santa Clara es la que depende en mayor medida de las actividades pesqueras. De acuerdo con Godínez-Plascencia (1993, pp. 13-14) en 1990 la población ocupada en el sector pesquero representó el 74 por ciento del total. Con los resultados de este proyecto se obtuvo que la población ocupada en el sector pesquero es del 49 por ciento mientras que en San Felipe es del 15 por ciento. Es concluyente que hasta la fecha

la pesca es la actividad económica de mayor importancia en Santa Clara. En esta región destacan dos pesquerías por ingresos (volúmenes y precio por kilogramo).

La curvina golfina ocupa el segundo sitio en ingresos económicos, pero el primero por volumen. La pesca con redes de enmalle, cimbras y/o palangres fue restringida, desde 2015, en las comunidades del Alto Golfo de California bajo el argumento de proteger especies declaradas como de alto riesgo de extinción (Figura 65). Se busca describir el estado actual de la producción de pesquera de la flota ribereña del Alto Golfo de California y su importancia para las comunidades aledañas. Se obtuvo información de capturas por medio de los avisos de arribo y por visitas a sitios de desembarque. El periodo de datos estudiados va desde 1991 hasta 2018. Se obtuvo volúmenes de desembarques mensuales con los que se calculó la estacionalidad de las capturas. Se obtuvieron precios en playa para jerarquizar los recursos.

Hasta 2015 las principales pesquerías mantenían operaciones durante todo el año alternándose en cada mes según la temporalidad de cada recurso (Tabla 10). Antes del cierre de la pesca con redes de enmalle, cimbras y palangres. Las capturas más importantes en cuanto volumen eran de los peces (Tabla 11), pero el mayor valor provenía del camarón. Después de 2015 sólo curvina golfina se logró mantener como un recurso de la pesca ribereña que ha sostenido el movimiento económico de la región. Pero como alternativa surgió la pesca de medusa bola de cañón en la costa oriental del Golfo (costa continental) y la almeja de sifón en tanto en la costa occidental (costa peninsular) como oriental. La primera tiene como sede de desembarques pesqueros la comunidad de El Golfo de Santa Clara en Sonora y la segunda la comunidad de San Felipe en Baja California y en Puerto Peñasco, Sonora.

IMPACTO SOCIAL DE LA PESCA

Tabla 10. Estacionalidad de las capturas

Recurso	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Camarón	5%	1%							21%	38%	26%	9%
Curvina		2%	81%	13%	3%							
Chano				71%	28%							
Sierra				13%	65%	15%	1%	1%	3%	2%		
Tiburón				21%	12%	63%	2%	2%				
Manta	4%		2%	36%	50%	8%						

Fuente: Elaboración propia con base a la información de estadísticas pesqueras de la oficina de CONAPESCA en el Golfo de Santa Clara, Sonora.

Las capturas de curvina golfina se ubica entre febrero y mayo. Pero los meses de mayor abundancia son marzo y abril (Tabla 10). La pesca de curvina se realiza en los primeros días de las mareas vivas, después del primer y tercer cuarto lunar, en ciclos o periodos de dos a tres días. Los desoves están sincronizados con estos ciclos, y aparecen durante las mareas vivas entre febrero y abril. Esto puede ser el mayor reto que la pesca de curvina enfrentará para lograr la sustentabilidad ya que los recursos pesqueros que se realizan sobre agregaciones de desove han registrado colapsos en sus pesquerías (Erisman 2011, p. 1706). Por otro lado, a partir de 2011, la pesca de curvina presentó una demanda de los subproductos por separado. El pez entero (sin vísceras), la vejiga natatoria (llamada buche) y la gónada (Figura 66). Es importante notar que el kg de “buche” se ha elevado tanto en los últimos años y en 2018 llegó a venderse a 600 pesos/kg, lo que representó

el 50% del valor total del recurso curvina con 24.8 millones de pesos. Comparativamente con 2011 cuando era apenas el 16% con 7.6 millones de pesos.

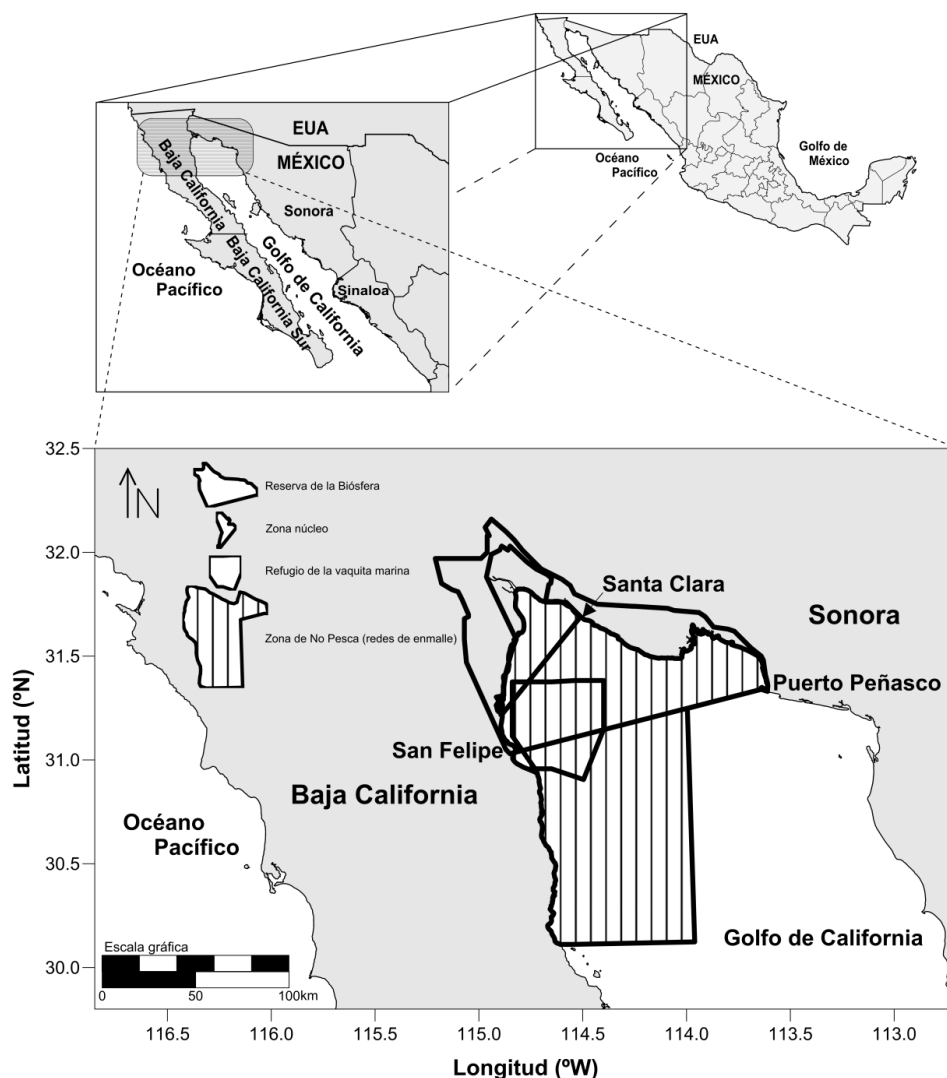


Figura 65. Reserva de la biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Se presentan las áreas restringidas a la pesca. Fuente: Elaboración propia con información publicada en el Diario Oficial de la Federación.

IMPACTO SOCIAL DE LA PESCA

Tabla 11. Jerarquización de los recursos por volumen de captura. Se presenta el valor del precio en playa.

Recurso	Captura (ton)	Valor (pesos)
Curvina	2318	22,209,343
Sierra	517	4,317,985
Chano	469	2,216,028
Camarón	295	32,438,932
Manta	53	525,537
Almeja	7	54,676
Tiburón	4	59,620
Lenguado	2	33,142

Fuente: Elaboración propia con base a la información de estadísticas pesqueras de la oficina de CONAPESCA en el Golfo de Santa Clara, Sonora.



Figura 66. Partes de curvina demandados por el mercado. Fuente: Elaboración propia con fotografías tomadas en campo.

Cuando las comunidades resentían el impacto financiero por la restricción de la pesca aparecieron dos recursos que se convirtieron en pesquerías importantes la medusa bola de cañón y la almeja de sifón. La medusa en 2017 y 2018 tuvo volúmenes de 36 y 50 mil toneladas en los meses de junio a agosto que generó una derrama superior a los 100 y 150 millones de pesos en ese periodo (menor a doce semanas). La almeja de sifón por otro lado generó empleo para tres pescadores por panga y por cada 4 pangas 2 personas en tierra recibiendo el producto. Esto es, la pesca de almeja de sifón generó 152 nuevos empleos directos en los grupos más vulnerables de la sociedad. Las comunidades del AGC dedicadas a la pesca ribereña han subsistido gracias a la diversificación de los productos de curvina y a la aparición de especies como la medusa bola de cañón y almeja de sifón.

El ambiente

El hábitat estuarino del Alto Golfo de California está resistiendo un trágico impacto ecológico causado por el represamiento del río Colorado. El Alto Golfo de California es el hábitat natural para muchas especies de importancia ecológica (Pez cachorrito del desierto) y económica como lo es la curvina golfina, así como especies que fueron importantes en la pesca, previo al represamiento del río, tales como la almeja *Mulinia* y el pez conocido como Totoaba.

En el año 1935, los Estados Unidos de Norteamérica construyeron la Presa Hoover, ubicada entre Arizona y Nevada, esta represa impide que casi ninguna cantidad del agua del Río Colorado llegue al Alto Golfo de California en México. Cuando un río de agua dulce desemboca en un cuerpo marino se produce un tipo de hábitat costero muy especial denominado Estuario, cuya salinidad es intermedia entre la salinidad del agua dulce y la salinidad del mar, lo que evolutivamente promueve la adaptación de especies especializadas a este hábitat.

IMPACTO SOCIAL DE LA PESCA

La salinidad de un hábitat estuarino sano se encuentra en los rangos de entre 20 y 25 unidades (gramos de sal por litro de agua) lo cual era lo prevaleciente en el Alto Golfo de California antes del represamiento del Río Colorado (Figura 67). Actualmente la salinidad en el Alto Golfo de California oscila entre 38 y 42 unidades, salinidades que no son características de ambientes de estuarios sanos, sino de ambientes marinos. La condición del estuario del Alto Golfo de California cambió radicalmente debido a la reducción severa de la descarga de agua dulce.

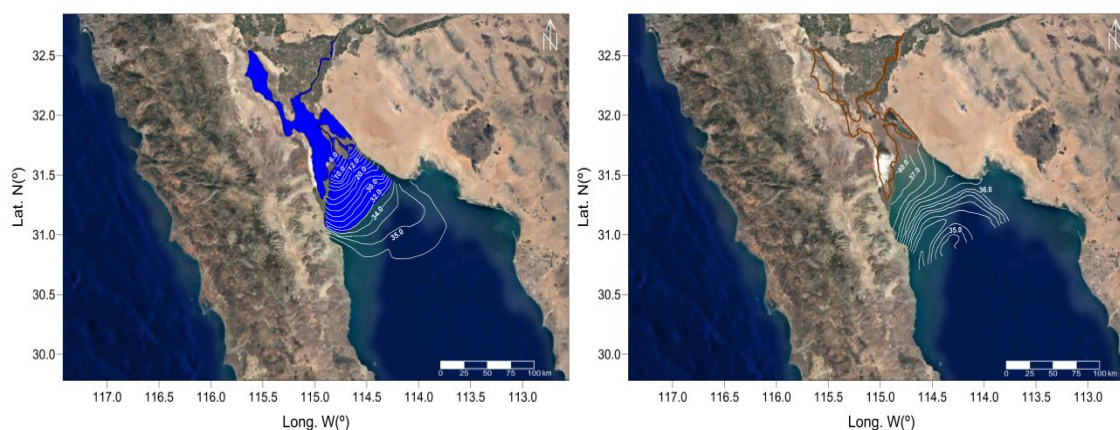


Figura 67. Efecto de agua dulce sobre la salinidad del mar. Fuente: Elaboración propia con información recolectada en campo.

Los efectos de la degradación de hábitat estuarino en el Alto Golfo de California han sido constatados en múltiples investigaciones, e incluye la severa afectación de especies estuarinas. Por ejemplo, el pez cachorrito del desierto (*Cyprinodon macularius*) es una especie de pez que sólo existe en la cuenca del Bajo Río Colorado (Fagan et al. 2007, p. 1878), pero en esta región se ha estimado que el 95% de su hábitat natural se perdió en siglo pasado después de los drásticos cambios que sufrió el cauce del Río Colorado por su represamiento por lo que está en peligro de extinción por la destrucción del hábitat causada al represar el Río Colorado. Especies comerciales también han sido impactadas por el represamiento del Río Colorado. La ahora casi extinta, almeja (*Mulinia coloradoensis*) fue estudiada

por medio de isotopos estables (Cintra et al. 2009, 298-299) y se concluyó que la falta de agua dulce en el Alto Golfo de California es la principal causa de que sus poblaciones hayan disminuido. Sobre Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) se hicieron análisis con isotopos estables y se concluyó que el flujo del Río Colorado fue un componente principal en su hábitat antes de la construcción de presas y la reducción del flujo del río. De hecho, científicos han demostrado que antes del represamiento, los juveniles de esta especie crecieron el doble más rápido y maduraron de 1-5 años más rápido que después del represamiento del río (Rowell, et al. 2008, pp. 62-64).

Si bien el camarón azul *Penaeus stylirostris*, como especie, vive en todo el Pacífico tropical, estudios científicos han demostrado que la zona del Alto Golfo de California es su área de desove y crianza, al igual que para la totoaba. Los resultados efectuados sobre camarón azul indican que cuando hay descargas anómalas de agua dulce hay más larvas y que por ende la pesca de adultos se incrementa (Aragón y Calderón 2000, pp. 268-270). La curvina golfina *Cynoscion othonopterus*, es otra especie de pez que también es exclusiva del Alto Golfo de California y también acontece lo mismo que en el caso de la totoaba, pero con desfaseamiento en el tiempo. Se requiere reconocer por parte de los Estados Unidos de Norteamérica que deben permitir el flujo de suficiente agua dulce para del río Colorado para satisfacer las necesidades agrícolas y urbanas de agua en el lado mexicano, más el flujo ecológico mínimo requerido para restaurar el hábitat estuarino del Alto Golfo de California.

El impacto en las comunidades indígenas

En la parte norte del Delta de Alto Golfo de California, pero principalmente en la comunidad conocida como El Zanjón, se ubica la Etnia Cucapá, quienes comparten la región, con kiliwas kumiais y cochimies desde hace aproximadamente 9000 años sus áreas de “ir y venir” como se definen en su dialecto y creencias se han extendido desde la parte sur del Estado de Baja California (Delta del Río Colorado) hasta la parte norte de lo que ahora se conoce como Mexicali. El nombre Cucapá es

empleado para denominar a un pueblo indígena que data de más de 6000 años antes de Cristo, pero no se tiene aún registro del significado de la palabra puesto que se han dado varias versiones sobre el significado. En el siglo XVII, unos 22000 indígenas habitaban en la región del río Colorado. Hoy solo quedan 1000 en la Reserva Indígena Cucapáh, al suroeste de Arizona, y poco más de 300 en México, distribuidos en Baja California y Sonora, según datos de la oficial Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.

Su lucha por los derechos al acceso pesquero por mantener sus tradiciones y costumbres ha sido cuestionada por los demás usuarios de la zona, pero las condiciones geofísicas le permiten el acceso al mar, y las posibilidades de desarrollar el comercio (Entrevista con Líder Mayor Hilda) por lo que sus tradiciones las siguen celebrando sin respetar las limitaciones jurídicas de ningún tipo, violentando los acuerdos de prohibición de pesca en la zona núcleo de la reserva. Al construirse una serie de presas sobre el río Colorado disminuyó el caudal por lo que las especies de flora y fauna fueron disminuyendo, dejando al pueblo Cucapá sosteniéndose principalmente de la pesca, pero agravando aún más su situación con el decreto de la Reserva de la Biosfera. Esto colocó a los indígenas Cucapá en una situación que los amenaza con desaparecer como pueblo, al convertir en un delito la actividad económica que les había permitido sobrevivir durante cientos de años como pueblos originarios de la región con una antigüedad de más de 6000 años. Actualmente los Cucapá están organizados bajo Sociedades Cooperativas, familiares en su mayoría, y en dos de ellas suman en total 11 miembros (no permisionarios) que no pertenecen a la etnia, pero participan conforme a las costumbres y tradiciones, así como el liderazgo de las presidentas de las Cooperativas. Cuentan con 111 permisos de pesca para el aprovechamiento de Curvina Golfina, que fue su principal fuente de ingresos hasta el cierre de esta pesquería en el 2015.

Disposiciones jurídicas

En general las sucesivas disposiciones jurídicas debieran de reforzar una esfera de acciones que se enfocaran a promover el desarrollo sustentable en la región. Lamentablemente es evidente que existe una serie de disposiciones jurídicas que se contradicen e inclusive se anulan entre ellas, lo cual pone en riesgo su efectividad. Para entender la contradicción de las aplicaciones jurídicas se tiene la ley o acto jurídico consecuente que se deroga o actualiza ante uno nuevo, en el caso de estudio, la contradicción se puede observar que las modificaciones realizadas para garantizar el acceso al uso de los recursos pesqueros. Desde el punto de vista de la ecología pesquera, el acceso se determina bajo los índices de aprovechamiento medurado en cuanto a la producción pesquera; pero los programas a la conservación están enfocados en lo absoluto a la sobrevivencia de las especies consideradas como amenazadas, por lo que ambas disposiciones jurídicas se contradicen completamente. Sin embargo, cuando se analiza la parte de actos jurídicos de aprovechamiento encontramos que en la aplicación de la gobernanza los actos jurídicos si son vinculantes y determinan una forma mesurada de aprovechamiento, pero podemos determinar que las regulaciones de conservación no integran, ni resuelven, de manera integral la parte económica de los pobladores locales poniendo en riesgo la sustentabilidad.

Lecciones aprendidas

La conservación es también un asunto socioeconómico. El establecimiento de medidas para proteger y conservar recursos naturales y específicamente pesqueros deberá necesariamente considerar en un mismo nivel de prioridades a los pobladores que hacen uso de esos recursos. El trabajo empírico aporta importantes elementos para analizar la actividad pesquera. Las entrevistas realizadas a pescadores ribereños y los avisos de arribo de embarcaciones menores son fuentes de información complementarias para el análisis de la actividad pesquera en el alto golfo de California. Cada fuente ofrece elementos que resultan importantes al

momento de analizar la actividad y describir los aspectos que pueden dar una idea general del estado que guarda la pesca actualmente en esas comunidades. A pesar de que cada una de las fuentes tiene algunas limitantes, éstas pueden ser minimizadas con la complementariedad de ambas.

El trabajo de campo para obtener información socioeconómica requiere del reconocimiento de los planteamientos hechos por los pescadores. Se pudo observar que durante el trabajo de campo con los pescadores manifestaron opiniones que salen del marco de esta, pero que, sin embargo, son importantes para entender el contexto en el que se desarrolla actualmente la actividad pesquera en la región. La entrevista informal con los pescadores es una buena herramienta para recopilar argumentos propositivos en cuanto a la forma en que se debe manejar la actividad pesquera.

Conclusiones

Derivado de la presente investigación se puede concluir que en cuanto a la pesca de almeja de sifón se atendieron once solicitudes de investigación para pesca de fomento. Esta pesquería ha permitido generar empleos a personas del sector social y privado; organizados en cooperativas, empresas o permisionarios. El impacto del proyecto radicó en la detección de bancos de pesca, así como la evaluación de su biomasa para coadyuvar con las autoridades a emitir los permisos de pesca correspondientes. De las once solicitudes permisos de Pesca de Fomento de grupos de la población más vulnerable de la sociedad se tuvo en total de la población atendida muy en particular para estos casos son tres pescadores por panga y por cada 4 pangas se tiene 2 personas en tierra recibiendo el producto. Esto es, por la presente investigación se obtuvo la generación de 152 nuevos empleos directos en los grupos más vulnerables de la sociedad.

En cuanto al resto de las pesquerías se visibilizó ante autoridades que se capturan más de siete millones de kilos de alimento de origen marino que por su valor (precio por kilogramo) está destinado a la población más vulnerable del país. La propuesta de suspender esta producción de alimento es contradictoria a la política gobierno federal de reducir la pobreza alimentaria. En las páginas oficiales de la cruzada contra el hambre se destaca que se están apoyando a millones de personas en pobreza extrema. Al suspender la pesca con redes de enmalle, cimbras y palangre, se dejó de producir el alimento destinado al segmento más pobre de la población mexicana. Los productos de origen marino son mucho más ricos en proteína por unidad de peso que cualquier otro producto de origen animal y son mucho más baratos por kilogramo en comparación con otros alimentos como carnes rojas y blancas. Derivado de esta parte del proyecto se logró que el gobierno mexicano aplicará una compensación económica acorde al verdadero impacto que el cierre de la pesca generó. En particular se destaca que fueron dos mil familias las afectadas por el cierre de la pesca y así mismo las beneficiadas con los apoyos financieros como compensación financiera.

Importancia social

Tal como han sido conceptualizadas las Reservas de la Biosfera, estas Áreas Naturales Protegidas debieran no solo garantizar la conservación de la biodiversidad que albergan, sino también contribuir a la elevación del nivel de vida de los pobladores locales. De hecho, a nivel mundial, las primeras Reservas de la Biosfera mexicanas se habían destacado por el involucramiento en la conservación de los pobladores locales al redundar la misma en beneficios directos para ellos.

Este no es definitivamente el caso actual de Reserva en la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río de Colorado. En esta reserva existen graves conflictos económicos y sociales, derivados de la restricción al uso de los recursos naturales existentes en la misma, y que habían sido utilizados por los pobladores

locales e inclusive por etnias precolombinas de manera ancestral. La limitación al acceso a estos recursos naturales ha generado tanto quejas formales ante organismos de derechos humanos internacionales como eventos de violencia extrema manifestados en la quema de vehículos oficiales (Anónimo 2017). Indudablemente la ineficaz gobernanza en esta región es el origen de todos estos graves conflictos, y ello tiene que ver con las actuales disposiciones jurídicas que actualmente determinan el acceso a los recursos naturales en esta zona. Por lo cual, la solución de estos problemas radica en un análisis interdisciplinario.

En el 2015 se ofreció la subvención a los pescadores de la región con el objetivo de que abandonaran sus tradicionales actividades de pesca y se dedicaran a otras actividades económicas alternas. Los pescadores que se integraron a la prestación de servicios turísticos ampliaron sus oportunidades, pero no significó que dejaran su actividad primaria que es la Pesca. Ello debido a que en este programa solo se tomó en cuenta a los permisionarios que tenían un ingreso para generar una empresa turística (datos que se obtuvieron mediante entrevistas personales a participantes en el Programa). La aplicación de tales programas llevó hasta el cierre casi total de la pesca. El 10 de abril del 2015 se decretó una veda total, con la excepción de la curvina golfina, especie que se encuentra bajo manejo por cuotas. La razón por la que el pescador defiende, incluso de manera violenta, su actividad también es índole financiera. Con la prohibición de la pesca se han buscado actividades alternas de trabajo. Por medio de las preguntas realizadas a los pescadores se obtuvo el ingreso semanal promedio por año por pescador donde la media del ingreso por la pesca es 1975 ± 715 pesos, mientras que una actividad alternativa genera un ingreso 985 ± 397 pesos; queda claro que los ingresos generados por la pesca son el doble redituable que cualquier otra actividad ejercida; A pesar de que las pesquerías han variado desde décadas y al decaer las especies dirigidas llega el auge de otras, mismas que hemos mencionado en el transcurso del escrito, lo importante es que siempre han sido el respaldo económico de las pobladores principalmente de los del Golfo de Santa Clara.

Perspectivas

Este tipo de proyectos deben ser promovidos entre las instituciones y sociedad en general, interesada en la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Se debe plantear los resultados obtenidos a las instituciones oficiales para lograr un consenso que fomente los resultados de las expectativas que tienen los pescadores ribereños ante una posible afectación a los recursos pesqueros ya que con esto se podrá tomar una decisión que tenga expectativas de continuidad y no un simple hecho efímero que pierda su objetivo cuando los pescadores no tengan actividad que realizar. Es necesario reconocer que miles de personas (pescadores en el mar y mujeres y niños en casa) dependen de la pesca. Para ellos no hay un salario semanal que el jefe de familia lleve a casa. Si no pescan nada en el mar, simplemente no hay comida ese día y no hay pescados para vender y por tanto no hay dinero para los pagos de luz, agua y servicios médicos de la familia.

Con resultados como el del presente proyecto se busca saber el estado actual de la producción pesquera de la flota ribereña del alto golfo de California. Describiendo la distribución, en cuanto a lugares y meses de cuando son capturadas las especies que los pescadores buscan como alimento ya sea de ellos y sus familias o el que venden en los mercados a los que acudimos nosotros mismos a comprar el pescado para comer. Nos interesa saber también cuáles son las necesidades ambientales de las especies que ellos pescan y las posibles alternativas para cambiar de técnicas de pesca y ellos no dejen de pescar las mismas cantidades de peces y a la vez las técnicas sean amigables con el ambiente y no causen daños al mismo. Si logramos entender como responden las especies a los cambios en el ambiente podemos ayudar a los pescadores a que sigan teniendo acceso a los alimentos, esa es la perspectiva del estudio que aquí se describe.

Literatura citada

- Anónimo (2017). (9 de marzo de 2017). Pescadores queman vehículos de Conapesca en Golfo de Santa Clara. El Universal. <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2017/03/9/pescadores-queman-vehiculos-de-conapesca-en-golfo-de-santa-clara>
- Erismán, B.E., L.G. Allen, J.T. Claisse, D.J. Pondella II, E.F. Miller y J.H. Murray (2011). The illusion of plenty: hyperstability masks collapses in two recreational fisheries that target fish spawning aggregations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 68, 1705-1716. <https://doi.org/10.1139/F2011-090>
- Aragón-Noriega E.A. y L.E. Calderón Aguilera (2000). Does damming of the Colorado River affect the nursery area of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in the Upper Gulf of California? *Revista de Biología Tropical* 48(4), 867-871.
- Cintra-Buenrostro, C.E., K.W. Flessa y G. Ávila-Serrano (2009) Who Cares About a Vanishing Clam? Trophic Importance of *Mulinia coloradoensis* Inferred from Predatory Damage *PALAIOS* 20(3), 296-302.
- Rowell, K., C. True, K.W. Flessa y D.L. Dettman (2008). Peces sin agua: Validación y aplicación de $\delta^{18}\text{O}$ en los otolitos de *Totoaba macdonaldi*. *Ciencias Marinas* 34(1), 55–68.
- Fagan, W.F., C.M. Kennedy y P. J. Unmack (2005). Quantifying Rarity, Losses, and Risks for Native Fishes of the Lower Colorado River Basin: Implications for Conservation Listing. *Conservation Biology* 19(6), 1872–1882
- Blanco Orozco, M.L. (2002). Pobreza y explotación de los recursos pesqueros en el Alto Golfo de California. En: R.E. Morán Angulo, M.T. Bravo, S. Santos Guzmán y J.R. Ramírez Zavala (Eds.), *Manejo de Recursos Pesqueros*. (pp. 318-338). Culiacán, México: Editorial Universidad Autónoma de Sinaloa
- Godínez Placencia J.A. (1993). Debe vedarse la pesca en el Alto Golfo. *Ciclos* 9(2), 13-14.

Para citar esta obra:

Aragón-Noriega, E.A. 2025. Impacto social de la pesca en las comunidades litorales del Alto Golfo de California. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 385-403). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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

earazo04@cibnor.mx

Resumen

El presente capítulo, muestra el papel que la pesca artesanal en Sonora representa como una actividad importante que sostiene varias comunidades. En el caso de la etnia Yaqui, dentro de su territorio y pueblos tradicionales se encuentran las comunidades de Las Guásimas y Lobos; estos asentamientos se ubican en la franja litoral, y para su sustento dependen exclusivamente de los recursos pesqueros como camarón, jaiba y medusa bola de cañón, considerados como los más importantes. El presente estudio tiene como objetivos, conocer la producción de las principales especies pesqueras para la etnia Yaqui, su variabilidad interanual, importancia económica, su aportación en la captura total del estado de Sonora, y la tendencia de las capturas hacia el futuro. Utilizando información de las capturas procedentes de los avisos de arribo proporcionados por CONAPESCA de la etnia Yaqui; se realizaron análisis de capturas en el tiempo, se determinó el aporte tanto en valor comercial, así como en el volumen de captura total del estado de Sonora, y se estimó la tasa de captura por recurso pesquero. Finalmente, utilizando el modelo ARIMA, se analizaron series de tiempo de capturas con proyecciones hasta 2050 (27 años). La captura de camarón fue cíclica entre los años, comportamiento diferente observado para jaiba y medusa. Las capturas de jaiba fueron bajas entre 2003 y 2012, posterior a este periodo se observó un aumento, con valores desde

365 a 969 toneladas. La medusa aportó mayores volúmenes de captura, sin embargo, en términos económicos, fue más importante la jaiba. Se considera que la aportación de las comunidades Yaquis es significativa para la captura total del estado de Sonora, ésto debido a que se trata de una sola Sociedad Cooperativa. El índice de captura para el camarón mostró variaciones cíclicas, con alzas y bajas a través de los años; para la jaiba, entre el año 2000 y 2008 el índice se aproximó a cero, mostrando disminución de la captura y posteriormente mostró tendencias positivas; para la medusa, el índice mostró tasas de decaimiento a partir de 2014, que es cuando esta pesquería había alcanzado los mayores valores positivos. De acuerdo con modelo ARIMA, las capturas de camarón se mantendrán fluctuantes y las de jaiba constantes al menos hasta el 2050, destacando que no habrá disminuciones con lo que se mantendrán los ingresos económicos para las comunidades Yaquis.

Palabras clave: Comunidad Yaqui; recursos pesqueros; camarón; jaiba; medusa bola de cañón

Abstract

This chapter shows the role that artisanal fishing in Sonora represents as an important activity that sustains several communities. In case of the Yaqui ethnic group, within their territory and traditional towns are the communities of Las Guásimas and Lobos; these settlements are located on the coastal strip and depend exclusively on fishery resources for their livelihood such as shrimp, swimming crab, and cannonball jellyfish, considered the most important. The objectives of this study are to know the production of the main fishery species for the Yaqui ethnic group, their interannual variability, economic relevance, their contribution to the total catch of the state of Sonora, and the trend of catches in the future. Using information of the catches from the arrival notices provided by CONAPESCA of the Yaqui ethnic group, analyses of catches over time were carried out, the contribution in commercial value was determined, as well as in the total catch volume of the state of Sonora,

and the catch rate per fishery resource was estimated. Finally, using the ARIMA model, time series of catches were analyzed with projections up to 2050 (27 years). The shrimp catch was cyclical between years, a different behavior observed for the swimming crab and jellyfish. Swimming crab catches were low between 2003 and 2012, after this period an increase was observed, with values ranging from 365 to 969 tons. Jellyfish contributed higher catch volumes, however, in economic terms, the swimming crab was more important. It is considered that the contribution of the Yaqui communities is significant for the total catch of the state of Sonora since they are only one Cooperative Society. The catch index for shrimp showed cyclical variations, with ups and downs through the years; for the swimming crab, between 2000 and 2008 the index was close to zero, showing a decrease in the catch and later showed positive trends; for jellyfish, the index showed declining rates starting in 2014, which is when this fishery had reached the highest positive values. According to the ARIMA model, shrimp catches will remain fluctuating, and swimming crab catches constant at least until 2050, highlighting that there will be no decreases, thus maintaining economic income for Yaqui communities.

Keywords: Yaqui community; fishery resources; shrimp; brown swimming crab; cannonball jellyfish

Introducción

La gran variedad de ambientes y hábitats presentes como bahías, lagunas costeras, zonas de manglares y procesos oceanográficos de pequeña, mediana y gran escala, hacen del Golfo de California una zona con una gran biodiversidad, una alta productividad biológica y una riqueza de recursos pesqueros que es de resaltar (Enríquez-Andrade et al., 2005, p. 32; Lluch-Cota et al., 2007, p. 20).

Con base en lo anterior, el estado de Sonora ocupa el primer lugar en producción pesquera a nivel nacional, siendo los recursos sardina, camarón, jaiba y medusa los más importantes en cuanto a su valor y volumen de producción (Comisión Nacional

de Acuacultura y Pesca [CONAPESCA], 2021, p. 131). Su sector pesquero lo conforman dos tipos de flota, la de altura o altamar, conformada por embarcaciones mayores y la ribereña o artesanal integrada por embarcaciones menores. La flota de altamar tiene mayor registro en volumen de producción de pesca por recursos como los pelágicos menores, entre los que figuran, por ejemplo, diferentes especies de sardina, sin embargo, la flota ribereña captura especies de mayor valor comercial, como lo es el camarón. La pesca ribereña nacional, cobra relevancia por su aporte del 31.03 % del volumen total y, además, representa el 75.9 % en términos de valor económico, haciendo de ésta una actividad importante desde un punto de vista socio-económico (Contreras, 2002).

La región sur del estado de Sonora se caracteriza por la presencia de sistemas estuarinos donde una de las principales actividades es la pesca. Destacando los del sur de Guaymas por ser áreas de importancia para la crianza del camarón azul (*Penaeus stylirostris*), de las jaibas azul (*Callinectes arcuatus*) y café (*C. bellicosus*), la medusa “bola de cañón” (*Stomolophus* sp2.), las mojaras *Eugerres axillaris* y *Eucinostomus entomelas* y la lisa (*Mugil cephalus*), especies de importancia económica en la zona (Yepiz, 1990, p. 168; Hernández y Arreola, 2000). A este respecto, hay registro de actividad pesquera por embarcaciones mayores y menores, en zonas adyacentes y/o al interior de éstos sistemas lagunares y esteros capturando principalmente camarón, jaiba y medusa bola de cañón. Propiciando que las comunidades establecidas en las colindancias de estos sistemas muestren interés sobre estas especies como una alternativa de mejora económica (Alcántara-Razo et al., 2019, p. 237).

Este conjunto de sistemas estuarinos del sur de Guaymas está delimitado e integrado al norte por la laguna costera de Las Guásimas y al sur por la de Bahía de Lobos, y entre estas dos se encuentran alrededor de 26 esteros, siendo los de mayor importancia el Estero de La Luna, El Siuti, El Camapochi, Los Algodones y Las Cruces, todo esto dentro del territorio indígena de la tribu Yaqui. Esta área es zona de crianza de algunas especies con importancia pesquera y otras protegidas.

Este complejo de sistemas lagunares, presenta también una gran diversidad de especies asociadas a este tipo de ecosistemas por lo que está considerado dentro de los sitios RAMSAR debido a sus características estructurales presentes (Carrera-González, 2008, pp. 2-3).

La etnia Yaqui incursionó en la pesca a mediados del siglo XX cuando integrantes de su comunidad eligieron la pesca como actividad primordial para el bienestar de sus familias. Esta elección surge porque sus aguas albergaban especies de importancia comercial, en especial el camarón, y es a consecuencia del incremento en las capturas de esta especie de alto valor comercial, que generó más interés dentro del grupo étnico (Acosta, 2002, p. 14; Moctezuma-Zamarrón, 2007, p. 22). En 1958 que se formó la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Comunidades Yaquis para atraer a miembros de la tribu Yaqui que se encontraban dispersos en Guaymas, trabajando en la actividad pesquera y otros más que pertenecían a los pueblos de Pótam y Belem integrando un total de 150 socios (García-Gutiérrez, 2021). La creación de la cooperativa pesquera se debió a la intención de atender la escasez de tierras para sembrar y ofrecer una fuente alterna de ingresos para los yaquis que no poseían tierras (Spicer, 1994, p. 355). Previo a la formación de la cooperativa pesquera, los yaquis participaban en esta actividad en Las Guásimas y Lobos como asalariados, ya que los que realizaban la pesca eran los mestizos o yoris (no indígenas) que se habían asentado en campamentos en estas localidades (Fabila, 2012, pp. 106-107).

Posteriormente este grupo social se estableció y formaron las localidades de Las Guásimas y Bahía de Lobos. Años después, estas comunidades se ven beneficiadas por una resolución presidencial (Diario Oficial de la Federación [DOF], 1973) para el uso exclusivo de todo el sistema estuarino que abarca desde Las Guásimas hasta Bahía de Lobos en aguas del Golfo de California, para pesca por la etnia Yaqui, incluyendo una franja costera de 60 km y un área de 30000 hectáreas. La cooperativa fue establecida inicialmente para la explotación de camarón; posteriormente se añadieron permisos para la pesca de jaiba y medusa (aguamala).

Actualmente esta sociedad productiva cuenta con 800 socios nominales y 300 activos (Figueroa, 1994, pp. 128-129; Luque y Gómez, 2007, pp. 106-108)

En el año 2021 la CONAPESCA puso en marcha el Proyecto Estratégico para el Desarrollo Agrícola, Ganadero, Acuícola y Pesquero para la justicia al Pueblo Yaqui, impulsada por el Presidente de la república el Lic. Andrés Manuel López Obrador, beneficiando a la S.C.P.P. Comunidades Yaquis, S.C.L. con la renovación de su infraestructura pesquera, dotándola de 115 embarcaciones con motor fuera de borda, 230 chalecos salvavidas, 115 luces de bengala, 115 radios de comunicación, una unidad móvil para 5 toneladas con caja seca, así como una Unidad Básica de Infraestructura para el proceso primario, acopio y conservación de los productos, reflejando así, la importancia que juega la pesca en la comunidad haciéndola una actividad importante generadora de empleo y del bienestar social (CONAPESCA, 2023).

Existe un precedente de estudio que muestra el comportamiento de los recursos pesqueros principales en los sistemas estuarinos del territorio de la etnia Yaqui. Éste abarca varios aspectos de importancia tal como zona de distribución de los recursos, los volúmenes de pesca y sus variaciones a través del tiempo, la producción por especie con respecto a la zona de captura y aportación porcentual anual por especie de esta zona con respecto a la producción total del estado de Sonora. Sin embargo, esta información sólo abarca el periodo del año 2000 al 2017. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivos actualizar y generar nueva información y mostrar un análisis más profundo de la producción pesquera de las principales especies capturadas por las comunidades Yaquis, mostrando así el *estatus* de las capturas actuales, su pronóstico de pesca, el impacto socioeconómico y su contribución en el bienestar de la comunidad indígena Yaqui.

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el noroeste del Pacífico Mexicano, en el estado de Sonora, comprende parte de los municipios de San Ignacio Río Muerto, Guaymas y Empalme. Se encuentra a 26.55 kilómetros al oeste de Ciudad Obregón y a 23 kilómetros al este de Guaymas. El área se encuentra ubicada geográficamente en su punto central en los 27°32'32.559" N y 110°29'21.264" W, con coordenadas del extremo sur-occidental de 27°11'02.131" N - 110°40'31.384" W y de 27°55'17.173" N - 110°17'50.405" W en el extremo nororiental del sitio, conformado principalmente por las lagunas Las Guásimas y Lobos y los esteros La Luna, El Siuti, El Camapochi, Los Algodones y Las Cruces (Figura 68).

Metodología

La fuente de información utilizada en el presente estudio, fueron los avisos de arribo de los años 2000 a 2023; documentos que contienen la información relacionada con los volúmenes de captura de los distintos recursos pesqueros reportados a la autoridad, la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA).

Dicha información fue proporcionada por la oficina de pesca en Guaymas en formato electrónico, conteniendo los datos de la S.C.P.P. Comunidades Yaquis, SCL, que es, como parte de la etnia Yaqui, la única sociedad cooperativa registrada para la zona de estudio, teniendo como sitios de desembarque Bahía de Lobos y Las Guásimas.

LA PESCA DETONANTE DEL BIENESTAR

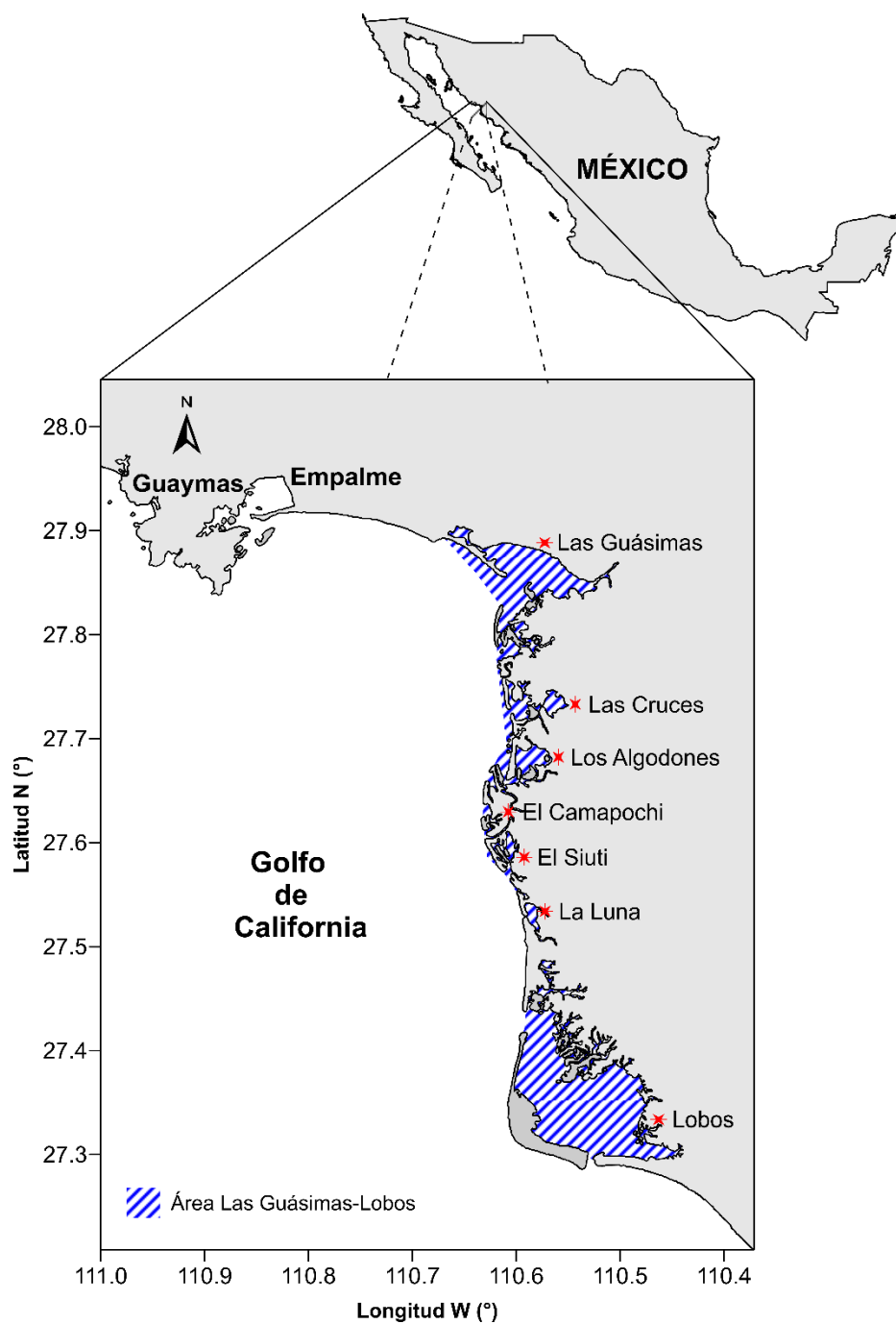


Figura 68. Área de estudio

Se realizó un análisis para observar el comportamiento de la captura en el tiempo, asimismo su aporte en valor comercial, la participación porcentual para la sociedad cooperativa, tanto en volúmenes de captura, así como en valor comercial por cada uno de los tres recursos pesqueros antes mencionados, y de igual manera este análisis de participación (captura – valor comercial), pero con respecto al total del estado de Sonora, un análisis de la tendencia de las capturas para observar la estacionalidad mediante la utilización del índice de captura para cada recurso. Finalmente, con las series temporales de captura, se realizó un análisis para realizar una proyección de las mismas hasta el año 2050, y determinar su tendencia y poder hacer una diagnosis, sobre su estabilidad mediante el modelo ARIMA.

Capturas y Valor comercial históricos

Los primeros análisis, con respecto a los volúmenes de captura y su participación en el aspecto económico para los tres recursos: camarón, jaiba y medusa, se muestra en la figura 69.

Para el caso de camarón (Figura 69a) se presenta un comportamiento con alguna tendencia a mostrar ciclicidad que permite observar ciertas fluctuaciones cuasi periódicas, al menos con dos patrones, uno para la primera década del periodo y un segundo para el resto del mismo. La serie de capturas tiene un máximo reportado de 251 toneladas en el año 2000, seguido por capturas consideradas también muy buenas de 195 y 114 toneladas en los dos años siguientes, pero ya con una tendencia a la baja con 69 toneladas para el año 2003; presentando una recuperación durante la siguiente temporada de pesca alcanzando las 203 toneladas y nuevamente comenzando la tendencia a la baja hasta alcanzar el mínimo de la serie histórica de 32 toneladas en el año 2010.

La aportación económica que el camarón representa, no necesariamente muestra una relación directa con los volúmenes de captura, ya que a niveles incluso iguales o mayores (2005-2009) que para algunos años como el 2013, 2016 y 2021,

el valor de la producción es menor y casi constante, alrededor de los 3 millones de pesos promedio, posterior a este periodo, el valor de la producción, que si bien tiene oscilaciones (subidas y bajadas en el valor total), presenta una tendencia al incremento con 8.3 millones promedio alcanzando su máximo valor en la serie en el año 2022 con 22.8 millones de pesos y una correlación más estrecha con los volúmenes de camarón reportado.

Un comportamiento diferente se observa en los dos recursos restantes, para la jaiba y la medusa (Figura 69b y 69c respectivamente), siendo en el caso de la jaiba capturas realmente bajas, comparativamente hablando para los valores de captura de la serie, con el mínimo reportado de 0.15 toneladas en 2003; y con esa tendencia al menos hasta 2012, posterior a este año es cuando comienza a presentar una tendencia al alza en los volúmenes de captura con cifras por arriba de las 100 toneladas con valores que van desde las 365 hasta las 969 toneladas en 2023.

Estas cifras deben tomarse con la reserva del caso, ya que, si bien son datos oficiales reportados, es necesario un análisis más minucioso para descartar cualquier posible efecto de arribos de capturas que pudieran provenir de otras zonas de pesca fuera del polígono del territorio yaqui (Figura 68).

En este caso, el valor de la producción guarda una estrecha correlación con los volúmenes de captura a lo largo de toda la serie, en comparación con el resultado obtenido con el recurso camarón, con una r^2 por encima del 0.95; no obstante, los altos volúmenes de producción de jaiba que sobrepasan por mucho a los de camarón, la importancia económica que representó el recurso jaiba durante todo el periodo de estudio, apenas rebasó a los de camarón con 168.8 millones de pesos mientras que camarón acumuló 167.9 millones de pesos; sin embargo hay que hacer notar que como se mencionó anteriormente, los altos volúmenes de captura se presentaron apenas a partir de 2013 y los de camarón tuvieron un comportamiento más homogéneo.

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

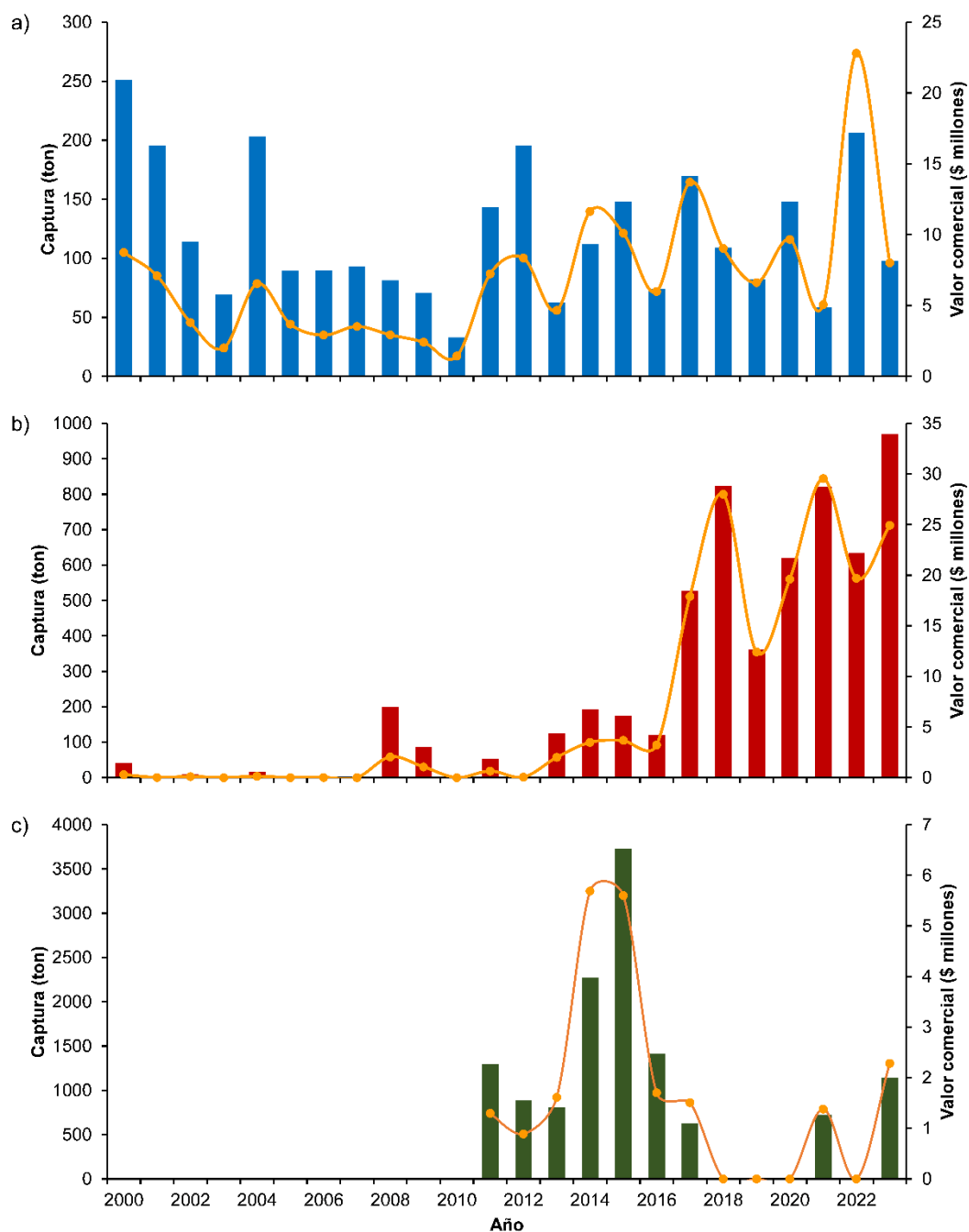


Figura 69. Comportamiento de las capturas (ton) y valor económico (millones de pesos) por recurso: a) Camarón, b) Jaiba y c) Medusa. Fuente: Elaboración propia

Comparativo porcentual: Capturas y Valor comercial

Para poder llegar a comprender un poco mejor el papel que los principales recursos pesqueros juegan en la comunidad Yaqui y que son capturados y reportados por la S.C.P.P. Comunidades Yaquis, S.C.L., se llevó a cabo un análisis comparativo porcentual de la participación que estos tres recursos pesqueros juegan en los volúmenes que se arriban y son reportados a través de los instrumentos legales a la autoridad.

El comparativo se reporta en la figura 70 por medio de dos paneles, el primero de ellos (Figura 70a) muestra las capturas porcentuales, por razones de magnitud en los valores de participación, fue necesario presentar la información utilizando dos ejes de la variable dependiente “Y” (capturas %) para evitar el enmascaramiento de los valores de dos de los recursos, por lo tanto el eje primario contiene la escala para los recursos camarón y jaiba y el eje secundario la escala para el recurso medusa.

Como se observa, los valores de magnitud de las capturas en porcentaje son, para sus valores máximos casi 400 % mayores en el caso de medusa versus jaiba y en el caso de camarón casi 1500 % por encima de su máximo histórico; razones por las cuales este trabajo hace énfasis en estos tres recursos explotados por la etnia Yaqui y que forman, como puede verse, la base de la explotación y uso de los recursos pesqueros de la zona por ellos, si a esto se le añade el componente económico, tenemos algo que aun cuando es lógico o sabido, representa un objetivo interesante de análisis; nos referimos ahora a la participación en cuestión de recursos monetarios que provienen del producto de la pesca y que su comportamiento es ahora inverso al de los volúmenes de captura, es decir el recurso que mayores volúmenes de pesca registra no es el que obtiene los mayores ingresos, por su bajo precio que es pagado a los pescadores aun cuando se trata de un producto destinado a la exportación, esto debido en parte también al comportamiento y dinámica de los precios en el mercado, la falta de procesos que

puedan darle un valor agregado al producto para dejar de ser simplemente materia prima para procesos y obtención de productos terminales por otros países.

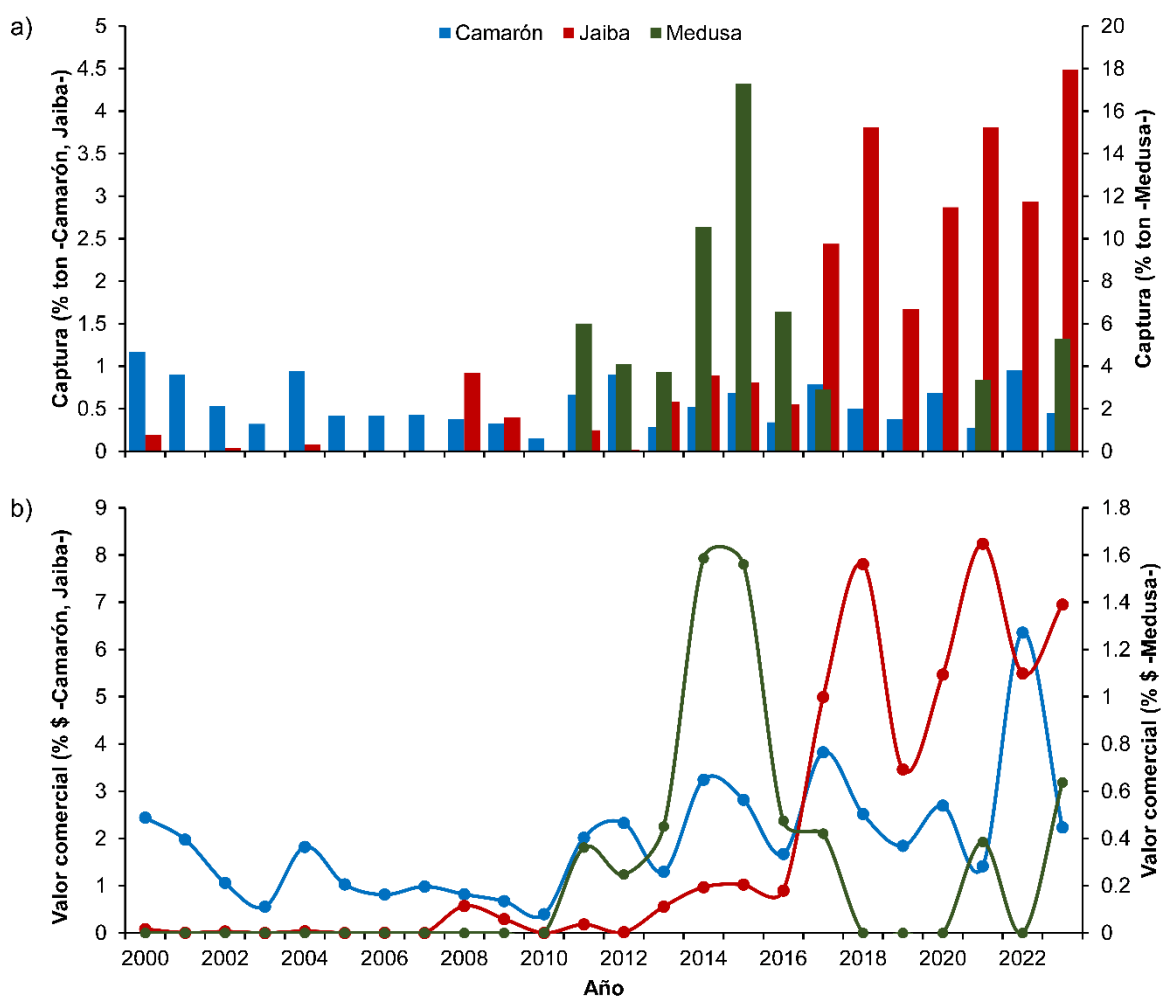


Figura 70. Comparativo del comportamiento entre los recursos (a) capturas (%) (b) valor comercial (%). Fuente: Elaboración propia

La mayor participación en este aspecto económico entre los tres recursos pesqueros, en el periodo de los 24 años analizados (Figura 70b), lo tiene la jaiba con un 8.32 % alcanzado en el año 2021, para el caso del recurso camarón, su mayor participación obtenida fue en el año 2022 con el 6.35 % del valor generado

por los tres recursos; finalmente la medusa obtuvo su mayor porcentaje en el 2014 con apenas el 1.58 %.

Comparativo estatal: Capturas y Valor comercial

El análisis no puede considerarse un poco más robusto si no se incorpora la información que permita llevar a cabo el comparativo de lo que representan estos recursos pesqueros, tanto en términos de captura como en términos económicos para la región Yaqui con respecto a su posición estatal.

Para ello, los resultados se muestran en la figura 71, compuesta por tres paneles de acuerdo al recurso a) Camarón, b) Jaiba y c) Medusa, y mostrando en el eje “Y” primario, la escala para los valores de capturas en toneladas y en el eje “Y” secundario lo referente a la participación porcentual de capturas y valor comercial.

Como es de esperarse, las capturas de la región si bien pueden llegar a considerarse bajas con respecto al total de las del Estado de Sonora, no dejan de ser muy importantes, máxime que se trata de una sola organización (S.C.P.P. Comunidades Yaquis, S.C.L.) que ha llevado con éxito la actividad pesquera y subsiste gracias a ello.

Es natural observar un comportamiento casi totalmente armonizado con los volúmenes totales reportados para el estado y los de la región que explota la Cooperativa Pesquera Yaqui; para el caso de camarón (Figura 71a), el mayor volumen de captura en toneladas histórico (periodo del presente estudio 2000 - 2023) para Sonora fue de 6875.8 ton en 2020, mientras que el máximo para la región Yaqui fue de 251.3 ton en 2020, en términos generales globales, el promedio de las capturas en el estado correspondió a 3695.5 ton y para la región Yaqui de 120.7 ton, resultando en un indicador promedio histórico del 3.3 % del volumen generado por pesca para el recurso camarón y por lo tanto tenemos una imagen con la misma

tendencia y traslape *quasi* perfecto cuando se observa la participación porcentual en términos de valor económico que el recurso representa, sin embargo cabe resaltar que para el caso camarón, las variables de costos influenciadas por el mercado internacional, no siempre reflejan la misma tendencia que las capturas, pues aun cuando hay capturas elevadas para finales de los años de estudio, el valor comercial no remonta ni se observa acorde a las capturas teniendo su mayor registro para el primer año, 2020, aportando el 7.7 % del valor con respecto al del estado a pesar de no ser las mayores capturas (Figura 71a).

En cuanto al recurso pesquero jaiba (Figura 71b), de inicio se observa que presenta un patrón de participación de la S.C.P.P. Comunidades Yaquis, S.C.L., con respecto al estado, con una estrecha relación también con respecto a los volúmenes registrados, sin embargo, aquí ocurre algo que llama la atención y es que las mayores capturas para los Yaquis comienzan a incrementarse a partir de 2013 como también ya se había mencionado antes (Figuras 71b y 71b) con una tendencia hacia el incremento, siendo muy notorio éste hacia finales del periodo de estudio que es cuando realmente cobra la mayor importancia en todos sentidos.

La participación de este recurso en capturas y valor económico ha representado históricamente (2000 - 2023) el 5.7 % y 8 % en promedio respectivamente, teniendo su máximo con respecto a las capturas del estado en 2023 con un 13 % y en cuanto a valor comercial en 2018 con un 16.6 % de participación, reafirmando nuevamente que la variable económica del mercado juega un papel muy importante en el resultado final del valor comercial y al comportamiento con tendencia al aumento después de 2013 como ya se mencionó.

Por otro lado, en cuanto a la medusa (Figura 71c), es bastante diferente el comportamiento que observan las capturas del estado de las que se refieren a la Comunidad Yaqui, siendo incluso más notorio esto, desde 2017, que es cuando las capturas de Sonora tienen un repunte mientras que las de la Comunidad Yaqui presentan tendencia clara a la baja.

LA PESCA DETONANTE DEL BIENESTAR

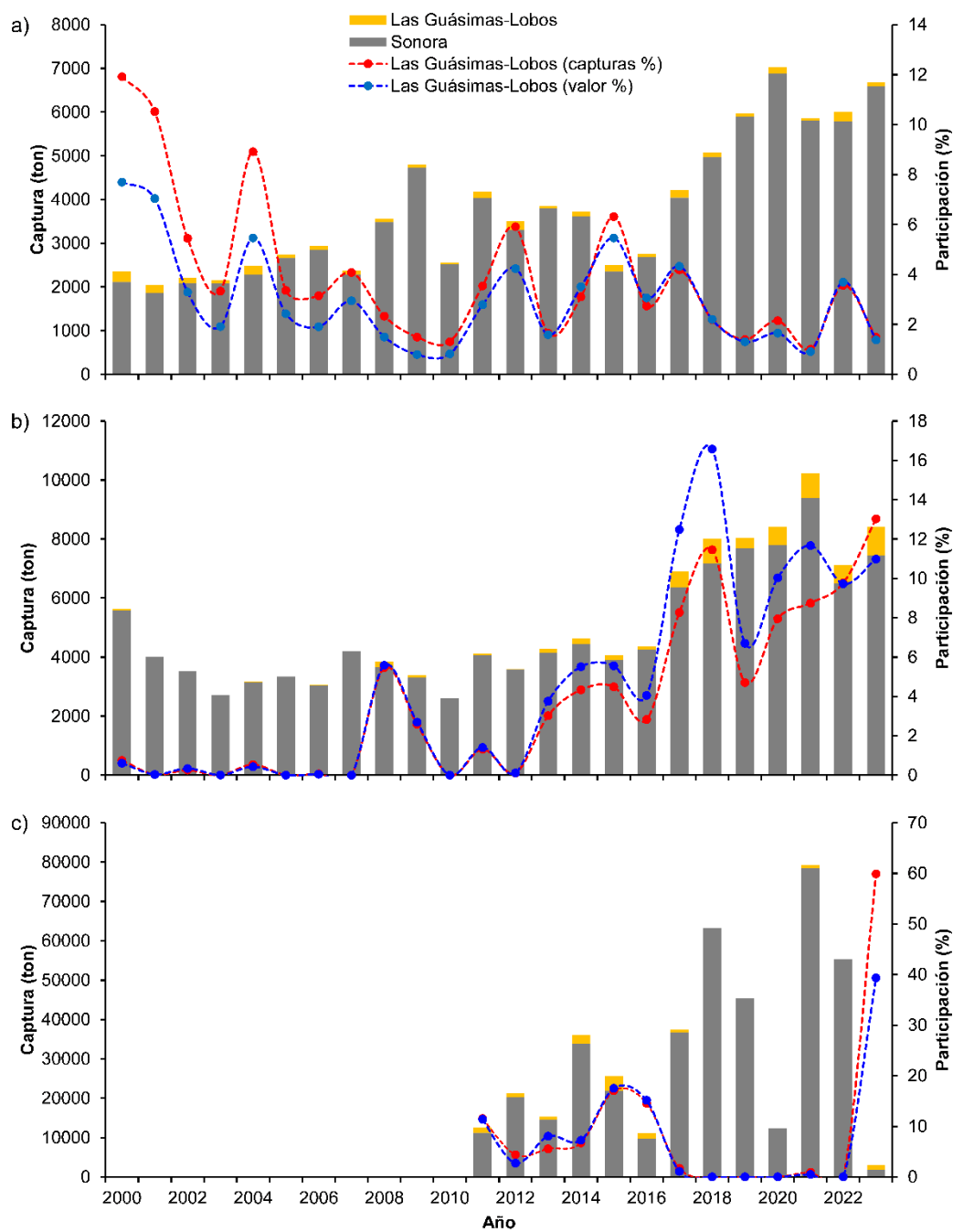


Figura 71. Comparativo del comportamiento de las capturas (toneladas y %) y del valor comercial (%) por recurso: a) Camarón, b) Jaiba y c) Medusa. Fuente: Elaboración propia

Analizando lo anterior en términos de porcentaje, el promedio histórico aportó el 3.18 % de las capturas y tan sólo el 1.8 % del valor comercial; en términos de máximos aportes éstos se presentaron en 2023 con un 59.8 % para capturas y un 39.3 % en lo económico.

Los altos volúmenes de captura para Sonora en los últimos años, pueden estar relacionados en gran medida a los arribos provenientes del alto Golfo de California, en donde la pesquería de este Cnidario cobró importancia para los lugareños, mientras que en para la región de los Yaquis el recurso incluso no estuvo presente algunos de los últimos años, salvo en 2023 con un máximo de abundancia y repunte en su pesquería.

Esto refuerza el argumento de la importancia que estos tres recursos pesqueros representan para la etnia Yaqui y para la región.

Tendencias de las capturas

En muchas ocasiones es de gran utilidad el emplear indicadores sencillos con el fin de poder tener una idea más o menos clara del comportamiento global de alguna pesquería en el tiempo (Arreguín-Sánchez, 2006, pp. 19-22), un ejemplo de ello sería utilizar un indicador que nos permitiría calcular un índice de captura que exprese la tasa de cambio de éstas, de modo que se puede representar como:

$$I_c = \ln \left(\frac{C_{\text{año}}}{C_{\text{prom}}} \right)$$

Donde:

I_c = Índice de captura

$C_{\text{año}}$ = Captura al año

C_{prom} = Captura promedio del periodo analizado

Por lo que considerando que la captura al año i fuera igual a la captura promedio, daría por consiguiente un valor de cero para el índice, lo cual significaría que no existe cambio de un año con respecto al promedio.

Para este estudio, se calculó el índice de captura para cada recurso en el periodo analizado (Figura 72) para obtener las tasas de cambio en el tiempo con base en sus capturas.

Para el caso de las capturas de camarón (Figura 72a), la tendencia del índice muestra que, a partir de 2004, la pesquería declina fuertemente (línea punteada) al menos hasta 2010, posteriormente vuelve a presentar una tendencia al alza, pero mostrando un comportamiento que parece cíclico hasta la fecha actual.

Por su parte, en el caso de la jaiba (Figura 72b), desde el inicio del periodo de estudio (2000) y al menos hasta 2008, que es cuando el índice se aproxima a cero, todo el comportamiento tuvo tasas negativas evidenciando, además, a partir de ese mismo año, que la pesquería declina de manera pronunciada mostrando posteriormente una tendencia positiva lo que da pie a poder suponer el inicio de un periodo ascendente en la abundancia del recurso que continúa a la fecha.

Finalmente, para el caso de medusa (Figura 72c), tenemos que, a pesar de los pocos registros, se puede observar una tendencia que muestra un decaimiento en las tasas de captura a partir de 2014, que es cuando la pesquería había alcanzado los mayores valores positivos del índice, seguidos por una fuerte caída.

La información que el índice de captura presenta, no proporciona ninguna información que pueda ser relacionada con el esfuerzo de cada una de las pesquerías, por lo que son necesarios análisis complementarios para poder llegar a proponer acciones de manejo específicas para estos recursos explotados por la etnia Yaqui.

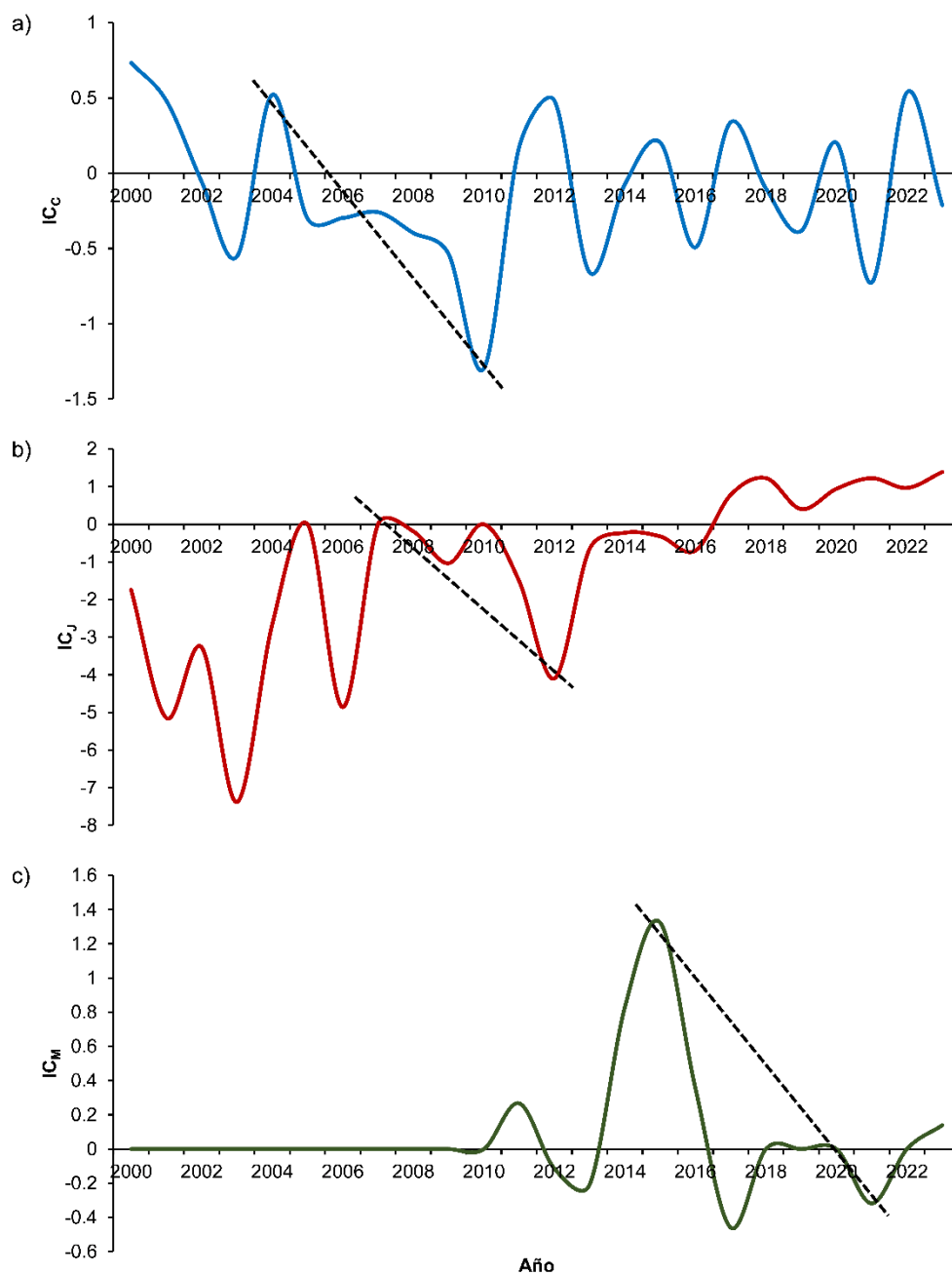


Figura 72. Índices de captura para los tres recursos pesqueros: a) Camarón, b) Jaiba y c) Medusa. Fuente: Elaboración propia

Pronóstico de capturas: modelo ARIMA

En Las Guásimas y Lobos los reportes de capturas de camarón obtenidos de la oficina de pesca durante el periodo 2000-2023 muestran fluctuaciones interanuales (Figura 73a). En el 2012 la Carta Nacional Pesquera presenta a la pesca de camarón azul (especie objetivo de la pesca ribereña) con un estatus de rendimiento máximo sostenible (DOF, 2012), por lo que no deben de otorgarse nuevos permisos de pesca. En este trabajo, realizamos un pronóstico de las capturas con base en los registros de pesca de la S.C.P.P. Comunidades Yaquis, S.C.L. utilizando un modelo ARIMA (Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil) hasta el año 2050. Para el camarón encontramos que las capturas se mantendrían constantes y con fluctuaciones interanuales entre los años hasta el 2050, no se observa disminución de las capturas, por lo que resulta importante para que estas localidades mantengan sus ingresos.

En el caso de Jaiba, se pudo observar que en Las Guásimas y Lobos a partir del año 2016 las capturas son fluctuantes de manera interanual, estas muestran un aumento en la producción de este recurso (Figura 73a). Por otro lado, al realizar el pronóstico con el modelo ARIMA, se observó que para el año 2050 (Figura 73b) estas capturas se mantendrán estables sin variabilidad interanual, esto al igual que el recurso camarón mantendrá los ingresos de las comunidades de Las Guásimas y Lobos.

En cuanto al recurso medusa, las comunidades yaquis se integran a la pesca en el año 2009 (Alcántara-Razo et al., 2019, p. 243), las capturas son variables entre los años y durante el periodo del 2018 a 2019 no se registraron capturas. Este recurso es importante porque está disponible para su extracción durante el periodo en el que están en veda algunos recursos que utilizan las comunidades yaquis. La medusa es una especie de bajo valor comercial, pero sus grandes volúmenes de captura permiten una generación de ingresos altos para las comunidades de Las

Guásimas y Lobos. No fue posible sacar un pronóstico confiable de las tendencias de las capturas por tener un periodo muy corto de registro de capturas y por su alta variabilidad.

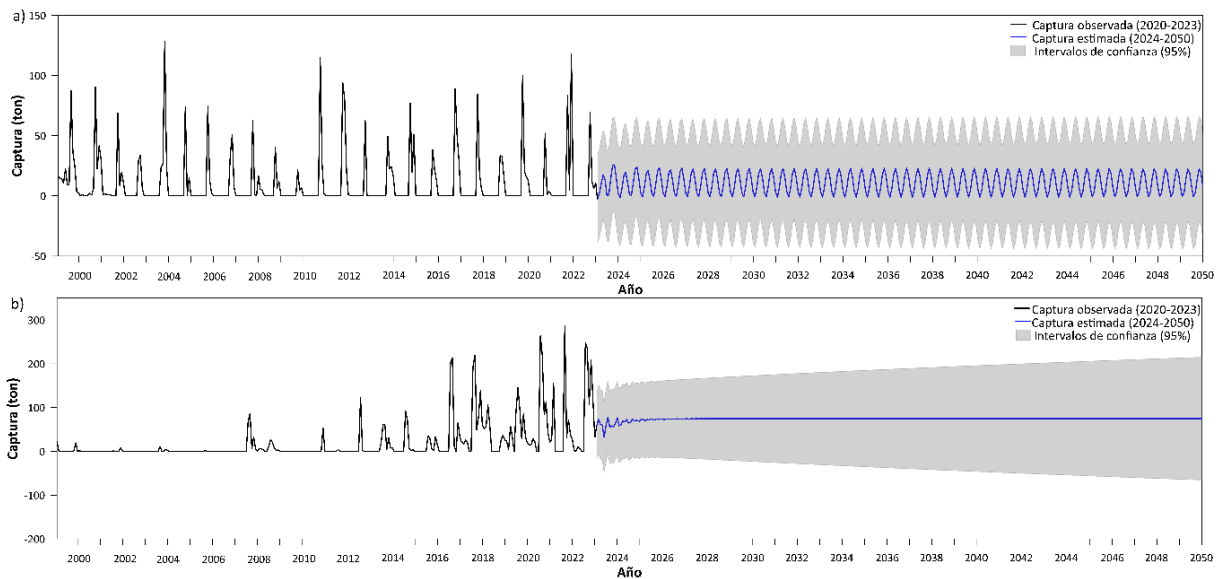


Figura 73. Pronóstico de las capturas para los recursos pesqueros:
a) Camarón y b) Jaiba. Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La presente investigación ha contribuido a entender como es el usufructo de los recursos naturales en el territorio de la comunidad indígena Yaqui. Los recursos naturales entre los que destaca la pesca han sido sustento de más 600 miembros de la comunidad Yaqui agrupados en una cooperativa pesquera. Los resultados de la presente investigación fueron tomados en cuenta por el gobierno federal para sustentar las acciones emprendidas en el plan de justicia para el pueblo Yaqui. Por esa razón este documento resultó en beneficio de estos 600 miembros de la etnia

Yaqui. Es importante decirles a los lectores que los asentamientos de la comunidad Yaqui en los pueblos de Las Guásimas y Lobos (estas comunidades son los límites costeros norte y sur del territorio Yaqui) dependen directamente de la pesca y las principales especies en cuanto a su volumen de captura son el camarón, la jaiba y la medusa bola de cañón. La producción pesquera de la etnia Yaqui aporta significativos volúmenes de producción del estado de Sonora.

Importancia social

La pesca para el pueblo yaqui es mucho más que una simple actividad económica, constituye un pilar fundamental de su identidad cultural y cohesión social. Su profunda conexión con el mar y sus riquezas ha forjado un conocimiento, saberes, prácticas y tradiciones sobre los ecosistemas marinos, transmitido de generación en generación por la comunidad. Este conocimiento no solo promueve y garantiza una pesca responsable, sino que también fortalece los lazos comunitarios a través del trabajo conjunto, la distribución equitativa de lo pescado y las festividades vinculadas con la pesca.

Más allá del sustento directo, la pesca impacta en la seguridad alimentaria de las comunidades yaquis, siendo una fuente esencial y asequible de proteínas de muy alta calidad y relativamente bajo costo. Asimismo la pesca, contribuye a la autonomía y autodeterminación del pueblo, al ser una actividad que históricamente han controlado y gestionado, permitiéndoles mantener sus propios sistemas de gobernanza y toma de decisiones. El bienestar derivado de la pesca se extiende a la salud social y emocional, proporcionando un sentido de propósito, pertenencia y continuidad cultural en un contexto de constantes desafíos.

Perspectivas

Estudios como el presente, deben tender a reforzar no sólo la visión que como país se tiene administrando esfuerzos para promover medidas de protección dirigidas a zonas y ecosistemas costeros y especies que los habitan, siendo muchas de ellas de importancia comercial al formar parte del estrecho abanico de recursos pesqueros sumamente importantes para las localidades que los circundan; este es el caso de la Comunidad Yaqui que versa su economía en la presencia, accesibilidad y vulnerabilidad de tres de las principales especies pesqueras de la región, el camarón, la jaiba y la medusa bola de cañón.

Es innegable que ante medidas que contemplen aspectos comerciales de explotación, y los de protección y conservación, siempre habrá un cierto porcentaje de polarización en las ideas y formas de pensar en los tres componentes sociedad-gobierno-comunidad científica, sin embargo, de proporcionarse mayores bases y sustento basados en aspectos propios del ambiente, la biología de las especies y socioeconómicos tangibles con proyecciones a corto y mediano plazo para su aprovechamiento, la respuesta del trinomio será efectiva y no sólo cuando sus intereses y necesidades se vean comprometidos en uno u otro sentido. La prioridad tendrá que ser siempre la seguridad alimentaria, el sustento económico y la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos a los que tienen acceso estas comunidades en pro de mitigar las vulnerabilidades y promover el bienestar comunitario.

Literatura citada

- Acosta, G. (2002). Yaquis de Sonora. Proyecto Perfiles Indígenas de México, Documento de trabajo. <https://www.aacademica.org/salomon.nahmad.sitton/75>
- Alcántara-Razo, E., Padilla-Serrato, J.G. y Aragón-Noriega, E.A. (2019). La comunidad Yaqui y su importancia en la producción pesquera. En J.A. Arreola-Lizárraga, J. Garatuza-Payán, E.A. Yépez-González y A. Robles-Morúa (Eds.), Capital natural y bienestar social de la comunidad Yaqui (pp. 233-260). ITSON.
- Apolinar Romo, A. A. (2021). Aspectos Biológico-Pesqueros de la medusa bola de cañón, *Stomolophus* sp. 1, en el alto Golfo de California (Tesis de maestría). CIBNOR, La Paz, Baja California Sur, México.
- Arreguín-Sánchez, F. (2006). Pesquerías de México. En P. Guzmán-Amaya y D.F. Fuentes-Castellanos (Coord.), Pesca, Acuicultura e Investigación en México (pp. 18-22). CEDRSSA.
- Carrera-González, E. (2008). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar: Complejo lagunar Bahía Guásimas-Estero Lobos. RAMSAR. <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1790RIS.pdf>
- CONAPESCA. (2021). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. SADER. México. https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_D E ACUACULTURA Y PESCA 2021.pdf
- CONAPESCA. (2023). Arranca Segunda Etapa del Proyecto Estratégico para el Desarrollo para la Justicia al Pueblo Yaqui 2023. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/arranca-segunda-etapa-del-proyecto-estrategico-para-el-desarrollo-para-la-justicia-al-pueblo-yaqui-2023#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202021%20la,en%20beneficio%20de%20la%20S.C.P.P.>
- Contreras, F. (2002). Importancia de la pesca ribereña en México. Contactos 46:5-14.
- DOF. (1973). Decreto por el que se otorga exclusividad a los miembros de la tribu yaqui y a los de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Comunidades Yaquis, S. C. L., para realizar actos de pesca en las aguas de los esteros y bahías de los litorales de Bahía Las Guásimas, Las Tortugas, Las Cruces, etc. México.
- DOF. (2012). Acuerdo por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. México.

- Fabila, A. (2012). Los yaquis de Sonora, restitución de tierras, paz y trabajo. Informe etnográfico de Alfonso Fabila (1958). Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas-Pioneros del Indigenismo en México.
- Figueroa, A. (1994). Por la tierra y por los santos: identidad y persistencia cultural entre yaquis y mayos. Culturas Populares de México.
- García-Gutiérrez, G. A. (02 de diciembre de 2021). Un litoral también tiene sus linderos: la territorialidad de los pescadores yaquis [Presentación oral]. VI Congreso de la Red de Investigadores Sociales Sobre el Agua (RISSA). Ciudad de México, México.
- Hernández, L.G. y Arreola, J.A. (22 - 26 de mayo de 2000). Patrones de distribución y abundancia de *Callinectes arcuatus* y *Callinectes bellicosus* (Crustacea: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, Sonora, México [Resúmenes]. XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oaxaca, México.
- Lluch-Cota, S. E., Aragón-Noriega, E. A., Arreguín-Sánchez, F., Aureoles-Gamboa, D., Bautista-Romero, J. J., Brusca, R., Cervantes-Duarte, R., Cortés-Altamirano, R., Del-Monte-Luna, P., Esquivel-Herrera, A., Fernández, G., Hendrickx, M., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., López-Martínez, J., ... Sierra-Beltrán, A. P. (2007). The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*, 73:1-26
- Luque-Agraz, D., y Gómez, E. (2007). La construcción de la región del Golfo de California desde lo ambiental y lo indígena. *Ra Ximhai*, 3(1), 83-116.
- Moctezuma-Zamarrón, J.L. (2007). Yaquis. Pueblos indígenas del México Contemporáneo. México, Comisión para el desarrollo de los pueblos indígenas (CDI). México.
- Spicer, E. H. (1994). Los Yaquis. Historia de una cultura, Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Autónoma de México, México.
- Yepiz, L.M. (1990). Diversidad, distribución y abundancia de la ictiofauna en tres lagunas costeras de Sonora, México (Tesis de Maestría). UABC. Ensenada, Baja California, México.

Para citar esta obra:

Alcántara-Razo E. *; J. G. Padilla-Serrato; E. A. Aragón-Noriega y G. I. Padilla-Serrato. 2025. La pesca como detonante del bienestar común del pueblo Yaqui. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 405-430). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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).

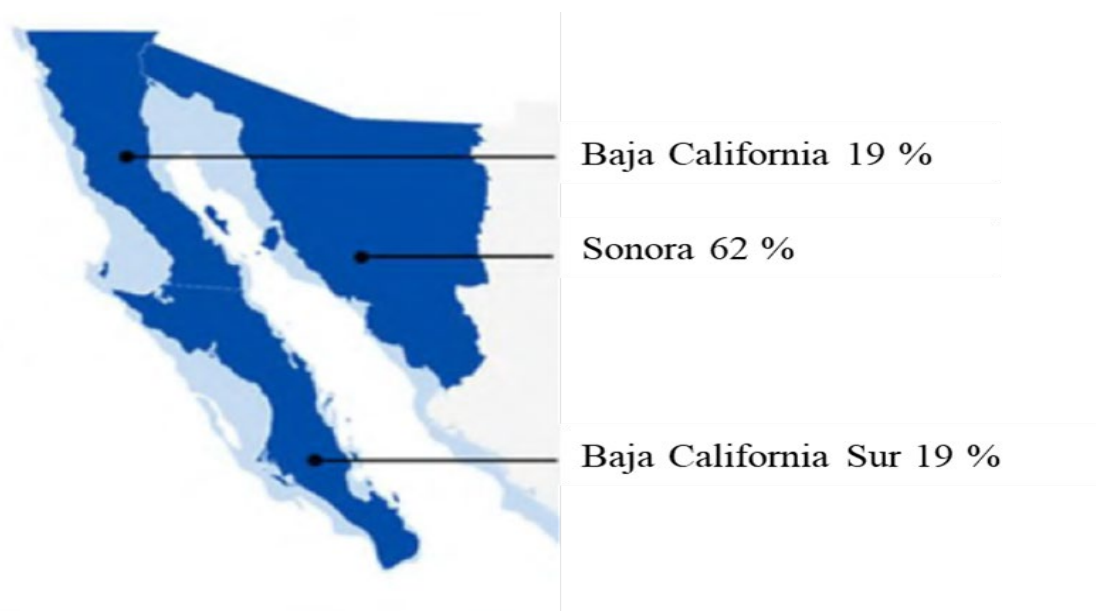


Figura 74. Principales estados de México donde se pesca callo de hacha con sus porcentajes de captura. Fuente: CONAPESCA (Carta Nacional pesquera, 2023).

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).

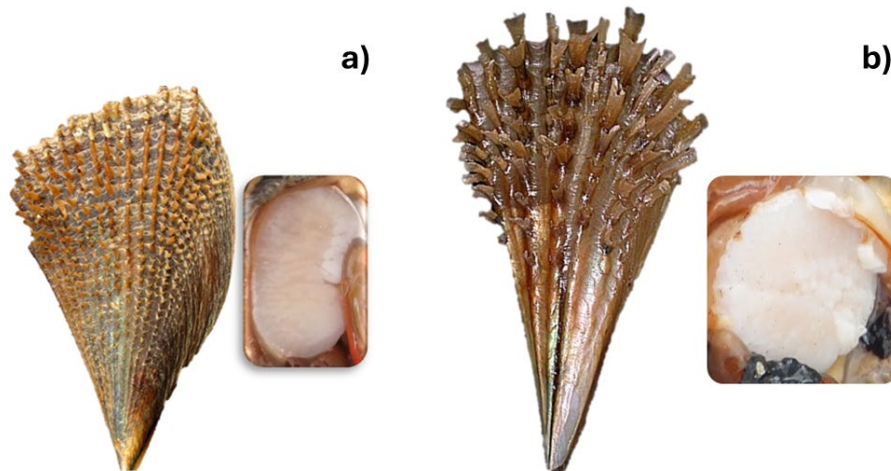


Figura 75. Conchas y músculos de las especies más importantes en México. a) Vista frontal de la concha y el músculo de *A. maura* (callo media luna). b) Vista frontal de la concha y el músculo de *P. rugosa* (callo redondo).

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).

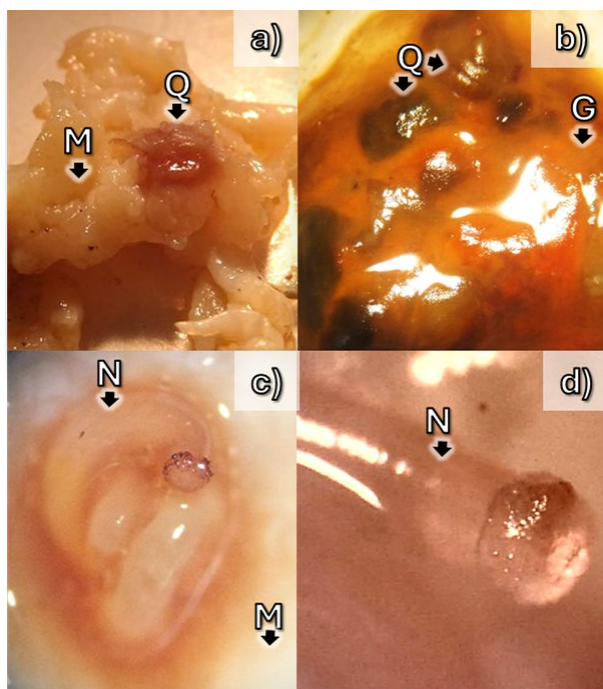


Figura 76. Parásitos nemátodos encontrados en músculos y gónadas de *A. maura* y *P. rugosa* a) Músculo (M) de callo de hacha con quistes (Q) de nemátodos, b) Gónada (G) de callos de hacha con quistes de nemátodos (Q). c) Nemátodo (N) enrollado recién salido del quiste en músculo de callo de hacha. d)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

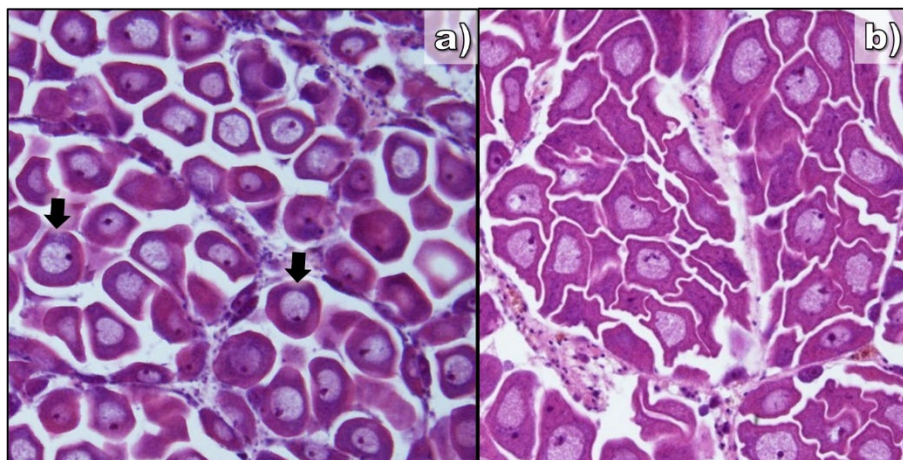


Figura 77. Microfotografía de células sexuales (gametos) de hembras de *A. maura*. En la imagen a) las células señaladas se muestran de forma circular bien definida, situación contraria a la imagen b) donde los gametos tienen forma de rompecabezas, una de las características más evidentes de la presencia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

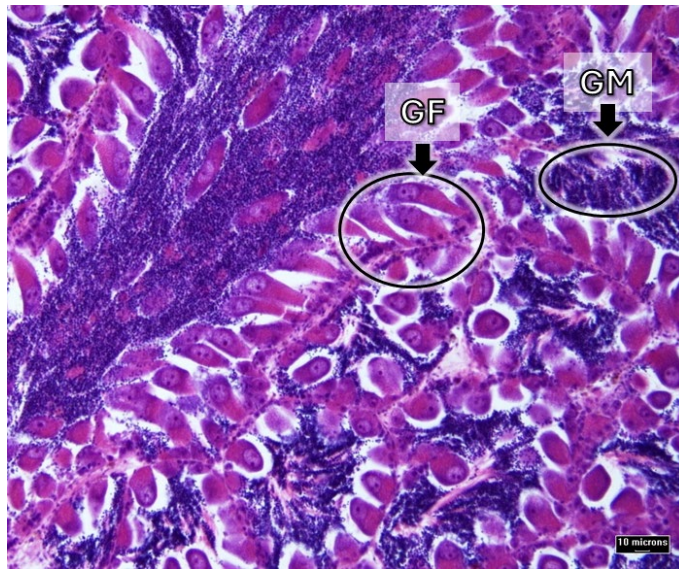


Figura 78. Microfotografía de células sexuales de un individuo hermafrodita de *P. rugosa*. GF: Gametos femeninos. GM: Gametos masculinos.

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.

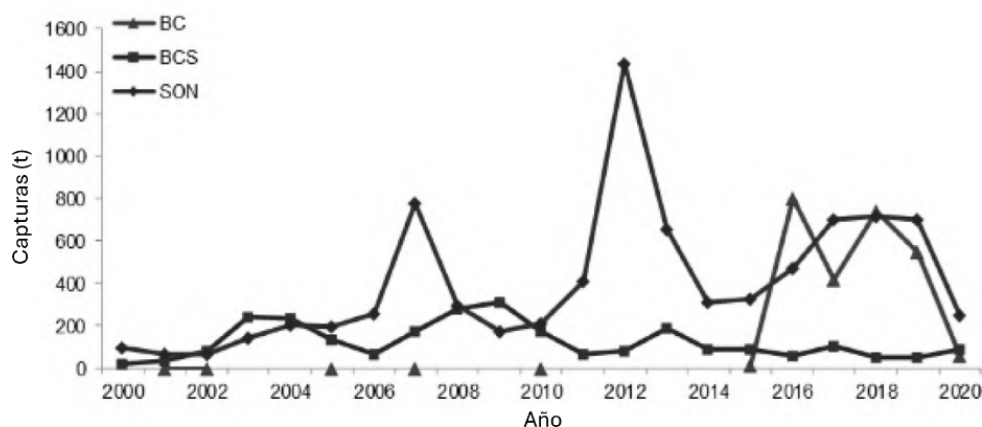


Figura 79. Tendencia de la captura de callo de hacha en Baja California (BC) Baja California Sur (BCS) y Sonora (SON), de 2000 al 2020. Fuente: CONAPESCA (Carta Nacional pesquera, 2023).

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-Ruíz 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-Ruiz, 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-Casalduero, 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.

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

ggomez@cibnor.mx

A la memoria de Mario Arce Montoya

Resumen

En el último lustro, el CIBNOR ha desempeñado un papel crucial en el fomento de actividades agrícolas en el Noroeste de México, con el propósito de mejorar la calidad de vida de comunidades rurales y etnias de la región. Este trabajo ha sido guiado por la necesidad de crear economías sostenibles que contribuyan a la sostenibilidad familiar y al fortalecimiento de las economías locales, la generación de empleos adecuadamente remunerados y la mejora general de las condiciones de vida. Un desafío persistente es la brecha que existe entre la producción del sector primario y su monetización, lo que trae como consecuencia que las familias de comunidades rurales no puedan suplir sus necesidades básicas con éste tipo de trabajo. En el presente capítulo, presentamos dos proyectos en los que desarrollamos fuentes alternativas de ingresos y valor agregado, tal es el caso del proyecto “Rancho La Trinidad” que sirvió de modelo de eco-turismo rural y científico desarrollado en B.C.S. en el que se incluyeron actividades recreativas, turísticas, culinarias, agrícolas y por supuesto científicas. El siguiente proyecto, es el de chiltepín, que se ha promovido como una fuente de ingreso para el Noroeste de México aprovechando su aceptación cultural y culinaria. Los esfuerzos recientes se

han centrado en aumentar la producción para la exportación, enfrentando retos climáticos y de plagas, lo que nos lleva a generar una estrategia de diversificación geográfica para minimizar riesgos de pérdida total del fruto por la cercanía de los cultivos. Entre los desafíos más grandes de los proyectos, está la necesidad de aumentar el valor de los productos y generar canales de comercialización para el productor, pues es bien sabido, que no solo hay que tener un producto, sino que éste debe ser adecuado para la demanda de un mercado. Estos proyectos han demostrado la importancia de aplicar ciencia en el campo y mantener un seguimiento continuo y a largo plazo de las iniciativas agrícolas para que se integren y sean aceptadas en las comunidades.

Palabras clave: Chiltepín, damiana, etnias, bienestar comunitario, noroeste

Abstract

In the last lustrum, CIBNOR has played a crucial role in promoting agricultural activities in Northwest Mexico, with the aim of improving the quality of life in rural communities and ethnic groups in the region. This work has been guided by the need to create sustainable economies that contribute to family sustainability and the strengthening of local economies, the generation of adequately remunerated jobs, and the overall improvement of living conditions. A persistent challenge is the gap between the production of primary sector and their monetization, resulting in rural families being unable to afford their basic needs through this type of work. In this chapter, we present two projects where we developed alternative sources of income and added value, such as the “Rancho La Trinidad” Project, which served as model for rural and scientific eco-tourism developed in B.C.S., including recreational, touristic, culinary, agricultural, and of course, scientific activities. The next Project is the chiltepin Project, which has been promoted as a source of income for Northwest Mexico, taking advantage of its cultural and culinary acceptance. Recent efforts have focused on increasing production for export, facing climatic challenges and pests,

leading us to create a geographic diversification strategy to minimize the risk of total fruit loss due to the proximity of crops. Among the greatest challenges of the projects is the need to increase the value of the products and generate marketing channels for the producer, as it is well known that having a product is not enough; it must also be suitable for the demands of a market. These projects have demonstrated the importance of applying science in the field and maintaining continuous and long-term monitoring of agricultural initiatives so that they integrate and are accepted in the communities.

Key words: Chiltepin, damiana, ethnic groups, community well-being, northwest

Introducción

Ciencia agrícola para el bienestar comunitario

En este capítulo, documentamos parte del trabajo realizado en los últimos 5 años en CIBNOR para promover actividades agrícolas que mejoren la calidad de vida de las comunidades rurales y etnias del Noroeste de México. El enfoque con el que hemos avanzado considera primeramente el sentir y la necesidad del sector al que nos acercamos, además de proponer nuevas economías sustentables que permitan la sostenibilidad de las familias. Esto porque el bienestar comunitario no se limita solamente a la producción de alimentos, sino que busca fortalecer las economías locales, promover la generación de empleo bien remunerado y mejorar las condiciones de vida.

Hemos constatado, la dura brecha que existe entre la generación de un producto primario de calidad y la monetización del mismo de tal forma que impacte de forma constante, regular y satisfactoria a las familias. Todo ello, aunque en CIBNOR les hemos apoyado con infraestructura, equipamiento, asesorías y

tecnologías innovadoras que facilite y maximice los resultados esperados. Aun así, las comunidades rurales luchan contra otros factores como: ambientales, sociales, culturales, políticos y de salud para salir adelante y generar ingresos con la venta de sus productos.

La resiliencia que han mostrado estas comunidades durante los desafíos climáticos, la pandemia COVID-19 y sus estragos económicos, son un ejemplo de las dificultades de supervivencia que por años han enfrentado. En los últimos años, se han hecho grandes esfuerzos de inclusión a los sectores vulnerables promoviendo la participación de la mujer, favoreciendo a las etnias o sectores rurales que por años fueron olvidados o marginados, aun así, seguimos viendo que los avances científicos no se distribuyen equitativamente.

Es por ello, que en CIBNOR hemos buscado fuentes alternativas de ingresos aplicables a las comunidades del Noroeste de México y que describiremos a continuación.

Proyecto rancho la trinidad

El proyecto “Rancho La Trinidad ®” se inició en 2018 y terminó formalmente en diciembre de 2019, fue contemplado como un rancho tipo que generara empleos y que pudiera replicarse en otras rancherías de B.C.S. Se trabajó bajo el enfoque de aplicación de ciencia para el beneficio de zonas rurales y marginadas. Tomando en cuenta que B.C.S. es fuerte en turismo, se exploraron las potencialidades del rancho y se pulieron para darle valor como espacio de Eco-turismo rural y científico.

Para el desarrollo del proyecto, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

Paleontología. Los terrenos del rancho guardan restos fosilizados de huesos de mamíferos marinos, dientes de tiburón (megalodón), artrópodos, equinodermos y

moluscos (Rodríguez, 1988). Por lo que se estableció una colección para mostrar al turista y se establecieron reglas para el manejo de piezas paleontológicas.

Rescate de la historia de los sudcalifornianos. Rancho La Trinidad, es parte del sendero revolucionario de las Californias, en donde el general Félix Ortega luchó por las tierras y las clases sociales menos protegidas. Se establecieron caminatas guiadas reviviendo las rutas donde se dio el enfrentamiento armado de las fuerzas revolucionarias de Gral. Félix Ortega y tropas Federales el 6 de agosto de 1913.

Senderismo guiado. Se marcaron, limpiaron y establecieron rutas para conocer espacios naturales, demostrativos y recreativos, así como la opción de renta de cabañas o campamentos.

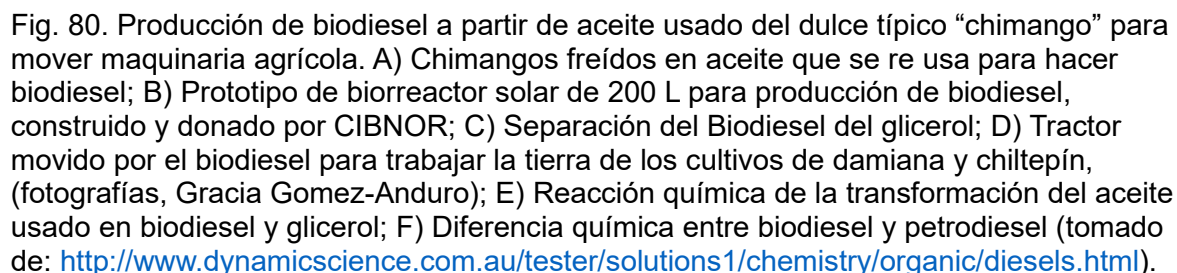
Cultivo de damiana y chiltepín. El terreno del rancho cuenta con damiana y chiltepín de manera natural, de donde se extrajo material vegetativo para su propagación en vivero y posterior procesamiento para generar valor agregado a producto primario.

Producción de dulces típicos y deshidratados. Uno de los retos de los ranchos en los que no hay energía eléctrica, es la preservación de los alimentos, para ello, se trabajó con la deshidratación y producción de dulces típicos de mango, papaya, limón.

Laboratorios demostrativos. Como parte de los objetivos del proyecto, estaba demostrar que podían operarse laboratorios en espacios rurales, por lo que se estableció la extracción de aceites esenciales y producción de biodiesel.

La extracción de aceites esenciales se presenta al turista como parte de las experiencias guiadas interactivas que les permiten identificar la damiana silvestre en el campo, destilarla y posteriormente degustarla en un té o una salsa junto con sus alimentos.

El laboratorio de producción de biodiesel, se generó con la finalidad de darle uso al aceite de desecho que se produce mediante la elaboración de un dulce típico de B.C.S. (chimangos), y con el biodiesel generado operar el tractor para mover la tierra en los campos de damiana y chiltepín (figura 80).



Proyecto chiltepín

El chiltepín es conocido como el “oro rojo del desierto” por el alto valor que tiene el fruto seco en el mercado, lo que lo hace interesante para apoyar comunidades rurales en condiciones de pobreza.

Trabajar con este fruto tiene varias ventajas, entre ellas que es ampliamente conocido en todo el Noroeste de México por sus raíces culturales y culinarias, lo que lo hace ser aceptado y socializado de forma natural (Bañuelos 2008, p. 12). Recientemente publicamos datos de la importancia tradicional, algunos detalles de calidad, costos de producción y comercialización (Gómez-Anduro 2023, p.6; McCaughey-Espinoza 2020, p. 84). En los últimos 3 años, hemos trabajado en aumentar el número de productores para el cultivo de chiltepín, enfocándonos fuertemente en las comunidades más desprotegidas de Sonora, Sinaloa y Baja California Sur (Figura 81). La finalidad es lograr producir 10 toneladas de chiltepín seco de exportación al año y enviarlo a países como Japón y Estados Unidos, donde lo pagan hasta 5 veces más de lo que se paga en México. Es decir, pasamos de venderlo en \$650 pesos hasta venderlo a \$5,000 el kg seco. En éste sentido, además del reto agrícola que ha representado semi domesticar el cultivo y seleccionar semilla de calidad, tenemos el reto de organizar a las comunidades para colaborar en la firma de contratos de exportación. Para asegurar tener el producto que se pacte en un contrato de exportación, se pretende que los cultivos se establezcan en los 3 estados que conforman el desierto sonorense (Sonora, Sinaloa y B.C.S.). Es importante ésta distribución, ya que cada estado tiene sus retos y riesgos en el cultivo, por lo que tenerlos geográficamente separados disminuye el riesgo de que algún fenómeno natural, plaga o enfermedad afecte la producción y no se pueda cumplir con el contrato de exportación.

CULTIVANDO EL FUTURO DE LAS ETNIAS



Figura 81. Talleres y trabajo con productores de Sonora, Sinaloa y B.C.S. En Etchojoa Sonora asistieron estudiantes de UTE de la etnia Mayo, en Cd. Obregón Sonora, asistieron estudiantes de CECyTE que se identifican con la etnia Yaqui. En Sinaloa y B.C.S. se trabajó con sectores vulnerables de zonas rurales (fotografías, Gracia Gomez-Anduro y Efraín Payan).

A continuación, comentamos los principales riesgos que hemos observado en cada una de las regiones:

Sonora

Este estado, por formar parte del granero de México, tiene la ventaja de tener terreno cultivable y gente con experiencia en el trabajo del campo. Sin embargo, hemos observado que la sequía y las heladas son los principales riesgos para el cultivo del chiltepín en esa región. Trabajamos con estudiantes de la Universidad Tecnológica de Etchojoa, y con estudiantes de CECyTE de Cd. Obregón en las que asisten hijos de personas que forman parte de las etnias Mayo y Yaqui del Sur de

Sonora. Con ellos hemos aprendido que la adopción del tema, el manejo del cultivo y el cuidado del chiltepín es algo que pueden aplicar rápido y de forma natural pues el fruto forma parte de sus raíces culinarias y cultura (Ramírez-García 2020, p. 170).

Sinaloa

Es el estado reconocido por su alta producción agrícola, y actualmente lleva la delantera en el cultivo y domesticación del chiltepín. Se ha trabajado directamente en comunidades mayos-yoremes en las que se han establecido los mayores cultivos de chiltepín a cielo abierto. Uno de los factores que han afectado en gran medida la producción de chile chiltepín de forma masiva es la falta de mano de obra para campo en la zona rural; En éstas regiones la mayoría de la población son adultos mayores. Al igual que Sonora y B.C.S. el estado de Sinaloa sufre de sequías que afecta la producción, pero además recientemente se detectó una virosis que causa enchinamiento de las plantas hasta matarlas. Esta virosis es transmitida por insectos chupadores como la mosquita blanca, pulgones, tripa, principalmente (Velásquez-Valle 2013, p. 30). Es importante destacar un aspecto muy importante del cultivo del chiltepín en Sinaloa y es que rompe con la ideología de que solo se puede “vivir bien” mediante la siembra de cultivos ilícitos como los enervantes; En ese sentido, el cultivo de chiltepín ha venido desplazando dichos cultivos de enervantes antaño.

Baja California Sur

En este estado el cultivo del chiltepín apenas inicia, con la finalidad de conocer la adaptación y producción de las plantas de chiltepín en el clima del estado, se estableció la primera plantación experimental en “Rancho la Trinidad”, Santiago en 2019 y en 2023 en La Paz. El mayor reto para el estado, además de las elevadas temperaturas y la sequía (López-Aguilar 2012, p. 2648), son las temporadas de

huracanes de septiembre que se empata con la pepena del fruto maduro del chiltepín.

Retos en la monetización de los productos generados

Para éste grupo de trabajo ha sido importante plantear estrategias para que el sector primario pueda dar valor agregado a sus productos y pueda así tener una mejor calidad de vida y bienestar comunitario. En ese sentido, no solo hemos trabajado con automatizar procesos, dar presentación al producto, etiquetado etc., sino que estamos trabajando en concientizar a los productores y conectarlos con canales de comercialización en los que puedan tener mayores ganancias. Otro aspecto importante y de interés es promover la denominación de origen de la damiana y del fruto chiltepín y así dar valor agregado al producto, beneficiando a las comunidades y etnias del Noroeste. En el caso de damiana se está buscando para el estado de B.C.S. y en el caso de chiltepín para los estados de Sonora, Sinaloa y B.C.S.

Conclusiones

Los trabajos realizados en comunidades del Noroeste de México mostraron que además de generar prototipos de laboratorio, debemos fomentar la aplicación en campo, la continuidad y seguimiento de los proyectos a largo plazo. Para que éste tipo de proyectos fluyan de forma natural y se socialicen en las comunidades, es indispensable escuchar y vivir las problemáticas de los productores, para que las soluciones se trabajen en conjunto. Igualmente se vuelve muy importante promover el amor por la agricultura a las nuevas generaciones de jóvenes, pues cada vez son más los que prefieren las carreras de ingenierías y electrónica en lugar de las agrícolas. Es por ello, que en éste proyecto se desarrollaron trabajos de aplicación de ingeniería, química, biotecnología y otras con la finalidad de mostrar el atractivo

de la ciencia en la agricultura. No debemos olvidar que al final del día, hagamos lo que hagamos, lo que requerimos son alimentos sanos y suficientes.

Valor agregado. Producir alimentos en el sector primario es generalmente mal pagado, el productor asume los principales riesgos como los asociados a factores climáticos, plagas, enfermedades. Por lo que en el proyecto trabajamos para procesar los productos y dar valor agregado utilizando condiciones disponibles en sus comunidades como lo es el uso del sol mediante deshidratadores solares. Un ejemplo sencillo y fácil de comprender es el procesamiento que dimos al mango para convertirlo en orejones que tienen mejor precio de mercado. En los meses de Julio y agosto hay exceso de mango por lo que llega a venderse en \$50 pesos la jaba completa de mango. Éste mismo mango fileteado y deshidratado se vende como “orejones de mango” y alcanza los \$380 el kg en las tiendas de La Paz (Figura 3, A-C). Estamos hablando de que solo por deshidratarlo adecuadamente aumentamos 7 veces la ganancia del mismo producto. Otro ejemplo es la compra de damiana seca y limpia, la cual tiene un precio de venta de \$200 pesos el costal. Mediante la compra de un destilador, sacamos de un costal de damiana los aceites esenciales que se venden hasta en \$1,500 pesos 10 ml (se siguen afinando el proceso); todavía más, con esos aceites esenciales se puede hacer te, salsa y licor de damiana, éste último se vende entre \$350 a 500 pesos el litro dependiendo la calidad (figura 82, D-F).

Mano de obra de campo. Un problema generalizado en las rancherías de B.C.S. es que se están quedando sin gente, los jóvenes migran a las ciudades para poder estudiar o trabajar y los adultos se van quedando solos. Fue indispensable entonces buscar estrategias para mantener la producción agrícola, procesamiento, empaque y venta de productos. En ese sentido, la tecnificación de procesos se volvió indispensable,

CULTIVANDO EL FUTURO DE LAS ETNIAS

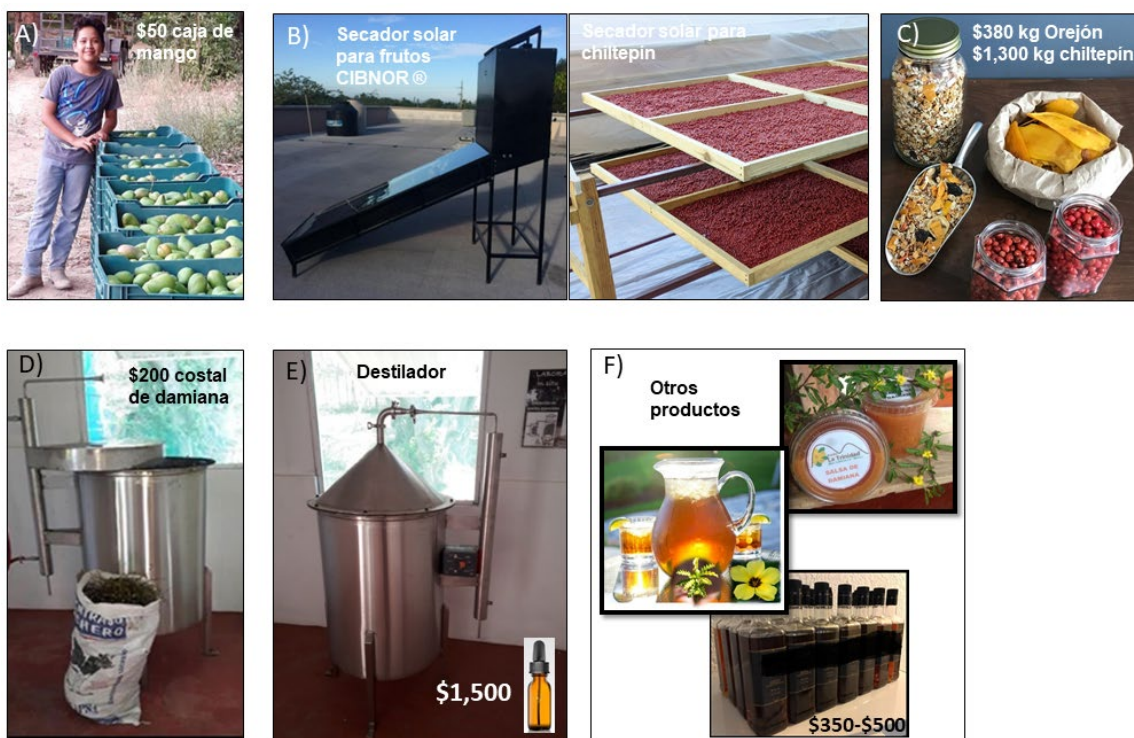


Figura 82. Valor agregado a producto mango y chiltepín (A-C) y damiana (D-F). A) Cosecha de mango en cajas; B) Prototipo de secador solar donado por CIBNOR para el secado de frutos y secadores solares de chiltepín de uso en Sinaloa; C) Precio de venta de productos en comercio local de La Paz; D) Damiana silvestre recién cortada y preparada para destilar; E) Destilador para extracción de aceites esenciales; F) Otros productos obtenidos de damiana: salsa, té y licor (fotografía Carlos Cabada Tavares y Gracia Gómez-Anduro).

Un ejemplo claro y sencillo es la producción de dulce de mango. El proceso artesanal de dulce de mango requiere de despulpar el mango maduro, proceso que llevaba aproximadamente 6 h, para posteriormente empezar a mezclar por 6 h constantemente la pulpa de mango con el azúcar en un cazo de cobre. Durante la tecnificación, el rancho adquirió un despulpador de mango que realiza el trabajo en 30 min para posteriormente pasar la pulpa a una marmita que mueve el dulce por 3 h para finalizar en el cazo de cobre que es el que le da en color y sabor del dulce típico (figura 83). Es decir, se pasa de un proceso de 12 h a un proceso de 3.5 h, en el que el trabajo físico ya no es tan fuerte ni constante, lo que permite que la gente

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

realice otras actividades como cuidado de plantaciones, preparación de alimentos o té para turistas.

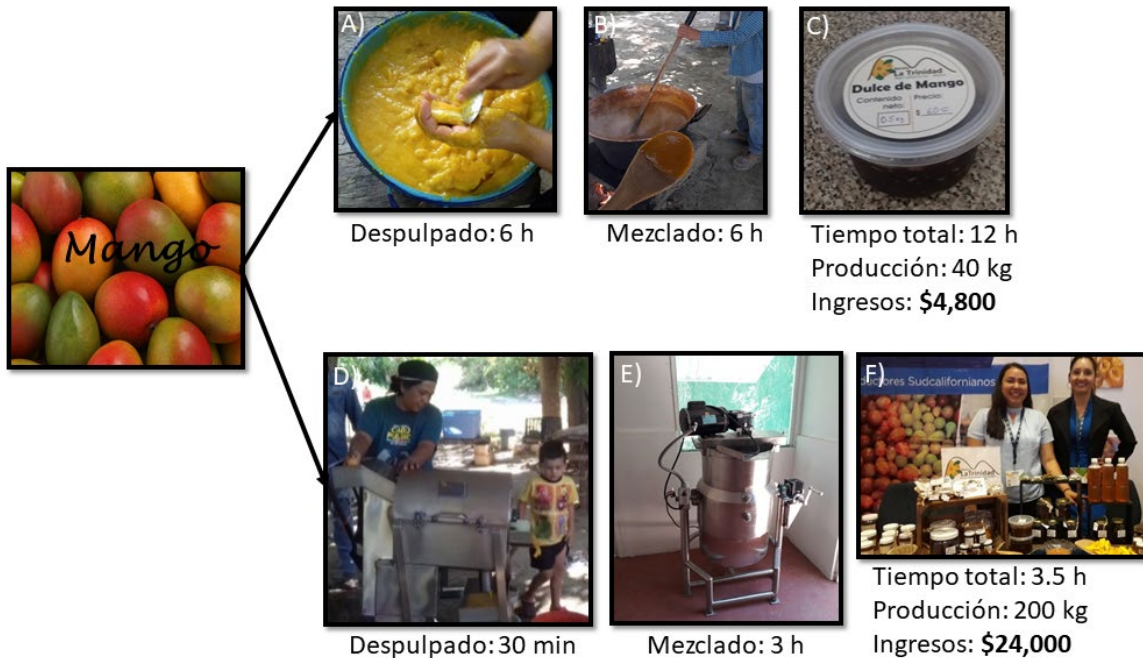


Figura 83. Comparación del proceso artesanal (A-C) y tecnificado (D-F) de la producción de dulce de mango: Tiempo de trabajo, producción e ingresos (fotografías, Gracia Gomez-Anduro).

Líneas de comercialización y presentación adecuada de los productos. Este aspecto se vuelve muy importante al trabajar en comunidades, pues recordemos que estamos hablando de comunidades generalmente de difícil acceso y pocos recursos. Entonces, proveer un contacto para recolectar el producto y llevarlo a los puntos de venta es un aspecto muy importante. Igualmente, importante es el hecho de presentar los productos de la forma y tamaño que demande el mercado. Por ejemplo, el dulce de mango se empacaba en presentaciones de 1 L y de 0.5 L, sin embargo, para poder vender el dulce a la zona hotelera de los cabos, pidieron presentaciones de 1 o 2 oz pues con ello disminuyen las mermas al servir el dulce como mermelada para pan a sus clientes. Otro ejemplo es lo que pasa con el

chiltepín seco, el chiltepín que tiene el mercado es el chiltepín de bolita de 5 a 8 mm de diámetro, si no se cumplen con éstos parámetros, no tienen la misma aceptación en el mercado.

En conclusión, es necesario iniciar escuchando y conociendo la necesidad del productor, generar valor agregado a productos del sector primario, tecnificar procesos y promover líneas de comercialización con la presentación adecuada de los productos, solo así la ciencia agrícola generará recursos en las comunidades y a su vez producirá el tan deseado bienestar comunitario.

Importancia social

Documentamos parte del trabajo realizado en los últimos 5 años en Cibnor para promover actividades agrícolas que mejoren la calidad de vida de las comunidades rurales y etnias del Noroeste de México. El enfoque con el que hemos avanzado considera primeramente el sentir y la necesidad del sector al que nos acercamos, además de proponer nuevas economías sustentables que permitan la sostenibilidad de las familias. Esto porque el bienestar comunitario no se limita solamente a la producción de alimentos, sino que busca fortalecer las economías locales, promover la generación de empleo bien remunerado y mejorar las condiciones de vida.

Perspectivas

La visión para los proyectos comunitarios, radica en aumentar el número de productores y dirigirlos para generar valor agregado a sus productos es prioritario para mejorar la calidad de vida de comunidades rurales, es decir, debemos llevar a los productores del sector primario a otro nivel. Por ello, damos seguimiento y capacitación mediante talleres y apoyamos a los productores para obtener los recursos iniciales para el cultivo. El objetivo es tener producción suficiente con la

calidad adecuada para firmar contratos de exportación y gestionar la denominación de origen de productos clave como chiltepín y damiana.

Literatura citada

- Bañuelos, N., Salido, P.L., Gardea, A (2008). Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios sociales*, 16(32), 7-29. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572008000200006
- Gómez-Anduro, G., Payan-Cázares, E., Hernández-González, J.A., Melero-Astorga, J.M. (2023). Chiltepín: El oro rojo del desierto sonorense. *Bioteecnologica*. 1(5):6-10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10479436>
- López-Aguilar, R., Medina-Hernández, D., Ascencio-Valle, F., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Larrinaga-Mayoral, J.A., Arce-Montoya, M., Gómez-Anduro G.A. (2012). Comparative physiological responses to salt stress in cultivated and wild *Capsicum* species. *African Journal of Biotechnology*, 11(11), 2642-53. https://academicjournals.org/article/article1380813857_Lopez-Aguilar%20et%20al..pdf
- Mc Caughey-Espinoza, D. M., Buitimea-Cantúa, G.V., Buitimea-Cantúa, N.E., Ayala-Astorga, G.I., Ochoa-Meza, A. (2020). Propiedades fisicoquímicas y rendimiento de frutos de chile chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* Dunal) cultivados bajo diferentes condiciones de crecimiento. *Idesia* 38(3), 77-86. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300077>
- Ramírez-García, A.G., Montes-Rentería, R., Ramírez-Miranda, C.A. y Rodríguez-Sauceda, E.N. (2020). Plantas con valor de uso para la etnia Yaqui en Sonora, México. *RA XIMHAI* 16(4) 159-184. DOI: 10.35197/rx.16.04.2020.08.ar <https://www.researchgate.net/publication/346156176>
- Rodríguez Quintana R. (1988). Estudio paleontológico de la clase gasteropoda (mollusca) de la formación trinidad baja california sur, México. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur].
- Velásquez-Valle, R., Reveles-Torres, L.R., Chew-Madinaveitia, Y.I. y Mauricio-Castillo, J.A. (2013). Virus y fitoplasmas asociados con el cultivo de chile para secado en el norte centro de México. Folleto Técnico. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP (49), 1-54 páginas. <http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/VFcultivoCh.pdf>

Para citar esta obra:

Gómez Anduro, G.A., D. R. López Aguilar, J. A. Hernández, E. Payan Cázares y J. M. Melero Astorga. 2025. Cultivando el futuro de las etnias del Noroeste de México con Ciencia agrícola y Bienestar comunitario. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 455-470). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

CAPÍTULO 23

Manejo del Recurso Hídrico en los Sistemas Agroacuícolas

Yenitze Elizabeth Fimbres Acedo y Rodolfo Garza Torres *

rgarza@cibnor.mx

Resumen

El agua es un recurso esencial que afronta una creciente escasez y contaminación en México, lo que pone en riesgo la producción de alimentos y el crecimiento económico del país. El sector acuícola enfrenta desafíos debido a su importante huella hídrica, particularmente en sistemas intensivos. Los Sistemas Acuícolas de Recirculación (SAR) y la Tecnología de Biofloc (TBF) emergen como soluciones sostenibles, reduciendo drásticamente el consumo de agua en un 80-99% y mejorando la calidad de los cultivos y el uso del espacio. Sin embargo, para avanzar hacia la producción circular de alimentos, los sistemas productivos acuícolas han evolucionado hacia los sistemas agroacuícolas; que comparten infraestructura, espacio y materias primas. Estos sistemas incluyen policultivos, acuaponía, floconía, y abarcan la producción de dos o más especies de cultivo, fomentando la eficiencia hídrica y reduciendo los impactos ambientales. Para brindar un esquema general de los sistemas productivos integrados, en este capítulo, presentamos una descripción de su conformación y aplicación, e incluimos proyectos en el noroeste de México que muestran el potencial de estos sistemas para promover la gestión del agua, mejorar la producción de alimentos y apoyar a las comunidades locales. Recalamos la relevancia de las innovaciones y la incorporación de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA); herramientas que facilitan el monitoreo, la simulación y la automatización avanzada al aprovechar los datos de múltiples fuentes, como sensores, estaciones meteorológicas, diversos dispositivos

y tecnologías, contribuyendo a la producción. Esto ha permitido la toma de decisiones informadas sobre el rendimiento, la calidad del producto, la dinámica del deterioro de los alimentos y el monitoreo de los recursos utilizados para la producción, además de facilitar predecir el riesgo de patógenos y otros fenómenos naturales. Al fomentar la adopción de tecnologías sostenibles e integrar los sistemas agroacuícolas a las prácticas productivas, el país puede mejorar la seguridad alimentaria y proteger sus valiosos recursos hídricos.

Palabras clave: *Recurso hídrico; Sistemas Agroacuícolas; Pesquerías; Acuicultura; Agricultura.*

Abstract

Water is an essential resource facing increasing scarcity and contamination in Mexico, putting the country's food production and economic growth at risk. The aquaculture sector faces challenges due to its significant water footprint, particularly in intensive systems. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) and Biofloc Technology (TBF) emerge as sustainable solutions, drastically reducing water consumption 80-99% and enhancing crop quality and space utilization. However, to advance towards circular food production, aquaculture systems have evolved into agro-aquaculture systems, sharing infrastructure, space, and raw materials. These systems include polycultures, aquaponics, and floconics, and encompass the production of two or more species promoting water efficiency and reducing environmental impacts. To provide an overview of integrated production systems, in this chapter, we present a description of their composition and application, including projects in Northwest Mexico that showcase the potential of these systems to promote water management, improve food production, and support local communities. We emphasize the relevance of Innovations and the incorporation of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML), tools that facilitate monitoring, simulation, and advanced automation by leveraging data from multiple sources, such

as sensors, weather stations, various devices, and technologies contributing to production. This has enabled informed decision-making on performance, product quality, food spoilage dynamics, and monitoring for food production, as well as facilitating prediction of the risk of pathogens and other natural phenomena. By promoting the adoption of sustainable technologies and integrating agro-aquaculture systems into productive practices, the country can improve food security and protect its valuable water resources.

Key words: *Water resources; Agro-Aquaculture Systems; Fisheries; Aquaculture; Agriculture.*

Introducción

Recurso hídrico de México

El recurso hídrico, conocido comúnmente como agua, es una parte fundamental en nuestro planeta, integral en su clima y condiciones meteorológicas. Este recurso, es esencial para la vida y primordial en el desarrollo de nuestras civilizaciones, donde ha desempeñado y participa en papeles básicos en la salud, la alimentación, la producción de energía y crecimiento económico para el bienestar humano (Ringler et al., 2022). Un factor primordial para resaltar es la importancia que tiene en los sistemas alimentarios del mundo, los cuales están totalmente respaldados por el agua. Tomando en cuenta, que la población sigue aumentando; se estima que para el 2050, llegará a casi 10 mil millones de personas (ONU, 2019). De las cuales, alrededor del 75% se ubicarán principalmente en economías en desarrollo y emergentes y vivirán en áreas urbanas, requiriendo un aumento de al menos el 70% en la producción de alimentos con respecto a los niveles de 2017 (Hunter et al., 2017), para alcanzar este porcentaje, el recurso hídrico juega un papel vital.

MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

El recurso hídrico de un territorio comprende toda el agua dulce y salobre de los cuerpos de aguas continentales, como lagos, ríos y sus cuencas, además de aguas subterráneas en sus acuíferos. En México, las aguas subterráneas son esenciales para el desarrollo socioeconómico, representando el 38.7% del volumen total concesionado para usos consuntivos como población, riego e industria. México tiene 653 acuíferos, pero 195 de ellos (30%) no tienen disponibilidad ya que toda la capacidad ya está asignada; 106 (16%) están sobreexplotados, 31 (5%) son salinos y 15 (2%) presentan intrusión marina. En el país existen más de 5,163 represas, que almacenan cerca de 150,000 hm³ de agua, y sólo 181 cargan más de 103,000 hm³. Las presas y lagos son los embalses más importantes del país. México tiene pocas lagunas y lagos, y el más grande es el Lago de Chapala, con 1,116 km² (CONAGUA, 2015).

De acuerdo con los datos publicados por la CONAGUA, al 2022, anualmente en México se reciben con las lluvias aproximadamente 1.5 billones de metros cúbicos (m³) de agua. Se estima que el 71.4% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta los flujos de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, el país anualmente cuenta con 0.4 billones de m³ de agua dulce renovable. La disponibilidad de agua en el país pasó de 10,000 m³ por habitante por año en 1960 a 3,663 m³ para el 2021 y en el 2024, se redujo a 3,200 m³, se estima que para el 2030 será <3,000 m³ (IMCO, 2023) (Figura 1). Sin embargo, de manera regional existe una gran diferencia entre el norte y el sureste del país, siendo la región “Frontera Sur” la que mayor cuota de agua por habitante posee (19,819 m³), en contraste con las de menor cuota, “Río Bravo” (981 m³) y “Valle de México” (145 m³). Esta diferencia también se puede observar en los niveles de precipitación en las regiones.

Los estados con lluvias por arriba del promedio son Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, mientras las regiones con déficit de

precipitación son la península de Baja California, el noroeste y los estados costeros del Pacífico mexicano, exceptuando Jalisco y Colima. Gran parte del norte de México alcanza niveles extremadamente altos de estrés hídrico (80%) (Mekonnen et al., 2015).

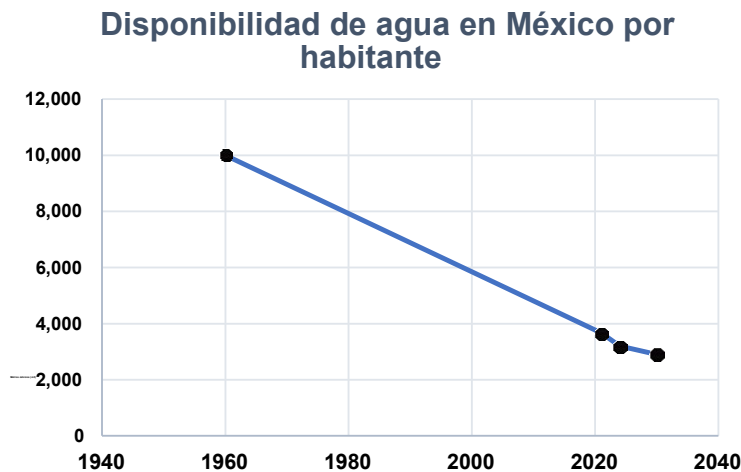


Figura 84. Disponibilidad de agua en México por habitante (1960-2030)

Hablando del recurso hídrico y producción de bienes y servicios, el 76% del total de agua disponible en México se utiliza para la agricultura, ganadería y acuicultura, el 15% para el abastecimiento público, el 5% para la industria y el 4% para las termoeléctricas (CONAGUA, 2018). Sumado a este panorama, se tiene que recalcar que, en muchas regiones, el agua para producir alimentos de fuente animal o vegetal no se utiliza de manera eficiente (D'Odorico et al., 2020). Llevando esta hacia la destrucción y contaminación de hábitats naturales, incluyendo el abatimiento de los mantos acuíferos (Willett et al., 2019).

Actualmente, México vive una crisis hídrica que, al 15 de enero del 2024, afectó con sequías a la mayoría de los municipios del país (IMCO, 2024). Siendo especialmente vulnerables las regiones del norte y centro del país. Este aumento en las sequías es consecuencia de la suma de diversos factores: el cambio climático, cambios en los patrones de precipitación, aumento de la temperatura en promedio de 1.6 °C en los últimos 40 años. Además, a esta problemática se pueden añadir el desperdicio general durante todos los procesos productivos, la falta de infraestructura, el escaso mantenimiento y el crecimiento poblacional. Esto da como resultado, el panorama actual que se vive en el país, donde el agua disponible per cápita es 64% menos que a mediados del siglo pasado (Lara et al., 2013), y con un poco más de 100 presas de agua por debajo del 50% de su capacidad. Además, el Programa Nacional Hídrico 2020-2024, reporta la contaminación del agua por medio de agroquímicos en las descargas industriales y municipales sin tratamiento (CONAGUA, 2022). En general, cerca del 61.5% del territorio mexicano está afectado por la crisis hídrica. Esta situación pone en riesgo todas las actividades económicas y vitales del país.

En el caso del sector productivo, es de suma importancia considerar los modelos actuales, y las metodologías que se implementan, que, en algunos casos, se remontan al siglo pasado. Una de las bases que se han establecido para manejar un estándar en la dirección y evaluación de los sistemas productivos es aumentar la producción de alimentos, mitigar las consecuencias ambientales adversas y al mismo tiempo salvaguardar la seguridad alimentaria para las generaciones actuales y futuras a nivel local y global. Este esfuerzo pone igual énfasis en las ramificaciones económicas, sociales y ecológicas a lo largo de toda la cadena de suministro de alimentos (Godfray et al., 2010; Steiner et al., 2019).

Pesca, acuicultura y agricultura

La producción de alimentos y su diversidad persisten como un aspecto primario en el uso humano de la tierra. La mayor parte de nuestro sustento calórico proviene de

fuentes terrestres, lo que conlleva uno de los importantes desafíos ambientales y de salud del siglo XXI (Fresco, 2009; Willet et al., 2019). Históricamente, la producción de alimentos se ha basado en cuatro sistemas principales: a) agricultura, b) ganadería, c) pesca y d) acuicultura. Estos sistemas productivos, sostienen la producción de proteína vegetal (legumbres, granos, cereales, vegetales y frutas) y proteína animal como animales terrestres (vacas, gallinas, cerdos, etcétera) o animales acuáticos (peces, crustáceos, entre otros) para la nutrición humana (Blanchard et al., 2017). No obstante, cada sector productivo enfrenta problemas, que pueden ser sintetizados a grandes rasgos; uso de combustibles fósiles, generación de emisiones de CO₂, pérdida de biodiversidad, contaminación; que está relacionada con la expansión de las actividades y el aumento en el uso de pesticidas, plaguicidas, fertilizantes, entre otros. Manejo ineficiente de insumos (agua, suelo, energía), falta de conservación y restauración de recursos naturales, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), alta generación de residuos, falta de mejora del bienestar y salud animal, incluyendo la calidad de los cultivos, reducción de la mano de obra, cadena de suministro, uso ineficiente de las poblaciones nativas, falta de control de enfermedades, manejo de los índices de captura y producción, liberación de residuales nitrogenados, falta de gestión de la tierra, el agua, las materias primas y la energía (Shukla et al., 2019; Muller, 2009; Kremsa, 2021; Boulay et al., 2021; Purcell et al., 2023; Briton et al., 2020; Boyd et al., 2020).

Analizando a detalle, el recurso hídrico es compartido en todos los sistemas productivos, siendo un factor preponderante para alcanzar el bienestar. La huella hídrica (HH) ha sido utilizada como una herramienta para calcular las cantidades de agua dulce consumidas y contaminadas a lo largo de la cadena de producción de un bien o servicio específico. Esta medida se expresa en volúmenes de agua por unidad de producto (Hoekstra et al., 2011). El concepto incluye tres componentes: i) la HH azul relacionado con el consumo de superficie o agua subterránea pérdida por evaporación, incorporada a un producto o transferido a otro cuerpo de agua; ii) la HH verde referido al agua de lluvia consumido a lo largo de las cadenas de

MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

producción; y iii) la HH gris, de agua dulce cantidades requeridas para asimilar cargas contaminantes (Hoekstra et al., 2011). Esta herramienta ha ayudado a esclarecer la cantidad de agua, que requiere un bien o servicio, y analizar los procesos que pueden ser mejorados para reducirla. Por ejemplo, el 29% de la huella hídrica (HH) mundial es requerida para producir alimentos para animales, mientras que un tercio de la HH mundial está relacionada con la carne vacuna (Mekonnen y Hoekstra, 2012). Se espera que el consumo mundial de alimentos de origen animal aumente aún más. En la tabla 12, se presentan la HH, de los principales productos que se consumen como alimento.

Tabla 12. Huella Hídrica (HH) generada por los principales alimentos consumidos a nivel mundial. Está representada por la cantidad de litros de agua que se requieren para producir un kilogramo de producto.

Huella hídrica de los principales alimentos (l/kg)					
Carne de res	15,000	Lentejas	5,874	Manzanas	822
Carne de puerco	5,988	Frijol	5,053	Plátanos	790
Pollo	4,325	Trigo	1,827	Papas	287
Huevos	3,265	Arroz	1,673	Repollo	280
Leche	1,020	Maiz	1,222	Tomates	214

Nota: Datos obtenidos de Mekonnen y Hoekstra, 2011; 2012.

La huella hídrica varía según los diferentes cultivos, por categoría de cultivo y también por región de producción, pero en general esta es una aproximación muy acertada (Mekonnen y Hoekstra, 2011). Existe una serie de factores que deben ser mejorados para garantizar la producción sostenible de alimentos a largo plazo. Cada sistema productivo presenta una serie de retos que hacen que la producción de alimentos siga siendo uno de los temas prioritarios. La búsqueda de procesos más eficientes, sostenibles y circulares es una acción presente y futura. En este sentido

el manejo del recurso hídrico se ha vuelto fundamental para dirigir el diseño de metodologías y procesos que garanticen el reducir su uso, o ampliar su uso en más de un proceso.

Monocultivos Acuícolas

La demanda mundial de alimentos requiere la contribución de la acuicultura, y aboga por un enfoque alineado con los principios de la producción circular, con orientación a reducir, reusar y reciclar (Campanati et al., 2022). La naturaleza multifacética de la acuicultura, facilitada por la utilización de diversas técnicas y respaldada por más de seiscientos especies distintas, acentuó su potencial para producir productos alimenticios de alta calidad (Cai et al., 2023). El pescado procedente de la acuicultura muestra un gran potencial para contribuir a la seguridad alimentaria a nivel global (Pauly et al., 2002).

En México, la producción acuícola es una actividad económica, alimenticia y social importante. Se desarrolla tanto en sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos, los cuales presentan diferentes impactos ambientales (Boyd et al., 2007). Por ejemplo, los sistemas extensivos, utilizan mayor espacio, generalmente en estanques, con menor consumo energético en comparación con los otros sistemas, pero generan menor producción y dependen de fertilizantes externos para preparar los cultivos. Los sistemas semi-intensivos, aumentan la densidad de cultivo y son dependientes del recurso energético, hídrico y alimento comercial. En el caso de los sistemas intensivos, la naturaleza del cultivo, lo liga a mayor consumo energético (bombeo, aireación), hídrico, y dependiente del alimento comercial, y al recambio de agua (Yacout et al., 2016; Guzman-Luna et al., 2021).

La tilapia (*Oreochromis* sp.), presenta una producción importante, siendo el segundo pescado mayor producido a nivel global, después de las carpas (Wang y Lu, 2016). En México, la acuicultura de tilapia se lleva a cabo en los tres sistemas

antes descritos, y en los diversos cuerpos de agua tales como presas, ríos, lagunas y embalses ubicados alrededor de la República Mexicana (Flores-Nava, 2007). Los mayores productores se ubican en Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán y Chiapas (CONAPESCA, 2022). México es el noveno productor de tilapia a nivel mundial. En la producción nacional de 2020, se contabilizaron 96,977 t de tilapia procedentes de actividades acuícolas. De este total, el 5.6% provino de sistemas controlados, mientras que el 43.3% se derivó de pesquerías basadas en el cultivo (Urías-Sotomayor y Maeda Martínez, 2023).

Dentro de los problemas generales que presenta la acuicultura se encuentra el uso de alimentos acuícolas y fertilizantes, los cuales contaminan el agua, especialmente a través del nitrógeno (N) y el fósforo (P), el manejo de antibióticos y el consumo de agua para la producción, que compite con actividades como la agricultura, la industria y la ganadería (Verdegem y Bosma, 2009). Guzman-Luna y colaboradores en el 2021, calcularon la huella hídrica, energética y de suelo en el cultivo de tilapia en los sistemas de producción extensiva, semi-intensiva e intensiva (Tabla 13).

Tabla 13. Huella Hídrica, Energética y de suelo calculada para la producción de una tonelada de filete de tilapia en los sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos en México.

	Extensivos	Semi-intensivos	Intensivos
Huella Hídrica Azul (m³/ton)	927	2,909	13,027
Huella Hídrica Verde (m³/ton)	5	7,827	7,831
Huella Hídrica Gris (m³/ton)	398	1,873	1,873
Huella energética (MJ/ton)	4,241	14,451	22,200
Huella de suelo (m²/ton)	1,193	10,723	10,711

Los valores generados en la huella hídrica se deben en gran medida a los métodos de producción. Por ejemplo: La producción de tilapia realizada en un sistema de acuicultura intensiva presenta una huella hídrica azul 4.5 veces mayor que en los semi-intensivos y 14 veces mayor que en los sistemas extensivos. Esto se debe principalmente a que, en los sistemas intensivos debido a la alta densidad y tasa de alimentación, los recambios de agua son necesarios para mantener la calidad de agua del cultivo.

En general, se ha descrito que aproximadamente hay un recambio del 250% del agua por día de los sistemas intensivos, en los sistemas semi-intensivos las tasas son sólo del 30% y en los extensivos no se genera recambio de agua, solo en caso de requerirse alguna emergencia sanitaria. Los sistemas intensivos requieren mucha electricidad, dos veces más que en el sistema semi-intensivo, debido principalmente a una mayor aireación y bombeo. La huella de suelo, indica la cantidad de suelo para generar un producto, en el caso de la acuicultura tanto los sistemas intensivos e intensivos presentan una huella similar debido a que ambos sistemas son dependientes del alimento comercial. Este cálculo incluye el uso directo de la tierra para embalses y estanques y el uso indirecto de la tierra relacionado con los alimentos acuícolas (Guzman-Luna et al., 2021)

La acuicultura ha trabajado en el diseño e implementación de sistemas más eficientes en el uso de la energía, espacio y el recurso hídrico, incluso en el desarrollo de diversas estrategias para mejorar el consumo de alimento, el manejo de residuales y la liberación de estos al medio ambiente (Costa-Pierce et al., 2010). Con relación al manejo del recurso hídrico, la acuicultura presenta avances singulares, por ejemplo, el desarrollo de sistemas productivos más eficientes en el manejo del agua, lo que impulsa cada vez más la atención para este sector como primer suministro de proteína animal (Costello et al., 2012). En términos de los sistemas productivos desarrollados; a nivel mundial, dos sistemas son reconocidos como metodologías eficaces: el Sistema Acuícolas de Recirculación (SAR) y la Tecnología Biofloc (TBF) (Tabla 14).

Tabla 14. Descripción de los Sistemas Acuícolas de Recirculación (SAR) y los Sistemas de Tecnología de Biofloc (TBF).

Sistemas Acuícolas de Recirculación (SAR)
Características Los Sistemas Acuícolas de Recirculación (SAR) se caracteriza por la capacidad de soportar altas densidades y alta producción neta (Timmons et al., 2002). El cultivo de tilapia en SAR está ampliamente distribuido en diferentes partes del mundo, especialmente en áreas que enfrentan escasez de agua dulce y/o condiciones climáticas adversas (El-Sayed, 2020). Ventajas y desventajas La utilización del agua en SAR abarca solo el 20% de lo que se utiliza para el cultivo en estanques abiertos, en promedio utiliza de 2.9 a 3.6 L/min de flujo disponible por cada kg de biomasa (Parker, 2012). Son ambientalmente sostenibles: usan del 90 al 99% menos de agua que los sistemas de acuicultura convencionales, SAR consume aproximadamente 250-1000 l/kg pescado, y descarga menos efluente en comparación con sistemas abiertos, reduciendo el volumen y el costo de tratamiento de aguas residuales (Shnel et al., 2002), solo el 10% del flujo diario total es reemplazado por agua nueva, para compensar el agua evaporada y para diluir la concentración de nitratos (Timmons et al., 2002). Sin embargo, dentro de sus desventajas se encuentra el alto costo de inversión y la alta capacitación requerida para su manejo e implementación.
Tecnología de Biofloc (TBF)
Características Los Sistemas de Tecnología de Biofloc (TBF) se destacan por su bajo o nulo recambio de agua, permite reciclar nutrientes y desechos a través de comunidades microbiológicas autótrofas y heterótrofas, que incluyen bacterias, hongos, microalgas y zooplancton formando flóculos, además de generar un aporte proteico importante (Emerenciano et al., 2021). Ventajas y desventajas Este sistema ofrece la posibilidad de incrementar la densidad del cultivo, obteniendo mayor productividad por unidad de área, disminuyendo la utilización del agua y del espacio, favoreciendo con esto la reducción en los costos de producción. No obstante, es necesario un buen manejo de los parámetros de calidad del agua y la acción simbiótica de los microorganismos dentro del sistema (Emerenciano et al., 2021).

En términos generales, estas técnicas mejoran la utilización del agua, la calidad del cultivo, la eficiencia espacial y la optimización de la infraestructura, convirtiéndolas en enfoques sostenibles para la producción de alimentos. Sin embargo, cabe señalar que, a pesar de sus ventajas, tanto SAR como TBF se aplican comúnmente en sistemas de monocultivo (Zimmermann et al., 2023).

Otra condicionante, si se analiza el panorama mexicano con relación a la adopción de estas tecnologías encontramos que menos del 1% de las granjas utiliza estrategias para reducir el consumo de agua, aunado a que el monocultivo sigue siendo el pilar en la producción acuícola, por ejemplo, el 50% del total de las granjas acuícolas en México, se dedican a la producción de Tilapia, en sistemas extensivos y semi-intensivos (Betanzos-Torres et al., 2020). Respecto al recurso hídrico, la mayoría de las granjas productoras no tratan sus aguas residuales, algunas las reutilizan para la agricultura (García y Calvario, 2008). En general, faltan regulaciones oficiales que controlen la descarga de aguas residuales de las actividades acuícolas (Hermoso, 2016). Todavía hay un largo trabajo por hacer para aumentar la producción a la par que se garantice un manejo adecuado de los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico. En 2020, se registró un déficit de producción de tilapia, abriendo paso a una importación de 140,393 t (con un valor estimado de \$266.8 millones de USD) generalmente de países como China (Urías-Sotomayor y Maeda-Martínez, 2023). Esto resalta la importancia de la actualización en el manejo de las nuevas tecnologías y de hacer frente a los retos actuales que presenta la acuicultura de tilapia, que permitan aumentar las producciones. En este sentido, la acuicultura a nivel global, desde hace un par de décadas ha optado por retomar conocimientos ancestrales y combinarlos con las tecnologías existentes, y es aquí donde los sistemas integrados, mejor conocidos como; sistemas agroacuícolas han encontrado un papel preponderante para la búsqueda de soluciones a largo plazo.

Cabe resaltar que el diseño, mejoramiento y la implementación de nuevos procesos y tecnologías continuará en el futuro inmediato. Teniendo en mente la meta de producir más en menor tiempo y de una manera sostenible a largo plazo que garantice el bienestar social, económico, político, cultural y ambiental de las sociedades y sus conjuntos.

Sistemas agroacuícolas

La producción de alimentos dentro de un corredor de sostenibilidad requiere innovaciones que superen los paradigmas tradicionales, reconociendo la complejidad que surge de eficientizar el manejo de los recursos naturales (Leach et al., 2012; McIntyre et al., 2009; Pretty et al., 2020). Para lograr lo anterior, las acciones locales, regionales y globales son críticas para mejorar la sostenibilidad de la producción reduciendo al mismo tiempo el uso de fuentes de energía no renovables, el exceso uso de espacio y recursos hídrico, y las medidas adaptativas para reducir el impacto ambiental (Sarkar et al., 2020; Wilhelmina et al., 2010).

Algo a considerar, es que el crecimiento poblacional más significativo se dará en las áreas urbanas. Una preocupación mundial es ser más sostenible en la producción de alimentos dentro de las ciudades, donde cuanto mayor es la densidad de población, el precio de la propiedad, la tierra y el agua son escasos, y la necesidad de un sistema de producción eficiente es una necesidad absoluta (Proksh et al., 2019). La producción circular de alimentos encarna un concepto que enfatiza las prácticas respetuosas con el medio ambiente en todas las facetas de la producción, en particular optimizando la reutilización de residuos a lo largo del ciclo de producción.

Es imperativo alinear las estrategias con este marco conceptual. Para abordar este desafío, gana importancia la adopción de sistemas integrados capaces de realizar una producción multifacética utilizando infraestructura, espacio y materia prima compartidos, ejemplificados por los sistemas agroacuícolas. Un desafío importante, es la integración de un sistema más eficiente que abarque la producción simultánea de dos o más especies que abarcan diferentes niveles tróficos, fomentando el desperdicio cero y avanzando en la producción circular de alimentos.

En general, los sistemas agroacuícolas están orientados a maximizar la eficiencia en el uso de los recursos; su historia se remonta a diversos periodos, comenzando con los egipcios en donde se toman los primeros registros acuícolas grabados en la tumba de Nebamun (1350 a.C.) de un cultivo de plantas y peces en estanques cerrados (Feidi, 2018). En China (1135 a.C.), en sus cultivos de arroz inundados, se cosechaban también diversos tipos de carpas (Ruddle y Zhong, 1988).

Del otro lado del mundo, los Aztecas, antiguos habitantes de la cuenca de México (1100 a.C.), utilizaban en sus lagunas el sistema de “chinampas”, que son parcelas artificiales flotantes para la producción de plantas con flores en un medio acuático. Estas “islas” fueron increíblemente fértiles aprovechando las excretas de los peces y las microalgas para nutrir sus cultivos (Kledal y Thorarinsdottir, 2018). En la actualidad, la integración y rediseño de los sistemas productivos, está basándose en la cercanía a los centros consumidores; zonas periurbanas y urbanas.

En el caso de la acuicultura, la evolución de los sistemas hacia la sostenibilidad puede ser descrita de la siguiente manera: policultivos, acuaponia y floccionia (Tabla 15). Nombrados en su conjunto como sistemas agroacuícolas, por permitir la producción acuícola y agrícola dentro de la misma infraestructura y con interconexión en el uso del recurso energético, hídrico y materia prima. Cada sistema tiene una complejidad y una forma de integrar los residuos desde un nivel trófico, generalmente animal, plantas y microorganismos (Martínez-Córdova et al., 2023).

MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

Tabla 15: Clasificación y descripción de los sistemas agroacuícolas: policultivos, acuaponia y floconic.

Clasificación	Características	Ventajas y desventajas
Policultivos	Los policultivos (especies de igual nivel trófico) y cultivos multitróficos (especies de distinto nivel trófico), son sistemas que reciclan de manera eficiente el recurso hídrico y los nutrientes desechados de un cultivo a otros. Dentro de los organismos que se cultivan están peces, invertebrados, moluscos, macroalgas, así como otros vegetales.	De manera económica, los policultivos tienen la ventaja de diversificar sus productos ampliando la oferta. Desde el punto ecológico, reduce la contaminación resultante de la acuicultura. Sin embargo, con el incremento de cultivos intensivos, la carga orgánica supera a los sistemas (Rosa et al., 2020)
Acuaponia	Este sistema agroacuícola integra la hidroponía, cultivo vegetal sin suelo, con la acuicultura de recirculación (SAR), cultivo acuícola, generalmente de peces o crustáceos. Este sistema representa una alternativa a la producción sustentable agrícola.	La producción acuapónica reporta un rendimiento 6 veces mayor, en un sexto de espacio utilizando un sexto de agua en comparación con acuicultura y agricultura convencionales (Nelson y Pade, 2017). Por otro lado, el costo de estos sistemas puede ser elevado y complicado (Okomoda et al., 2023).
Floconia	Floconia es un sistema reciente pero prometedor, que exhibe características notables como una alta eficiencia en el uso de nutrientes que oscila entre el 10 y el 27 % en comparación con el BFT, una reducción del 10 % en los desechos en comparación con la acuaponía y tasas de crecimiento mejoradas observadas tanto en peces como en cultivos (Pinho et al., 2022).	A pesar de sus ventajas y potencial para la producción sostenible de alimentos, la adopción generalizada de sistemas integrados se ve obstaculizada por una deficiencia en estrategias que optimicen la integración y faciliten la escalabilidad. La información sobre la optimización de Floconics es escasa.

La evidencia empírica sugiere que la unificación de sistemas integrados presenta una estrategia potencialmente viable para suplantarse los sistemas de monocultivo convencionales, conocidos por su contaminación ambiental e ineficiencia. En este contexto, los sistemas integrados emergen como una opción factible, dada su adaptabilidad a diversas escalas de operación (Colt et al., 2021).

Cabe destacar que, tradicionalmente, los proyectos agroacuícolas se han iniciado principalmente con tres objetivos generales: promover prácticas dietéticas más saludables, mejorar la producción de alimentos y facilitar la investigación científica. Por ejemplo, en el Noroeste de México, existen diversos modelos implementados que permiten manejar diversas producciones compartiendo el recurso hídrico.

En Baja California Sur, una investigación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y la Universidad de Tottori, conjuntó investigadores y técnicos para desarrollar el proyecto: “Acuaponía combinada con cultivo a cielo abierto adaptado a regiones áridas para la producción sustentable de alimentos” (Figura 85 c). Este sistema de producción de alimentos en zonas áridas fue diseñado para abastecerse con una red fotovoltaica para establecerse en lugares donde la energía es escasa, además utilizó como recurso hídrico, agua de pozo salobre, común en los acuíferos de esta parte del país, filtrándola mientras da paso por las diferentes etapas hidropónicas evitando la salinización del suelo (Baiyin et al., 2020). En la parte acuícola se implementó el cultivo de tilapia bajo el sistema de recirculación acuícola (SAR), calculando el requerimiento diario de proteínas de los peces en vez del porcentaje de biomasa, se mejoró el crecimiento y la producción (Fimbres-Acedo et al., 2019).

La integración generada en el sistema permitió diseñar metodologías para el manejo del recurso hídrico de la parte acuícola a la parte de producción hidropónica, utilizando como base niveles acumulados de nitratos (NO_3^-) en el agua de cultivo, al alcanzar aproximadamente los 250 mg/L, el agua se trasladaba a los sistemas hidropónicos de cama flotante con cultivos de acelga (Kaburagi et al., 2020).

Otra aportación importante, fue generar la base metodológica para integrar como biofiltros las macroalgas *Ulva lactuca* para el aprovechamiento de los compuestos residuales en el agua, reduciendo las cargas de amonio en un 95%, 92% de fósforo y 50% de nitritos y nitratos (Barbosa-Romo, 2019). Una vez

MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

terminado este ciclo de cultivo, el agua biofiltrada por las raíces de las plantas fue utilizada para riego en suelo para el cultivo de chile habanero (JICA, 2020).

El modelo antes descrito, se transfirió a una granja ubicada en la zona desértica de Los Planes, B.C.S., (Figura 85 d) en donde, junto con los agricultores locales se trabajó con cultivo de tilapia en SAR en conjunto con un sistema hidropónico con acelgas para finalizar con la siembra en tierra de chile habanero, además de epazote, verdolaga, betabel y salicornia, eficientizando así el manejo del recurso hídrico escaso en estas regiones (JICA, 2020).

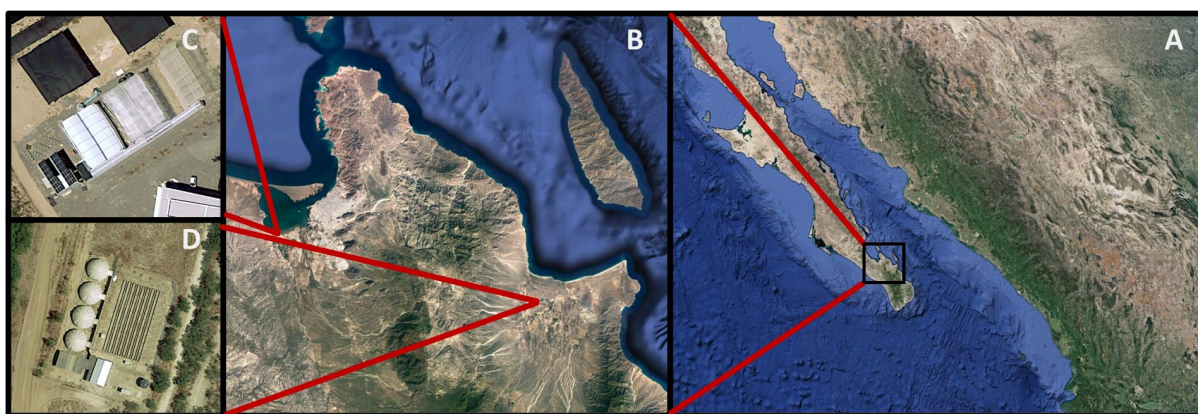


Figura 85. A) Noroeste de México, B) Municipio de la Paz, Baja California Sur, C) Sistema agroacuícola en CIBNOR y D) Sistema agroacuícola en Los Planes, B.C.S.

En el Estado de B.C.S., han surgido asociaciones que apoyan el uso racional de los recursos, la aplicación de metodologías sustentables y tecnologías innovadoras que aseguren alimento de calidad a las comunidades. Como Pez Verde A.C., que con la implementación de sistemas acuapónicos contribuye a revitalizar la actividad económica en las comunidades. Los excedentes de producción de estos sistemas se emplean para promover mercados de agricultura orgánica. En Jalisco, la empresa Bofish, funciona como una gestidora de proyectos que ha introducido

a través de asesorías y cursos, la acuaponía a base de sistemas de recirculación (SAR), utilizando a la tilapia como especie bandera para cultivar hortalizas a niveles local y comercial con metodologías que favorecen un mejor aprovechamiento y reciclaje del recurso hídrico.

Dentro del CIBNOR, se llevaron a cabo estudios sobre la combinación de la tecnología de Biofloc (TBF) dentro de un sistema acuapónico, una nueva técnica que circula el agua con nutrientes residuales floconicos del cultivo acuícola al vegetal. Se caracterizaron los nutrientes de interés hidropónico a partir de la fracción particulada de los residuos del cultivo de tilapia (Fimbres-Acedo, 2015). Además se tomaron las algas *Chlorella* como comunidades fotoautótrofas de los cultivos de tilapia, encontrando mayor concentración de nutrientes en comparación con soluciones comerciales para cultivo de 5 especies de plantas (lechuga, pak-choi, arúgula, espinaca y albahaca) en camas hidropónicas (Fimbres-Acedo et al., 2020 a,b). Este tipo de granjas acopladas tienen la oportunidad de comercializar diversos productos utilizando el mismo recurso hídrico, con la oportunidad de hacerlo en múltiples ciclos o devolverla sin residuos a los cultivos en tierra a cielo abierto.

Nuevas estrategias

La cuarta revolución industrial (Industria 4.0) ha ido ganando impulso desde el 2015 y está cambiando la forma en que se producen, transportan, almacenan, reciben y consumen los alimentos en todo el mundo, dando lugar al surgimiento de nuevas tendencias alimentarias (Hassoun et al., 2024). La tendencia predominante es modificar los sistemas de producción para mejorar la resiliencia y la eficiencia, minimizando al mismo tiempo los impactos ambientales y preservando los recursos naturales. Esta transformación tiene como objetivo facilitar la producción de alimentos saludables, rentables y sostenibles. En la actualidad se han destacado diversas metodologías y procesos que van encaminados a aumentar las producciones sin acrecentar los estragos ambientales, sociales, culturales y

económicos (Himesh et al., 2018). Por ejemplo, se habla de la Agricultura 5.0, que representa una progresión de la Agricultura 4.0, la cual está marcada por una transformación en la precisión impulsada por las nuevas tecnologías, que permitirá que este sector primario pase al siguiente nivel de productividad y rentabilidad (Klerkx et al., 2020).

Esta transición representa una fase transformadora que integra una variedad de tecnologías establecidas y emergentes, que incluyen, entre otras, la nanotecnología, los drones, el Internet de las cosas (IoT), la tecnología de precisión combinada con la robótica y los sensores, entre otras (Burton, 2018; Davies y Garrett, 2018; De Clercq et al., 2018; Rose y Chilvers, 2018; Grieve et al., 2019; Klerkx et al., 2019; Vishnoi y Goel, 2024). Estas innovaciones, significan un cambio transformador hacia sistemas agrícolas futuristas y de alta tecnología. Cabe destacar que la reciente incorporación de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA), facilitan el monitoreo, simulación y automatización avanzada, al aprovechar datos de múltiples fuentes, como sensores, estaciones meteorológicas, diversos dispositivos y tecnologías. Lo que permite, la toma de decisiones informadas sobre el rendimiento de los alimentos, la calidad del producto, la dinámica del deterioro de los alimentos y el monitoreo de los recursos utilizados para su producción.

Con una marcada importancia en la precisión en el uso e implementación de la energía, el recurso hídrico y el uso del espacio (Saiz-Rubio y Rovira-Más, 2020), este enfoque garantiza la producción sostenible de alimentos al tiempo que salvaguarda los recursos naturales (Coronado-Apodaca et al., 2023; Karanth et al., 2023). Por ejemplo, la implementación de la tecnología ha permitido la fortificación de alimentos, la generación de alimentos funcionales incluso ha facilitado predecir zonas de riesgo de patógenos y otros fenómenos naturales para asegurar la interrelación entre sostenibilidad y seguridad alimentaria.

La producción circular, ha venido a sustituir la producción lineal. Este nuevo concepto, está enmarcado en el análisis de todo el proceso que conlleva generar

un producto y la detección de los desperdicios que se generan en este, y la aplicación de metodologías que permitan reducir, reutilizar o reciclar estos desperdicios, conllevando así, un mejor uso de los insumos y productos. Este concepto ha sido la base para establecer procesos que permitan reducir la huella hídrica, energética y de suelo (Stahel, 2016; Geisendorf y Pietrulla, 2018).

Una de las ventajas de utilizar la información y aplicarla al manejo, se puede encontrar en los sistemas cero desechos, que trabajan con el balance energético y de nutrientes, lo que permite un manejo óptimo de los recursos (Yogev et al., 2016; Zhu et al., 2022). Los fundamentos de este modelo facultan el diseñar granjas que recuperen energía, que reduzcan las emisiones de CO₂, reciclen los desechos de los peces y plantas; aprovechando una parte de estos residuales para producir biogás, y la otra parte como un fertilizante para mejorar la producción de las plantas. Estos modelos, que están comenzando a analizarse e implementarse, favorecen la generación de alimentos acuícolas y hortícolas sin desechar nutrientes, incluyendo el manejo integral del recurso hídrico dentro de todo el sistema.

Otro concepto que está ganando importancia, es la agricultura regenerativa y de soluciones basadas en la naturaleza. Este concepto se ha propuesto como alternativa para producir alimentos que pueden tener menores -o incluso impactos positivos ambientales y/o sociales (Rhodes, 2017). Se ha resaltado su potencial para formar parte de una estrategia de mitigación del cambio climático (Newton et al., 2020). La base de este enfoque radica en la implementación de una metodología basada en sistemas que busca mejorar la salud del suelo mediante el aumento de la biodiversidad, la reintegración del carbono al suelo y el reciclaje de nutrientes. Estos esfuerzos, contribuyen a aumentar los rendimientos agrícolas, fortalecer la resiliencia frente a la inestabilidad climática y promover el bienestar y la vitalidad de las comunidades agrícolas y ganaderas. Esta iniciativa se guía por la visión de búsqueda de suelos, alimentos y un planeta más saludable, integrada dentro de los principios de la salud del suelo, el bienestar animal y la equidad social (Rhodes, 2017; Moyer et al., 2020).

En general, se habla que el sector productivo de alimentos está entrando a un periodo de innovación sin igual, donde en la mesa de discusión está el mejorar los procesos productivos para hacerlos resilientes y sostenibles a largo plazo, con producciones constantes, que generen alimentos inocuos y nutritivos para la población creciente. Estas tecnologías prometen tener impactos profundos y de largo alcance en el futuro de los sistemas alimentarios, con potencial para una transformación significativa. Son los pilares de varios paradigmas agrícolas, incluida la agricultura vertical, la agricultura digital, la bioeconomía, la agricultura circular y los sistemas agroacuícolas como la acuaponia (De Clercq et al., 2018).

Conjuntando lo antes descrito, se puede decir; que el objetivo actual de los sistemas agroacuícolas es llegar a desarrollar “granjas cero desechos”, con procesos circulares y regenerativos, que permitan el reciclaje de nutrientes y reaprovechamiento del recurso hídrico indefinidamente. Sobre todo, la disminución en el uso de recursos naturales, favoreciendo el reciclamiento y reutilización de las materias primas. El recurso hídrico es fundamental, y este tiene que ser manejado de manera visionaria, que permita aumentar las producciones, a la vez que se reutiliza este recurso en toda la cadena productiva. En este sentido, los sistemas agroacuícolas presentan una ventaja que es el desarrollo e implementación de la integración de dos o más sistemas productivos que favorecen generar producto animal y vegetal de forma sostenible. A pesar de esto, todavía hay camino por delante en función a la incorporación de tecnologías que faciliten la integración y la reducción en el consumo de materias primas y en la generación de desechos.

Con todo lo que se ha generado en materia de producción de alimentos, incluyendo nuevas tecnologías, y nuevos enfoques, se puede recalcar que tenemos todas las herramientas necesarias para contribuir positivamente al pleno uso de los residuos en actividades complementarias, cadenas de producción y en la mejora de la productividad y rentabilidad de los sistemas productivos alimenticios. Sin olvidar

el impulso que se debe de dar al sector social, cultural, económico, ambiental y educativo.

Conclusiones

Los sistemas agroacuícolas pueden mejorar la eficiencia hídrica y reducir los impactos ambientales en el sector de producción de alimentos de México.

Las tecnologías, como RAS y TBF, pueden mejorar la eficiencia de la producción y la utilización del agua.

La producción circular y la agricultura regenerativa ofrecen estrategias prometedoras para la producción sostenible de alimentos.

Importancia social

Los sistemas agroacuícolas desempeñan un papel crucial en la seguridad y soberanía alimentaria. Una de sus principales ventajas es la versatilidad en el diseño e implementación, lo que permite integrar la acuicultura y la agricultura para la producción conjunta de organismos vegetales y animales. Esta integración incluye además el aprovechamiento y la reutilización de residuos, lo que se traduce en beneficios directos para el bienestar social y el desarrollo económico.

Uno de los principales desafíos en estos sistemas es el manejo adecuado del recurso hídrico, elemento esencial para su éxito y sostenibilidad. En este sentido, la información presentada en el capítulo ofrece una visión integral sobre la gestión del agua, destaca la importancia de implementar prácticas eficientes y subraya el potencial de los sistemas agroacuícolas para fortalecer el sector productivo. Todo

MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

ello con el objetivo de maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, fomentar una gestión hídrica responsable y promover una producción de alimentos sostenible.

Asimismo, al promover enfoques circulares y regenerativos, los sistemas agroacuícolas no solo contribuyen a la conservación de los recursos naturales, sino que también impulsan el desarrollo de las comunidades locales, revitalizando sus economías y asegurando el acceso a alimentos nutritivos y saludables para las generaciones presentes y futuras.

Perspectivas:

Promover la adopción de sistemas agroacuícolas sostenibles, incluidas las tecnologías emergentes.

Fomentar la integración de estos sistemas en las prácticas agrícolas para maximizar la eficiencia de los recursos.

Fortalecer la inversión en investigación e innovación para desarrollar nuevas soluciones a los desafíos de la gestión del agua en la producción de alimentos.

Literatura citada

- Baiyin, B., Tagawa, K., & Gutierrez, J. (2020). Techno-economic feasibility analysis of a stand-alone photovoltaic system for combined aquaponics on drylands. *Sustainability*, 12(22), 9556.
- Barbosa-Romo, A. B. (2019). Tesis Maestria. Recuperación de nitrógeno y fosforo por la macroalga *Ulva Lactuca* en un Sistema Acuícola de Recirculación (SAR) integrado con jurel *Seriola rivoliana*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC.

- Betanzo-Torres, E. A., Piñar-álvarez, M. de los Á., Sandoval-Herazo, L. C., Molina-Navarro, A., Rodríguez-Montoro, I., & González-Moreno, R. H. (2020). Factors that limit the adoption of biofloc technology in aquaculture production in Mexico. *Water (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/w12102775>
- Blanchard, J. L., Watson, R. A., Fulton, E. A., Cottrell, R. S., Nash, K. L., Bryndum-Buchholz, A., ... & Jennings, S. (2017). Linked sustainability challenges and trade-offs among fisheries, aquaculture and agriculture. *Nature ecology & evolution*, 1(9), 1240-1249.
- Boulay, A. M., Drastig, K., Amanullah, Chapagain, A., Charlon, V., Civit, B., DeCamillis, C., De Souza, M., Hess, T., Hoekstra, A. Y., Ibidhi, R., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., McAllister, T., Morales, R. A., Motoshita, M., Palhares, J. C. P., Pirlo, G., Ridoutt, B., ... Pfister, S. (2021). Building consensus on water use assessment of livestock production systems and supply chains: Outcome and recommendations from the FAO LEAP Partnership. *Ecological Indicators*, 124, 107391. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.107391>
- Boyd, C. E., Tucker, C., McNevin, A., Bostick, K., & Clay, J. (2007). Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 15(4), 327–360.
- Boyd, R., Thorpe, R., Hyder, K., Roy, S., Walker, N., & Sibly, R. (2020). Potential Consequences of Climate and Management Scenarios for the Northeast Atlantic Mackerel Fishery. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 7). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.00639>
- Briton, F., Macher, C., Merzeréaud, M., Le Grand, C., Fifas, S., & Thébaud, O. (2020). Providing integrated total catch advice for the management of mixed fisheries with an eco-viability approach. *Environmental Modeling & Assessment*, 25(3), 307–325.
- Burton, L., Dave, N., Fernandez, R. E., Jayachandran, K., & Bhansali, S. (2018). Smart gardening IoT soil sheets for real-time nutrient analysis. *Journal of The Electrochemical Society*, 165(8), B3157.
- Cai, J., Chan, H. L., Yan, X., & Leung, P. (2023). A global assessment of species diversification in aquaculture. *Aquaculture*, 576, 739837. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739837>
- Campanati, C., Willer, D., Schubert, J., & Aldridge, D. C. (2022). Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2), 143–169. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>

- Colt, J., & Schuur, A. M. (2021). Comparison of nutrient costs from fish feeds and inorganic fertilizers for aquaponics systems. *Aquacultural Engineering*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102205>
- Coronado-Apodaca, K. G., Martínez-Ruiz, M., Iqbal, H. M. N., Sosa-Hernandez, J. E., & Parra-Saldívar, R. (2023). Agro-food sustainability transitions: New Frontiers for food security. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 31, 100412.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2015), Estadísticas del agua en México, Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2018). Estadísticas del agua en México 2018.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2022). Estadísticas del Agua en México 2021. Comisión Nacional del Agua. México.
- CONAPESCA. (Comision Nacional de Acuicultura y Pesca). 2022 La Conapesca promueve la producción y consumo de tilapia en el país | Representación AGRICULTURA Yucatán | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx)
- Costa-Pierce, B. A., Bartley, D. M., Hasan, M., Yusoff, F., Kaushik, S. J., Rana, K., ... & Yakupitiyage, A. (2010). Responsible use of resources for sustainable aquaculture. In *Farming the waters for people and food. Proceedings of the Global Conference on Aquaculture* (pp. 113-147).
- Costello, C., Kinlan, B. P., Lester, S. E., & Gaines, S. D. (2012). The economic value of rebuilding fisheries.
- Davies, F. T., & Garrett, B. (2018). Technology for sustainable urban food ecosystems in the developing world: Strengthening the nexus of food–water–energy–nutrition. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 84.
- De Clercq, M., Vats, A., & Biel, A. (2018). Agriculture 4.0: The future of farming technology. *Proceedings of the World Government Summit, Dubai, UAE*, 11–13.
- D’Odorico, P., Chiarelli, D. D., Rosa, L., Bini, A., Zilberman, D., & Rulli, M. C. (2020). The global value of water in agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(36), 21985–21993. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005835117>
- El-Sayed, A.-F. M. (2020). Harvesting, processing, economics and value chain. *Tilapia Culture*, 2, 245–260. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816509-6.00010-0>

- Emerenciano, M. G. C., Fitzsimmons, K., Rombenso, A. N., Miranda-Baeza, A., Martins, G. B., Lazzari, R., Fimbres-Acedo, Y. E., & Pinho, S. M. (2021). Biofloc technology (BFT) in tilapia culture. In *Biology and aquaculture of Tilapia* (pp. 258–293). CRC Press.
- Feidi, I. (2018). Will the new large-scale aquaculture projects make Egypt self-sufficient in fish supplies? *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 1(1), 31–41.
- Fimbres-Acedo, Y. E. (2015). Tesis de Maestria. Caracterización de los nutrientes de interés hidropónico contenidos en la fracción particulada residual de cultivo de tilapia (*Oreochromis* spp.). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC.
- Fimbres-Acedo, Y. E., Magallón-Servín, P., Garza-Torres, R., Emerenciano, M. G. C., Servín-Villegas, R., Masato, E., Fitzsimmons, K. M., & Magallón-Barajas, F. J. (2020). *Oreochromis niloticus* aquaculture with biofloc technology, photoautotrophic conditions and *Chlorella* microalgae. *Aquaculture Research*, 1–24. <https://doi.org/10.1111/are.14668>
- Fimbres-Acedo, Y. E., Rodolfo, A., Torres, G., Endo, M., Servín, R., Kevin, V., Maurício, M. F., & Barajas, F. J. M. (2019). Performance of *Oreochromis niloticus* in recirculating aquaculture systems at different levels of daily protein intake. July, 3326–3342. <https://doi.org/10.1111/are.14291>
- Fimbres-Acedo, Y. E., Servín-Villegas R., Garza-Torres R., Masato E., Fitzsimmons, K. M., Emerenciano, M. G. C., Magallón-Servín, P., López-Vela, M., y Magallón-Barajas, F. J. (2020). Hydroponic horticulture using residual waters from *Oreochromis niloticus* aquaculture with biofloc technology in photoautotrophic conditions with *Chlorella* microalgae. *Aquaculture Research*, August 2019, 4340–4360. <https://doi.org/10.1111/are.14779>
- Flores-Nava, A. (2007). 6.3 Aquaculture seed resources in Latin America: a regional synthesis. *Assessment of Freshwater Fish Seed Resources for Sustainable Aquaculture*, 501, 91.
- García-Ortega, A., & Calvario-Martinez, O. (2008). Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.
- Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 771-782.

- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Grieve, B. D., Duckett, T., Collison, M., Boyd, L., West, J., Yin, H., Arvin, F., & Pearson, S. (2019). The challenges posed by global broadacre crops in delivering smart agri-robotic solutions: A fundamental rethink is required. *Global Food Security*, 23, 116–124.
- Guzmán-Luna, P., Gerbens-Leenes, P. W., & Vaca-Jiménez, S. D. (2021). The water, energy, and land footprint of tilapia aquaculture in Mexico, a comparison of the footprints of fish and meat. *Resources, Conservation and Recycling*, 165, 105224.
- Hassoun, A., Bekhit, A. E. D., Jambrak, A. R., Regenstein, J. M., Chemat, F., Morton, J. D., ... & Ueland, Ø. (2024). The fourth industrial revolution in the food industry—part II: Emerging food trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(2), 407-437.
- Hermoso, V., Abell, R., Linke, S., & Boon, P. (2016). The role of protected areas for freshwater biodiversity conservation: challenges and opportunities in a rapidly changing world. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, 3–11.
- Himesh, S., Rao, E. P., Gouda, K. C., Ramesh, K. V., Rakesh, V., Mohapatra, G. N., ... & Ajilesh, P. (2018). Digital revolution and Big Data: a new revolution in agriculture. *CABI Reviews*, (2018), 1-7.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. <https://doi.org/10.4324/9781849775526>
- Hunter, M. L., Acuña, V., Bauer, D. M., Bell, K. P., Calhoun, A. J. K., Felipe-Lucia, M. R., Fitzsimons, J. A., González, E., Kinnison, M., Lindenmayer, D., Lundquist, C. J., Medellín, R. A., Nelson, E. J., & Poschlod, P. (2017). Conserving small natural features with large ecological roles: A synthetic overview. *Biological Conservation*, 211, 88–95. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2016.12.020>
- IMCO (Instituto Mexicano para la Competitividad) - Centro de Investigación en política pública. (2024). La gestión del agua no es una prioridad en México (imco.org.mx) Consulta el 08 de febrero del 2024.
- JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japon). (2020). Manual Técnico de Acuaponía combinada con cultivo a cielo abierto adaptado a zonas áridas. Miyazawa 21-4 Tottori, Japón.

- Kaburagi, E., Yamada, M., Baba, T., Fujiyama, H., Murillo-Amador, B., & Yamada, S. (2020). Aquaponics using saline groundwater: Effect of adding microelements to fish wastewater on the growth of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. spp. cicla). *Agricultural Water Management*, 227, 105851.
- Karanth, S., Benefo, E. O., Patra, D., & Pradhan, A. K. (2023). Importance of artificial intelligence in evaluating climate change and food safety risk. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100485.
- Kledal, P. R., & Thorarinsdottir, R. (2018). Aquaponics: A commercial niche for sustainable modern aquaculture. *Sustainable Aquaculture*, 173–190.
- Klerkx, L., & Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, 24, 100347.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100315.
- Kremsa, V. (2021). Sustainable management of agricultural resources (agricultural crops and animals). *Sustainable Resource Management: Modern Approaches and Contexts*, 99–145. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824342-8.00010-9>
- Lara, A., Laterra, P., Manson, R., & Barrantes, G. (2013). Servicios Ecosistémicos hídricos: estudios de caso en América Latina y el Caribe. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Leach, M., Rockström, J., Raskin, P., Scoones, I., Stirling, A. C., Smith, A., Thompson, J., Millstone, E., Ely, A., & Arond, E. (2012). Transforming innovation for sustainability. *Ecology and Society*, 17(2).
- Martinez-Cordova, L. R., Emerenciano, M. G. C., Miranda-Baeza, A., Pinho, S. M., Garibay-Valdez, E., & Martínez-Porchas, M. (2023). Advancing toward a more integrated aquaculture with polyculture> aquaponics> biofloc technology> FLOCponics. *Aquaculture International*, 31(2), 1057–1076.
- McIntyre, B. D. (2009). International assessment of agricultural knowledge, science and technology for development (IAASTD): global report.
- Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y (2011). The green, blue and gray water footprint of crops and derived crop products, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1577–1600, <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>, 2011.
- Mekonnen, M. M., Gerbens-Leenes, P. W., & Hoekstra, A. Y. (2015). The consumptive water footprint of electricity and heat: A global assessment.

- Environmental Science: Water Research and Technology, 1(3), 285–297.
<https://doi.org/10.1039/c5ew00026b>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415.
- Moyer, J. D., & Hedden, S. (2020). Are we on the right path to achieve the sustainable development goals? *World Development*, 127, 104749.
- Müller, K. (2009). Remote sensing and simulation modelling as tools for improving nitrogen efficiency for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Christian-Albrechts Universität Kiel.
- Nelson, R. L. (2017). Aquaponics. In *Tilapia in Intensive Co-culture* (pp. 246–260).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118970652.ch15>
- Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., & Johns, C. (2020). What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 194.
- Okomoda, V. T., Oladimeji, S. A., Solomon, S. G., Olufeagba, S. O., Ogah, S. I., & Ikhwanuddin, M. (2023). Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. *Food Science and Nutrition*, 11(3), 1157–1165. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3154>
- ONU- Organizacion de las Naciones Unidas. (2022). World population prospects 2022. Department of Economic and Social Affairs Population Division. [wpp2022_summary_of_results.pdf](https://www.un.org/wpp2022_summary_of_results.pdf) (un.org)
- Parker, R. (2012). *Aquaculture Science*. International Edition (981435488083): NHBS - Cengage learning
- Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, C. J., Watson, R., & Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418(6898), 689–695. <https://doi.org/10.1038/nature01017>
- Pinho, S. M., de Lima, J. P., David, L. H., Emerenciano, M. G. C., Goddek, S., Verdegem, M. C. J., Keesman, K. J., & Portella, M. C. (2022). FLOCponics: The integration of biofloc technology with plant production. In *Reviews in Aquaculture* (Vol. 14, Issue 2, pp. 647–675). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/raq.12617>
- Pretty, J. (2020). New opportunities for the redesign of agricultural and food systems. *Agriculture and Human Values*, 37, 629–630.

- Proksch, G., Ianchenko, A., & Kotzen, B. (2019). Aquaponics in the built environment. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, 523–558.
- Purcell, A. M., Dijkstra, P., Hungate, B. A., McMillen, K., Schwartz, E., & van Gestel, N. (2023). Rapid growth rate responses of terrestrial bacteria to field warming on the Antarctic Peninsula. *The ISME Journal*, 17(12), 2290–2302. <https://doi.org/10.1038/s41396-023-01536-4>
- Rhodes, C. J. (2017). The imperative for regenerative agriculture. *Science Progress*, 100(1), 80–129.
- Ringler, C., Agbonlahor, M., Barron, J., Baye, K., Meenakshi, J. V., Mekonnen, D. K., & Uhlenbrook, S. (2022). The role of water in transforming food systems. *Global Food Security*, 33, 100639.
- Rosa, J., Lemos, M. F. L., Crespo, D., Nunes, M., Freitas, A., Ramos, F., Pardal, M. Â., & Leston, S. (2020). Integrated multitrophic aquaculture systems – Potential risks for food safety. *Trends in Food Science and Technology*, 96(July 2019), 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.008>
- Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87
- Ruddle, K., & Zhong, G. (1988). Integrated agriculture-aquaculture in South China: the dike-pond system of the Zhujiang Delta. CUP Archive.
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207
- Sarkar, D. J., Sarkar, S. Das, Manna, R. K., Samanta, S., & Das, B. K. (2020). Microplastics pollution: an emerging threat to freshwater aquatic ecosystem of India. *J Inland Fish Soc India*, 52(1), 5–15.
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., & van Rijn, J. (2002). Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering*, 26(3), 191–203.
- Shukla, R., Agarwal, A., Sachdeva, K., Kurths, J., & Joshi, P. K. (2019). Climate change perception: an analysis of climate change and risk perceptions among farmer types of Indian Western Himalayas. *Climatic Change*, 152, 103–119.
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435–438.

- Steiner, G., Geissler, B., & Schernhammer, E. S. (2019). Hunger and obesity as symptoms of non-sustainable food systems and malnutrition. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(6), 1–16. <https://doi.org/10.3390/app9061062>
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., (2002). *Recirculating aquaculture systems*, 2 nd. ed. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- Urías-Sotomayor, R., & Maeda-Martínez, A. N. (2023). La producción de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en México como una alternativa para fortalecer la seguridad alimentaria nacional. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*.
- Verdegem, M. C. J., & Bosma, R. H. (2009). Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. *Water Policy*, 11(S1), 52–68.
- Vishnoi, S., & Goel, R. K. (2024). Climate smart agriculture for sustainable productivity and healthy landscapes. *Environmental Science & Policy*, 151, 103600.
- Wang, M., & Lu, M. (2016). Tilapia polyculture: a global review. *Aquaculture Research*, 47(8), 2363–2374. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/are.12708>
- Wilhelmina, Q., Joost, J., George, E., & Guido, R. (2010). Globalization vs. localization: global food challenges and local solutions. *International Journal of Consumer Studies*, 34(3), 357–366.
- Willett, R., Loken, J., Springmann, L., Vermeulen, G., Tilman, D., & Wood, J. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 447.
- Yacout, D. M., Soliman, N. F., & Yacout, M. M. (2016). Comparative life cycle assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semi-intensive and intensive. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 806-819.
- Yogev, U., Barnes, A., & Gross, A. (2016). Nutrients and energy balance analysis for a conceptual model of a three loops off grid, aquaponics. *Water (Switzerland)*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/w8120589>
- Zhu, Z., Yogev, U., Goddek, S., Yang, F., Keesman, K. J., & Gross, A. (2022). Carbon dynamics and energy recovery in a novel near-zero waste aquaponics system with onsite anaerobic treatment. *Science of the Total Environment*, 833, 155245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155245>

Zimmermann, S., Kiessling, A., & Zhang, J. (2023). The future of intensive tilapia production and the circular bioeconomy without effluents: Biofloc technology, recirculation aquaculture systems, bio-RAS, partitioned aquaculture systems and integrated multitrophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15, 22–31.

Para citar esta obra:

Fimbres Acedo Y.E. y R. Garza Torres. 2025. Manejo del Recurso Hídrico en los Sistemas Agroacuícolas. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 471-503). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

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

anieto04@cibnor.mx

Resumen

La generación de conocimiento acerca de especies vegetales con características que les permiten adaptarse a zonas áridas y semiáridas, como el estado Baja California Sur, México, es imperante para ofrecer cultivos vegetales alternativos. En este capítulo se presenta información que se ha generado como resultado de las investigaciones científicas que se realizan en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.. En primera instancia el capítulo explica de forma general el impacto del cambio climático y el agotamiento hídrico en la producción de recursos vegetales en zonas áridas, la resiliencia de estos y sus adaptaciones. Algunos ejemplos que se han estudiado como plantas resistentes a la sequía, a la salinidad, y a altas temperaturas, condiciones que se han acervado debido al cambio climático, se han compartido con productores agrícolas a través de talleres, cursos, colaboraciones directas con la siembra en sus parcelas entre otras actividades. Estos recursos prometen una gran posibilidad de ser aprovechados adecuadamente como alimento y otros usos, por lo que es importante seguir investigando y transferir a los agricultores el conocimiento generado con el fin

del aprovechar los recursos de manera sostenible, con mayor posibilidad de apropiación y enfrentar mejor el cambio climático.

Palabras clave: Especies vegetales: zonas áridas; cambio climático; agotamiento hídrico.

Abstract

The generation of knowledge about plant species with characteristics for its adaptation to arid and semi-arid areas, such as the state of Baja California Sur, Mexico, is essential as a new alternative of vegetable crops. This chapter presents information that has been generated as a result of the scientific research carried out at the Centro de Ciencias Biológica del Noroeste, S.C.. In the first instance, the chapter expose in a general way the impact of climate change and water depletion on the production of plant resources in arid areas, their resilience and their adaptations. Some examples that have been studied as plants resistant to drought, salinity, and high temperatures, conditions that have arisen due to climate change, have been shared with agricultural producers through workshops, courses, direct collaborations with planting in their plots among other activities. These resources promise a great possibility of being properly used for food and other uses, so it is important to continue researching and transferring the knowledge generated to farmers in order to take advantage of the resources in a sustainable way, with greater possibility of appropriation in order to face successfully the climate change.

Key words: Vegetable species: arida zones; climatic change; hidric stress.

El cambio climático y agotamiento hídrico en las zonas áridas

El cambio climático y la crisis global de abastecimiento de agua son dos problemas interrelacionados que afectan de manera significativa a las zonas áridas del planeta. Estas regiones ya enfrentan desafíos naturales relacionados a las sequías debido a la variabilidad significativa en las precipitaciones, y el cambio climático está exacerbando estos problemas (Lluch-Cota *et al.* 2022, p.37). Los impactos de las sequías pueden extenderse a diversos sectores de la sociedad y afectar a varias actividades económicas (Ortega-Gaucin y Velasco 2013, p.80). Desde el punto de vista económico, es altamente probable que el sector agrícola sea el más impactado por las consecuencias adversas del cambio climático (Mendelsohn 2008, p.6).

El cambio climático está estrechamente vinculado a la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Estos gases, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), retienen el calor en la Tierra, contribuyendo al calentamiento global (Raynal-Villaseñor 2011, p.422). Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), las principales fuentes de estos GEI son actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y ciertos procesos industriales (IPCC 2007, p.11). La quema de carbón, petróleo y gas para la energía, así como la deforestación que reduce la capacidad de los bosques para absorber el CO₂, son factores significativos en el aumento de los niveles de gases de efecto invernadero (Vargas-Mena y Yañez 2004, p.6; Catalán 2021, p.60). Estos cambios en la composición atmosférica tienen consecuencias directas, como el aumento de las temperaturas globales, cambios en los patrones de lluvias, sequías y elevación del nivel del mar (Ivanova y Gamez, 2013, p.11).

Abordar el cambio climático implica reducir las emisiones de GEI mediante la transición a fuentes de energía más limpias, prácticas agrícolas

sostenibles, conservación forestal y la implementación de tecnologías más eficientes. La comprensión y gestión de estos gases son cruciales para mitigar los impactos del cambio climático y trabajar hacia un futuro más sostenible.

Condiciones climáticas en las Zonas Áridas

Las alteraciones en los patrones climáticos pueden afectar la cantidad y distribución de las precipitaciones, exacerbando las condiciones de sequía en las zonas áridas. Las condiciones climáticas en las zonas áridas se ven influidas por variables fundamentales del ciclo hidrológico, como la humedad ambiental y la precipitación (Martínez-Austria y Patiño-Gómez 2012, p.5). Estas regiones se distinguen por tener niveles bajos de humedad, altos índices de radiación, variaciones extremas de temperatura y una precipitación media anual reducida (Trovo-Diéguez et al. 2013, p.67). Además, aproximadamente el 90% de la precipitación total anual se da únicamente durante el periodo de lluvias en estas zonas (Medrano 2012, p.12).

Durante el último siglo, se ha registrado un aumento de aproximadamente 0.8°C a 1.2°C en la temperatura global (IPCC 2018, p.4). Este incremento en las temperaturas tiene consecuencias significativas, ya que puede intensificar la evaporación y la demanda de agua, agravando así los problemas de escasez de agua en las zonas áridas (Mercado-Mancera 2010, p.61). Además, las altas temperaturas han provocado alteraciones en el ciclo de las estaciones de crecimiento, lo que ha llevado a disminuciones en el rendimiento de los cultivos locales, reducción en la disponibilidad de agua dulce y una mayor presión sobre la biodiversidad, resultando en una disminución de la cubierta vegetal (IPCC 2019, p.31).

Se han experimentado períodos de calor que superan la media superficial terrestre (13.9°C) durante los últimos años (NOAA, 2022). Este fenómeno sugiere un probable incremento en la frecuencia e intensidad de

eventos climáticos extremos, lo que trae consigo consecuencias tales como inundaciones, incendios, sequías y altas olas de calor (Kachok e Ivanova 2019, p.68). En conjunto, estos cambios en el clima global están potenciando los desafíos ambientales y socioeconómicos, afectando negativamente al sector agrícola.

Resiliencia agrícola ante el cambio climático

La agricultura es una actividad económica, social y cultural importante, no solo desempeña un papel vital en la subsistencia a nivel global, sino que también brinda diversos servicios ecosistémicos (Howden et al. 2007, p.19691). Con aproximadamente el 40% de la superficie terrestre destinada a actividades agrícolas y ganaderas, esta actividad se erige como la principal fuente de empleo en varios sectores alrededor del mundo (López y Hernández 2016, p.461). Sin embargo, la agricultura no está exenta de desafíos, y el cambio climático y el agotamiento hídrico han puesto de manifiesto su vulnerabilidad, afectando profundamente a los agricultores (Lluch-Cota et al. 2022, p.37).

En este contexto, la búsqueda de recursos vegetales adaptados a condiciones cambiantes se vuelve esencial para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en las regiones afectadas. Para fortalecer la resiliencia agrícola, se han propuesto diversas estrategias. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como la rotación de cultivos, el manejo eficiente de residuos agropecuarios y el uso adecuado del agua, emerge como una vía efectiva para minimizar el estrés hídrico y preservar la fertilidad del suelo (Cotler et al. 2007, p.66).

En zonas secas, las condiciones naturales de aridez demandan mantener las bondades del territorio y aprovecharlas de manera sostenible, ya que las diversas áreas áridas han dado riqueza al país: minería, agricultura, ganadería, industria. Asimismo, alimentos, fibras, energía, tienen sus orígenes en las

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES

zonas áridas y de nuevas investigaciones innovadoras depende mantener la prosperidad y desarrollo de estas regiones del país.

En buena medida, la alimentación nacional depende de las entidades del centro y norte, puntos que hacen que el enorme potencial agroalimentario de las zonas secas sea innegable. Es por lo anterior que se deben explorar nuevos caminos con el fin de redescubrir las bondades territoriales y mantener su productividad.

En las últimas décadas, la salinización del suelo en áreas agrícolas en zonas áridas a causa de la irrigación con agua de alto contenido salino ha experimentado un aumento significativo (Kopittke et al. 2019, p.6). Este problema de salinidad del suelo en dichas regiones se ve agravado por prácticas inadecuadas de gestión del agua, como la aplicación ineficiente de riego y la implementación de sistemas de drenaje del suelo inapropiados (Guida-Johson et al. 2016, p.207).

La diversificación de cultivos en las regiones áridas puede ser clave, ya que diferentes variedades pueden tener diferentes niveles de tolerancia a condiciones climáticas extremas (Ojeda et al. 2007, p.83). En este contexto, las investigaciones realizadas en el CIBNOR acerca de recursos vegetales emergentes para la agricultura han contribuido a generar conocimiento que deja evidencia de especies vegetales con potencial de adaptación a las características climáticas de las regiones áridas y semiáridas. Y que representan un recurso potencial en la agricultura para enfrentar ante el cambio climático, así como una esperanza para los agricultores que buscan adaptarse y prosperar en un entorno agrícola desafiante.

Recursos vegetales adaptados a Zonas Áridas

Las evidencias de las investigaciones en el CIBNOR de especies vegetales emergentes capaces de adaptarse a las condiciones adversas de sequía, salinidad y altas temperaturas que como ya se mencionó caracterizan a muchas de las zonas áridas y semiáridas del mundo y en especial de la península de Baja California han permitido identificar las características anatómicas y estrategias ecofisiológicas que les permiten esta adaptación y con ello poder realizar recomendaciones para su cultivo y manejo. Dentro de estas plantas se mencionan a continuación algunos ejemplos y resultados.

1 Plantas resistentes a la sequía:

El chile siempre ha sido un cultivo atractivo para su comercialización, aquellas variedades que crecen de forma silvestre en las zonas áridas y semiáridas, y que han tenido algún grado de manejo por la gente a través de huertos traspatio, representan un gran recurso de diversidad genética. Lo cual se traduce en la posibilidad de usarse para mejorar especies de chiles domesticados con características que les permitan enfrentar la sequía. El chile chiltepín, chilpitín, pico de pájaro como se le conoce por nombre común y de la especie *Capsicum frutescens* L. ha mostrado con poca agua mantenerla dentro de sus células para mantener su producción y además mostrando una gran versatilidad en la expresión en sus formas que a su vez son la expresión de su gran diversidad morfológica como se muestra en la Fig. 86 donde una misma planta muestra formas del fruto muy distintas (Nieto-Garibay et al., 2001, pp.25-34).



Figura 86. A) Chile *Capsicum frutescens* cultivado de semillas de frutos silvestres B) cultivados para experimentación C) expresión de diferentes formas del fruto en la misma planta.

El Nopal (*Opuntia spp.*): Esta cactácea adaptada a condiciones áridas y semidesérticas, la convierte en una opción valiosa para su cultivo en entornos desérticos debido a su capacidad para resistir la sequía y la salinidad del suelo (Juárez-Passera, 2002, p.1). El nopal cuenta con un sistema de raíces superficiales que le permite aprovechar de manera eficiente la escasa cantidad de agua presente en el suelo (Snyman 2006, p.434). Estas adaptaciones se deben a las modificaciones fisiológicas y estructurales propias de las plantas CAM, las cuales les permiten tolerar el calor y la sequía prolongada (Nieto-Garibay, 2003, p.39, Flores et al. 2022, p.291). Este cactus no solo destaca por su resistencia, sino también por su versatilidad en términos de usos. A lo largo de los siglos, sus cladodios han sido empleados como fuente alimentaria y en la medicina popular tradicional debido a sus propiedades nutricionales y beneficios para enfermedades crónicas, según diversas culturas (Santos-Díaz et al. 2017, p.1). Asimismo, el nopal se presenta como una opción agrícola prometedora en zonas áridas, ofreciendo no solo resistencia a condiciones adversas, sino también beneficios alimentarios y económicos para comunidades que buscan cultivos adaptados a estas regiones (Murillo-Amador, et al. 2003, p.281) (Fig. 87).



Figura 87. Cultivo de Nopal como parte de proyectos de investigación del CIBNOR

2 Plantas tolerantes a la salinidad:

Espárrago marino (*Salicornia bigelovii* Torr.): Esta planta es reconocida como halófito debido a su capacidad para tolerar y prosperar en suelos con niveles elevados de salinidad (Rueda-Puente et al. 2011, p.158). La tolerancia a la salinidad en las halófitas es un rasgo complejo que implica muchos cambios fisiológicos y anatómicos en sus tejidos que va desde la producción de solutos compatibles para mitigar el estrés osmótico, la compartimentación de iones tóxicos y la excreción mediante glándulas salinas especializadas (Flowers y Colmer 2008, p.946). Su desarrollo natural en las costas del Pacífico de México ha generado interés en su cultivo en regiones costeras áridas y semiáridas, destacando su utilidad agroindustrial (Rueda-Puente et al. 2017, p.2).

Se ha valorado especialmente por su producción de alimentos con alto contenido proteico, la obtención de aceites vegetales y su aplicación como forraje (Garza-Torres et al. 2020, p.2; López-Corona et al. 2020, p.77). Este interés no solo contribuye a diversificar los cultivos, sino que también fortalece

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES

la seguridad alimentaria en áreas costeras afectadas por fenómenos como la salinización y/o alcalinización del suelo (Beltrán-Burboa *et al.* 2017, p.47). Esta planta ofrece diferentes posibilidades en su manejo y aprovechamiento, así como la alternativa de su cultivo con agua de mar sin competir por el uso de agua dulce (Fig. 88).



Figura 88. Mediciones de plantas de salicornia en medio natural y su cultivo a pequeña escala en el campo experimental del CIBNOR.

Sábila (*Aloe vera* L.): Esta especie autóctona del Mediterráneo es reconocida por su habilidad para tolerar niveles específicos de salinidad y sodicidad (Murillo-Amador *et al.*, 2014, p. 1; Mota-Iltuarte, 2023, p.464). Su distribución se encuentra en zonas semiáridas o áridas con climas cálidos y secos, aunque puede ser cultivada en una variedad de climas subtropicales y tropicales. Además, se considera una opción viable para la producción en condiciones ambientales desafiantes. Se ha comprobado que bajo condiciones moderadas de estrés, como la salinidad, se mejora la calidad del gel, aunque esto va acompañado de un impacto negativo en el crecimiento y la producción

de hojas de sábila (Sifuentes-Rodríguez et al. 2020, p.186). Según Jin et al. (2007), se ha observado que algunas especies de sábila pueden mantener un crecimiento normal incluso en presencia de condiciones estresantes por salinidad, sin afectar su crecimiento. Por otro lado, la sábila utiliza el CAM en su proceso fotosintético. A diferencia de las plantas C3 y C4, que realizan la fotosíntesis durante el día, las plantas CAM abren sus estomas de noche para reducir la pérdida de agua (Granados-Sánchez et al. 1998, p.177), lo cual le confiere niveles elevados de potencial hídrico en sus tejidos frente a situaciones como altas concentraciones de sales, temperaturas elevadas (Fig. 89).

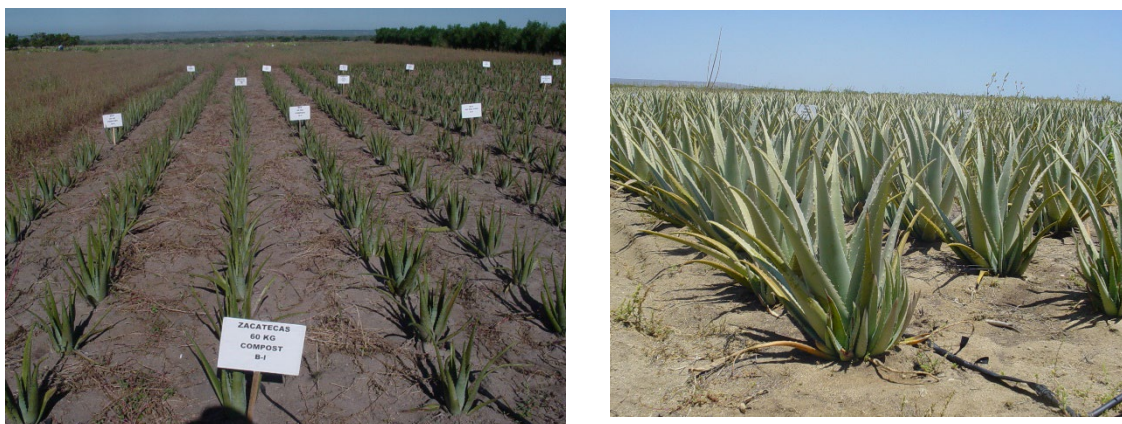


Figura. 89. Cultivo de sábila bajo tratamientos de compost en campo experimental del CIBNOR.

3. Plantas tolerantes a altas temperaturas:

Los resultados del estudio de plantas aromáticas que forman parte del uso tradicional de las zonas áridas y semiáridas, tanto por su uso culinario, medicinal e industrial gracias a los metabolitos secundarios que producen cuando se enfrentan a condiciones de estrés como la sequía, salinidad y altas temperaturas. Tal es el caso de diferentes genotipos de albahaca que han sido

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES

estudiados para conocer su adaptación a condiciones de cultivo bajo mallas sombra y a cielo abierto. Estudiando la temperatura de la hoja de estas plantas y su desarrollo ha sido posible recomendar a los productores, aquellos genotipos que toleran mayores temperaturas y los que no, recomendando su cultivo a cielo abierto o bajo malla sombra. Como se muestra en la Figura 90, los genotipos que se encuentran por arriba de temperaturas de 38 °C son las más aptas para su cultivo bajo malla sombra y las de menores temperaturas a cielo abierto.

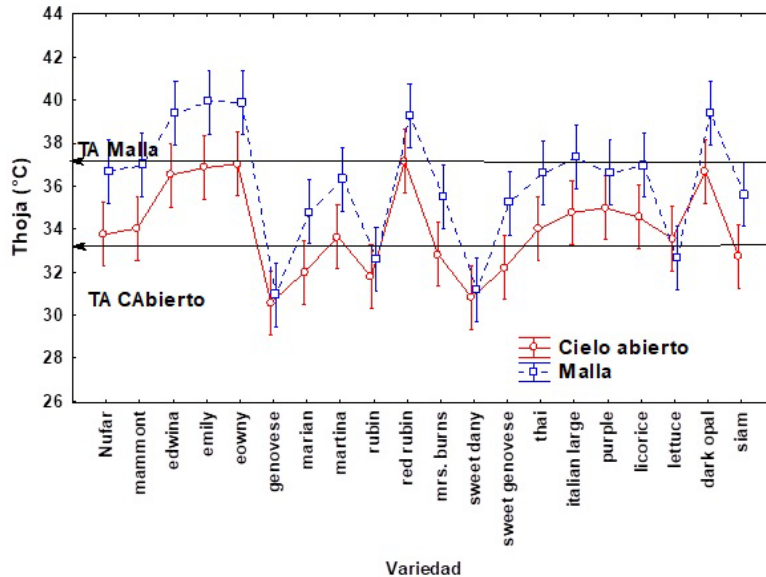


Figura. 90. Temperatura de la hoja (Th) de cada cultivar en cada sistema de producción, con malla sombra (PMS) y a cielo abierto (PCA). Las flechas horizontales indican la temperatura ambiente (Ta) promedio en cada sistema de producción 36.4 °C PMS y 33.6 °C PCA. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

Mezquite (*Prosopis spp.*): El mezquite es una especie dominante, abarcando aproximadamente el 50% de las zonas áridas y semiáridas de México (Hernández et al. 2007, p.211). Desempeña un papel importante en la ecología

y la sostenibilidad de las regiones áridas, ofreciendo múltiples beneficios por sus productos forestales, como maderas para las comunidades humanas, y brinda refugio y alimento a la fauna silvestre (Sauceda 2014, p.176).

El cultivo del género *Prosopis* podría desempeñar un papel crucial en la agricultura de zonas desérticas, debido a que actúa como un eficiente controlador de la erosión del suelo (Abdulahi et al. 2017, p.76). Además, participa en la mejora de la fertilidad del suelo al capturar nitrógeno atmosférico gracias a su asociación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno (Villegas-Espinoza et al., 2014, p.1051). Especialmente, aquellas bacterias que forman nódulos en las raíces de la planta, colaborando de esta manera en su capacidad de adaptación a entornos áridos y semiáridos donde la presencia de nitrógeno puede ser escasa.

4. Plantas mejoradoras de suelo:

Frijol cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp): Identificado también como frijol yorimón en los estados de Sonora y Baja California Sur, este tipo de leguminosa tiene su origen en África, pero se cultiva en diversas regiones del mundo debido a su destacado valor nutricional (Murillo-Amador et al. 2007, p.1; Rodríguez-Cruz 2014, p.1132). Este cultivo muestra resistencia a temperaturas elevadas, tolerancia a la sequía y capacidad para crecer en suelos con baja fertilidad (Carvalho et al. 2016, p.507). Las leguminosas son conocidas por su relación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*, que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico en el suelo (de Freitas et al. 2012, p.109). Esta asociación mutualista beneficia tanto a las leguminosas como a las bacterias, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y ayudando a otras plantas a crecer en condiciones adversas (Bashan y de-Bashan 2010, p.114).

Esta especie se posiciona como cultivo significativo en la planificación de agroecosistemas sostenibles debido a las ventajas que muestran en las regiones áridas y semiáridas de México, donde existe baja disponibilidad de recursos hídricos y escasa fertilidad edáfica (Bianco y Cenzano 2018, p.2) (Fig. 91).



Fig. 91. Semillas de frijol cowpea obtenidas de plantas cultivadas en el campo experimental del CIBNOR.

Conclusiones

Los trabajos de investigación que se realizan de los recursos vegetales emergentes para la agricultura han permitido generar conocimiento para compartirlo y trasmitirlo de manera útil a los productores agrícolas. Ejemplo de ello ha sido el trabajo que se realiza con el grupo de mujeres “Guardianas del Conchalito” en La Paz, B.C.S., quienes a través de pláticas respecto a las características biológicas de la salicornia buscan su adecuado manejo, preservación y aprovechamiento (Fig. 92).



Figura 92. Taller acerca de la biología de la salicornia en su ámbito natural con el grupo de mujeres “Guardianas del Conchalito”.

La importancia de ofrecer a productores agrícolas a través de talleres, cursos, foros etc. (Fig. 93) alternativas para el aprovechamiento de recursos que vegetales adaptados a las condiciones del cambio climático, con menos requerimientos hídricos, menor impacto en el ambiente y que además tienen un interés nutricional y comercial es un trabajo que se realiza de forma común y parte importante de las investigaciones realizadas que forman parte del Programa de Investigación de Agricultura en Zonas Áridas del CIBNOR.

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES



Figura 93. Cursos Talleres impartidos a productores con diferentes temas que forman parte de los resultados obtenidos de recursos vegetales emergentes para su adecuado aprovechamiento.

Importancia social

Las investigaciones realizadas acerca de las posibilidades de encontrar y generar conocimiento de aquellos recursos vegetales con la capacidad de adaptarse a las condiciones áridas y semiáridas, son de suma importancia para la sociedad. El cultivo de especies mejor adaptadas, con bajos requerimientos de agua y tolerancia a altas temperaturas tiene diversos beneficios entre ellos que no compiten por el agua para su uso urbano. Desde el punto de vista productivo ofrece mayores posibilidades para la obtención de recursos económicos a través de su comercialización y una mayor ganancia debido a los bajos costos de inversión para su producción. Al considerarse algunas especies locales representan además parte de los saberes de la sociedad.

Perspectivas

Es importante destacar que la introducción de estos recursos vegetales mencionados debe llevarse a cabo de manera cuidadosa, considerando factores ambientales, sociales y económicos para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. También es fundamental aumentar la inversión en investigación agrícola para explorar y validar nuevas variedades con resistencia a la sequía, salinidad y altas temperaturas. La transferencia de los conocimientos generados a los agricultores son elementos esenciales que debemos considerar para fortalecer la resiliencia en la agricultura. Proporcionar información sobre prácticas agrícolas sostenibles, técnicas de conservación del suelo y métodos de gestión del agua puede capacitar a las comunidades agrícolas para abordar de manera más eficaz los desafíos climáticos.

Literatura citada

- Abdulahi, M. M., Ute, J. A., y Regasa, T. (2017). *Prosopis juliflora* L: distribution, impacts and available control methods in Ethiopia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 75-89.
- Almodares, A., y Hadi, M. R. (2009). Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African journal of agricultural research*, 4(9), 772-780.
- Bashan, Y., y de-Bashan, L. E. (2010). Microbial populations of arid lands and their potential for restoration of deserts. En: *Soil biology and agriculture in the tropics* (pp. 109-137). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Beltrán-Burboa, C. E., Arce, M. E., Bianciotto O., López Ahumada, G. A., Vargas, J. M., Hernández-Montiel, L. G., Reyes-Pérez, J. J., Nieto-Garibay, A., Ruiz-Espinoza, F. H., Ayala Alvarez, F., Cisneros Almazán, R., Wong Corral, F. J., Borboa Flores, J., y Rueda-Puente, E. O. (2017). *Salicornia bigelovii* (Torr.): Un sistema modelo para incorporarse como cultivo agrícola en zonas árido-desérticos. *Biotecnia*, 19,46-50.
- Bianco, L., y Cenzano, A. M. (2018). Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. *Implicancia ecológica. Idesia, ahead*, 0. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292018005002601>

- Carvalho, M., Castro, I., Matos, M., Lino-Neto, T., Silva, V., Rosa, E., y Carnide, V. (2016). Caracterização agro-morfológica de acessos de feijão-frade (*Vigna unguiculata*): bases para o melhoramento. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(4), 506-517.
- Catalán Alonso, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 52(204), 59-83. <http://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.204.69611>
- Cotler H., E. Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica*, (83), 5-71.
- de Freitas, A. D., Silva, A., y Sampaio, E. V. (2012). Yield and biological nitrogen fixation of cowpea varieties in the semi-arid region of Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 45, 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.017>
- Flores, J., Briones, O., y Andrade, J. L. (2022). Physiological ecology of Mexican CAM plants: history, progress, and opportunities. *Botanical Sciences*, 100(SPE), 290-324. <https://doi.org/10.17129/botsci.3107>
- Flowers, T. J., y Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New phytologist*, 179, 945-963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>
- Garza-Torres, R., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Lucero-Vega, G., Magallón-Barajas, F. J., García-Galindo, E., Fimbres-Acedo, Y., y Murillo-Amador, B. (2020). Environmental and Management Considerations for Adopting the Halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. as a Sustainable Seawater-Irrigated Crop. *Sustainability*, 12(2), 707. <https://doi.org/10.3390/su12020707>
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., y Gama-Flores, J. L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente*, 4(1), 169-178.
- Guida-Johnson, B., Abraham, E. M., & Cony, M. A. (2017). Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1), 205-215.
- Hernández, A. F., Calzada, R. T., Ávila, J. A., Herrera, G. G., Valdez, J. Z., y Herrera, J. H. (2007). Características agroecológicas de la población de mezquite (*Prosopis* spp.) en la región de San Juan de Guadalupe, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6(2), 211-217.

- Howden, S. M., Soussana, J. F., Tubiello, F. N., Chhetri, N., Dunlop, M., y Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19691-19696.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Summary for Policymakers. En: Core Writing Team, R.K Pachauri y A. Reisinger (Ed.), *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 2-22). Suiza: IPCC (Geneva).
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). Summary for Policymakers. En: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (Ed.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 3-24). Reino Unido: Cambridge University. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for Policymakers. En: P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi y J. Malley (Ed.), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 2-22). Suiza: IPCC (Geneva).
- Ivanova, A., y Gamez, A. (2013). *Baja California Sur Ante el Cambio Climático: Vulnerabilidad, Mitigación y Adaptación*. México: UABCS, SEMARNAT, CIBNOR, CICESE, INECC, IPN-CICIMAR.
- Jin, Z., Wang, M., C. H., Liu, Z. P., y Gong, W. J. (2007). Physiological and ecological characters studies on Aloe vera under soil salinity and seawater irrigation. *Process Biochemistry*, 42:710-714, <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.11.002>
- Juárez, M. C., y Passera, C. B. (2002). In vitro propagation of *Opuntia ellisiana* Griff. and acclimatization to field conditions. *Biocell*, 26(3), 319-324. doi: 10.3389/fpls.2022.926653

- Kachok, R., y Ivanova, A. (2019). Índices de cambio climático en la reserva de la biosfera El Vizcaíno, Baja California Sur, México (1960-2012). *Revista Brasileira de Climatologia*, 24, 67-93. [https://doi:10.5380/abclima.v24i0.51845](https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.51845)
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., y Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment international*, 132(105078), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Lluch-Cota, S. E., Velázquez-Zapata, J. A., y Nieto-Delgado C. (2022). Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 8 (2), 35-47. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.02.0004>
- López-Corona, B. E., Mondaca-Fernández, I., Gortáres-Moroyoqui, P., Meza-Montenegro, M. M., Balderas-Cortés, J. D. J., Ruíz Alvarado, C., y Rueda-Puente, E. O. (2020). Ecofisiología y bioquímica de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por efecto de quitosano-aib bajo condiciones del desierto de Sonora. *Polibotánica*, (49), 75-92. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.5>
- Martínez-Austria, P. F., y Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5-20.
- Medrano, F. G. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Mendelsohn, R. (2008). The impact of climate change on agriculture in developing countries. *Journal of natural resources policy research*, 1(1), 5-19. <https://doi.org/10.1080/19390450802495882>
- Mercado-Mancera, G., Troyo-Diéguéz, E., Aguirre-Gómez, A., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, L. F., y García-Hernández, J. L. (2010). Calibración y aplicación del índice de aridez de De Martonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zona áridas. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 51-64.
- Mota-Ituarte, M., Pedroza-Sandoval, A., Minjares-Fuentes, R., Trejo-Calzada, R., Zegbe, J. A., y Quezada-Rivera, J. J. (2023). Water deficit and salinity modify some morphometric, physiological, and productive attributes of *Aloe vera* (L.). *Botanical Sciences*, 101(2), 463-475. <https://doi.org/10.17129/botsci.3175>

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

- Murillo-Amador, B.; Troyo, D. E.; García, H. J. L.; Landa, H. L. y Larrinaga, M. J. A. (2000). El frijol Yorimón leguminosa tolerante a sequía y salinidad. México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Murillo-Amador, B. E., Troyo-Diéguez, E. E., y García-Hernández, J. L. E. (2003). Ecología del Nopal. En: Murillo-Amador, B. E., Troyo-Diéguez, E. E., y García-Hernández, J. L. E. El Nopal: Alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. (pp. 281-284). México: CIBNOR
- Murillo-Amador, B., Yamada, S., Yamaguchi, T., Rueda-Puente, E., Ávila-Serrano, N., García-Hernández, J. L., López-Aguilar, R., Troyo-Diéguez, E. y Nieto-Garibay, A. (2007). Influence of Calcium Silicate on Growth, Physiological Parameters and Mineral Nutrition in Two Legume Species Under Salt Stress. *J. Agronomy & Crop Science*. 193, 413-421 <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.20.11111.x>. ISSN 0931-2250.
- Murillo-Amador, B., Córdoba-Matson, M. V., Villegas-Espinoza, J. A., Hernández-Montiel, L. G., Troyo-Diéguez, E., y García-Hernández, J. L. (2014). Mineral content and biochemical variables of Aloe vera L. under salt stress. *PLoS One*, 9(4), e94870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094870>
- Nieto-Garibay, A. (2003). Ecología del Nopal. En: Murillo-Amador, B. E., Troyo-Diéguez, E. E., y García-Hernández, J. L. E. El Nopal: Alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. (pp. 27-47). México: CIBNOR
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B. y Troyo-Diéguez E. (2001). Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico. *International Journal of Experimental Botany Phyton*. 2001, 25-34.
- NOAA National Centers for Environmental Information. (11 de marzo de 2023). Monthly Global Climate Report for Annual 2022. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213/supplemental/page-6>.
- Ojeda B., W., Sifuentes-Ibarra, E., Rojano Aguilar, A., e Íñiguez Covarrubias Austria, M. (2007). Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. En: Austria, P. F. M., y Gómez, C. P. (Ed.), Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México (pp. 65-113). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Ortega-Gaucin, D., y Velasco, I. (2013). Aspectos Socioeconómicos y Ambientales de las Sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2), 78-90.
- Raynal-Villaseñor, J. A. (2011). Cambio climático global: una realidad inequívoca. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(4), 421-427.

- Rodríguez-Cruz, F. J., Júnior de Almeida, H., y Mathias dos Santos, D. M. (2014). Growth, nutritional status, and nitrogen metabolism in *Vigna unguiculata* (L.) Walp is affected by aluminum. *Australian Journal of Crop Science*, 8(7), 1132-1139.
- Rueda-Puente, E. O., Beltrán-Morales, F. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. D., García-Hernández, J. L., Ávila-Serrano, N. Y., Partida-Ruvalcaba, L., y Murillo-Amador, B. (2011). Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: aprovechamiento de la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 157-167.
- Rueda-Puente, E. O., Murillo-Amador, B., Ortega-García, J., Rangel-Preciado, P., Nieto-Garibay, A., Holguín-Peña, R. J., López-Ahumada, G., Rodríguez-Félix, F., Vargas-López, J. M., y Wong-Corral, F. J. (2017). Desarrollo natural de la halófito *Salicornia bigelovii* (tor.) En zona costera del estado de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 1-9.
- Santos-Díaz, M. D. S. S., Barba-de La Rosa, A. P., Héliers-Toussaint, C., Guéraud, F., y Nègre-Salvayre, A. (2017). *Opuntia* spp.: Characterization and benefits in chronic diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8634249>
- Sauceda, E. N. R., Martínez, G. E. R., Valverde, B. R., Ruiz, R. M., Hermida, M. D. L. C. C., Torres, S. M. M., y Ruiz, H. H. P. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.
- Sifuentes-Rodríguez, N. S., Pedroza-Sandoval, A., Zegbe, J. A., y Trejo-Calzada, R. (2020). Indicadores de productividad y calidad de gel de sábila en condiciones de estrés salino. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(2), 181-187.
- Snyman, H. A. (2006). Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. *South African Journal of Botany*, 72(3), 434-441. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2005.12.008>
- Troyo-Diéguez, E., Mercado-Mancera, G., Cruz-Falcón, A., Nieto-Garibay, A., Valdez-Cepeda, R. D., García-Hernández, J. L., y Murillo-Amador, B. (2013). Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (85), 66-81. <https://doi.org/10.14350/riq.32404>

Vargas-Mena Amezcua, A., y Yañez-Sandoval, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental?. Gaceta Ecológica, Boletín de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (70), 5-56.

Villegas-Espinoza, J. A., Rueda-Puente, E. O., Murillo-Amador, B., Puente, M. E., Ruiz-Espinoza, F. H., Zamora-Salgado, S., y Beltrán Morales, F. A. (2014). Bacterias promotoras de crecimiento de plantas autóctonas y su efecto en *Prosopis chilensis* (Molina) Stunz. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(6), 1041-1053.

Para citar esta obra:

Seminario Peña, J., A. Nieto Garibay *, E. Troyo Diéguez y B. Amador Murillo 2025. Recursos vegetales emergentes para la agricultura de zonas áridas ante el agotamiento hídrico y el cambio climático. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 505-527). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

SECCIÓN VII

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 25

CONCLUSIONES

Luis Felipe Beltrán Morales * y Alfredo Ortega Rubio

lbeltran04@cibnor.mx

El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. desde su creación, hace casi medio siglo, ha contribuido de manera continua y permanente por medio de su prominente capacidad de generación de conocimiento relacionado al uso, manejo y conservación de los recursos naturales en el desarrollo regional del noroeste de México con un amplio sentido de responsabilidad social, sentido humano, respeto al medio ambiente y desarrollo sustentable inclusivo.

Por medio de sus programas académicos ha impactado de diferentes formas en la calidad de vida de sus pobladores y de los ecosistemas que forman parte de esta maravillosa región del noroeste del país.

El Programa de Planeación Ambiental y Conservación (PLAYCO) ha realizado investigación interdisciplinaria, reconociendo la importancia de las interacciones entre los procesos físicos, químicos, biológicos y sociales que inciden en los socio-ecosistemas. Para entender los procesos que impactan o regulan la dinámica de los ecosistemas, se realizan estudios de campo y experimentales y se aplican herramientas a escala de paisaje como análisis espaciales y sistemas de información geográfica. Los resultados en investigación científica, tecnológica y social del PLAYCO, han reconocido a la diversidad biológica como un patrimonio natural de nuestro país y un componente de su riqueza nacional, cristalizando sus esfuerzos de trabajo para mitigar la pérdida de biodiversidad.

CONCLUSIONES

Debido a la amenaza a la biodiversidad del país y a sus sistemas socio-ecológicos tradicionales; el personal académico del Programa ha realizado históricamente un fuerte trabajo para su conservación, particularmente con la colaboración para la declaratoria y manejo de 13 Áreas Naturales Protegidas, caracterizándolas como Parques Nacionales, Reservas de la Biosfera, y Áreas de protección de flora y fauna, ecosistemas desérticos, humedales, islas, oasis, bosques y sistemas socio-ecológicos tradicionales.

Asimismo, se participa en el diseño y recomendaciones de políticas públicas, como planes de desarrollo estatales, planes de ordenamiento ecológico territorial, consejos asesores de áreas naturales protegidas y organizaciones de la sociedad civil. Ha sido interés del PLAYCO, mantener la integridad funcional de los socio-ecosistemas, conservar la biodiversidad y la salud ambiental que permitan fortalecer la resiliencia de los sistemas naturales y sociales.

El Programa de Investigación en Acuicultura (PAC) a través de cuatro décadas trabajando desde la ciencia para el desarrollo sustentable de la acuicultura es uno de los más grandes, en términos de infraestructura y recursos humanos, con mayor experiencia en América Latina. Se ha mantenido a la vanguardia en investigación para la mejora de tecnología para el cultivo de organismos acuáticos, impulso a la producción de especies con alto valor nutritivo, económico y ecológico. Sus líneas de investigación, han abordado al paso de los años los principales retos científicos y tecnológicos que enfrenta la acuicultura contemporánea. Los avances en distintas vertientes de la acuicultura moderna han hecho del CIBNOR un aliado continuo para el desarrollo de una industria sustentable y en crecimiento.

Entre los principales impactos en materia acuicola, ha sido la investigación y transferencia del conocimiento generado en materia de mejoramiento genético y sanidad de camarón que han resultado en alianzas permanentes con la industria y la consolidación de un buen número de empresas del sector. Ha sido un aporte importante la reproducción en cautiverio y producción subsecuente de semilla de varias especies de moluscos (osti6n, almeja mano de le6n) y peces (huachinango,

cabrilla y jurel), procesos que han podido ser transferidos y adaptados por una industria naciente en el noroeste de México.

El desarrollo de biotecnologías para la obtención de productos derivados de microalgas como biocombustibles, ácidos grasos omega 3 y otros nutraceuticos de alto beneficio para la salud humana ha sido otros de los aportes destacables, así como la creación de infraestructura con tecnología de vanguardia para la producción de alevines y juveniles de tilapia, cultivo para beneficio del sector social del Noroeste y Occidente del país, contribuyendo de manera considerable a la seguridad alimentaria del país.

El Programa de Agricultura en Zonas Áridas (PAZA) a través de sus cinco líneas estratégicas de investigación se ha vinculado con el sector social y productivo principalmente del noroeste de México para coadyuvar en la producción de alimentos de origen vegetal y animal. Se ha generado conocimiento de frontera que ha permitido la validación y transferencia de tecnologías a diversos sectores agropecuarios del estado, permitiendo la conservación de los recursos naturales y manteniendo la soberanía alimentaria.

La producción agrícola y pecuaria en el estado de Baja California Sur se ha limitado debido a las condiciones ambientales, presencia de plagas y enfermedades, el recurso agua, entre otros. Este programa ha realizado sus principales aportes en Agricultura Orgánica, Fitosanidad e Inocuidad Alimentaria, Agrotecnología y Recursos Energéticos, Agua, Suelo y Clima en Agricultura en Zonas Áridas, Biotecnología y Aprovechamiento de Recursos Genéticos. Entre los aspectos más destacados con los que ha contribuido el PAZA en la región se encuentran la generación de conocimiento en la práctica de nuevas tecnologías, insumos, procesos y manejo como parte de la agricultura orgánica. Asimismo, se han estudiado en diferentes cultivos las enfermedades emergentes y re-emergentes asociadas con las infecciones mixtas con los patógenos vasculares, para elegir las metodologías avanzadas para su prevención y control.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado investigación en germoplasma de especies endémicas planteando estrategias de conservación y selección de aquellas con potencial biotecnológico, investigación en el uso de microorganismos como alternativa de fertilización no contaminante, y como biocontrol contra fitopatógenos. Otras contribuciones han sido en el análisis de las comunidades microbianas asociadas a los cultivos, el diagnóstico de la disponibilidad y balance del agua y proponer planes de manejo integrado de cuencas, acuíferos y humedales en zonas áridas y semiáridas para la conservación y uso eficiente de los recursos agua y suelo, analizando los efectos del cambio climático, el desarrollo de biotecnologías para la detección de organismos genéticamente modificados, así como de diagnóstico molecular de fácil uso y bajo costo para plagas y enfermedades, desarrollo de inmunobiotecnologías y nanotecnologías para la prevención de enfermedades en el área agrícola, pecuaria, y el desarrollo de cultivos alternativos e hidropónicos en sistemas de acuaponía para las zonas áridas y semiáridas.

El Programa de Ecología Pesquera (PEP) ha desempeñado un papel crucial en la mejora del bienestar social al identificar el impacto de las actividades pesqueras en los ecosistemas marinos y las comunidades locales. La gestión sostenible de los recursos pesqueros ha sido una prioridad, buscando armonizar la explotación pesquera con la conservación de los ecosistemas y la protección de las comunidades dependientes de la pesca. Además, el programa ha contribuido de manera significativa a la toma de decisiones informada, identificando cómo la actividad pesquera influye en las comunidades locales en términos de empleo, ingresos y calidad de vida.

La investigación también se centra en la reducción de los impactos ambientales y la mejora de la eficiencia de las actividades pesqueras, abordando cuestiones críticas para lograr una pesca más sostenible. Las conclusiones derivadas de estos estudios no solo informan sobre la situación actual de los recursos marinos, sino que también respaldan la formulación de políticas y estrategias de gestión, contribuyendo así al desarrollo de enfoques más

equilibrados y sostenibles en el ámbito pesquero. Las principales líneas de investigación donde ha impactado el PEP son al determinar las causas e impactos de las actividades humanas asociadas a la pesca que provocan o inducen cambios en la biodiversidad marina. Se han propuesto nuevas pesquerías mediante el estudio y conocimiento de recursos pesqueros potenciales, masivos o de gran valor en el mercado, como el caso de la langostilla, calamar, merluza, la medusa bola de cañón, cangrejos y camarones de profundidad.

Otros aspectos que se han identificado son los efectos de la actividad humana, las variaciones climáticas y la presión de pesca sobre los ecosistemas costeros que no se conocían de manera precisa por la falta de indicadores claros y comparables del estado de salud de dichos ecosistemas. El PEP ha impactado en la creación de valor económico a los productos de la pesca al promover su uso y aprovechamiento integral, proponiendo usos alternativos para algunas especies de bajo o nulo valor económico incluyendo los subproductos de la industria pesquera, la evaluación de la calidad proteica e identificación de biomoléculas con potencial de comercialización, como es el caso del colágeno, algunas enzimas, pigmentos y polímeros como la quitina, entre otros.

En cuanto a los aportes en materia de política pública del PEP destaca su contribución en la elaboración del Plan Rector de Pesca y Acuicultura para México y los estudios para el establecimiento del decreto que reserva especies de interés comercial para la pesca deportiva en las 50 millas nauticas del mar patrimonial de México. Este decreto a generado una gran derrama económica, generación de empleos de calidad, afluencia turística y el uso sustentable de estos recursos marinos.

Las Unidades Foráneas del CIBNOR han sido ejes articuladores con la sociedad, han acercado a la generación de ciencia con la resolución de problemáticas con el sector social, productivo y gubernamental en las ciudades

CONCLUSIONES

donde están ubicadas. Sus impactos y beneficios gestados han sido muchos, trataremos de mencionar algunos de ellos.

La Unidad Guerrero Negro (UGA), establecida hace 27 años, está ubicada cerca del paralelo 28 en Baja California Sur, ha colaborado intensamente en el desarrollo regional mediante proyectos de vinculación, transferencias tecnológicas, asesorías y capacitaciones en la comunidad y poblados donde está inmerso. En el transcurso del tiempo se han establecido parcelas demostrativas y capacitaciones directas en campo acerca del uso del riego por goteo e irrigación en diferentes comunidades rurales. Los productores de ganado de la porción central de la península de Baja California han aprendido que el uso del riego rodado en melgas o surcos no es la técnica adecuada para producir forrajes en las zonas áridas y semiáridas del noroeste de México.

Por medio de las técnicas transferidas por esta Unidad, se han incrementado los rendimientos forrajeros y se hace un uso eficiente de los recursos naturales, principalmente agua y suelo. La UGN ha transferido tecnología para producir hortalizas y la producción de estas verduras frescas con el uso de técnicas agronómicas respetuosas con el medioambiente, ha mejorado la dieta alimenticia y la economía familiar en estos poblados rurales con poco acceso a las cadenas de valor de productos comerciales.

La Unidad Guaymas ubicada en el estado de Sonora desde hace tres décadas, ha basado la generación de conocimiento en los ámbitos pesquero, acuícola, hidroclimatología, así como de ecología y gestión de la zona costera. Se han enfocado en atender demandas de sectores productivos de pesca, acuicultura, turismo y movimiento marítimo, así como de diversas dependencias del sector gubernamental para apoyar la toma de decisiones en aspectos pesqueros, acuícolas y de gestión de la zona costera.

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

También, el personal técnico y científico de la unidad realiza actividades en el marco del programa de posgrado institucional, por lo que cuenta con infraestructura orientada a la docencia; adicionalmente participa activamente en incidir en la apropiación social del conocimiento, acercar la ciencia a la educación y fomentar la cultura científica en la sociedad.

La Unidad Hermosillo del CIBNOR nace en 1993, como una entidad de instrumentación electrónica realizando estudios de calidad de aire midiendo partículas suspendidas PM10, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. Entre los impactos más relevantes de esta unidad han sido la realización de múltiples estudios de riesgo ambiental para la Comisión Federal de Electricidad (CFE), evaluación de nivel de contaminación atmosférica de partículas PM10, SO₂ y NO_x en las ciudades de Uruapan y Zitácuaro Michoacán, Evaluación del nivel de contaminación atmosférica de partículas PM10, SO₂, NO_x y CO en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

En el año 2002, la Unidad Hermosillo se orientó a servicios de sanidad acuícola, con la creación del Laboratorio de Análisis Integrales Acuícolas (LAIA). Hoy en día es un laboratorio de referencia con la introducción de técnicas de detección de patógenos en moluscos, peces y crustáceos, con un menor tiempo y costo, lo cual ha tenido un efecto favorable en el sector pesquero y acuícola de la región.

La Unidad Nayarit (UNCIBNOR), es la unidad foránea más joven CIBNOR, aunque ya casi cumple una década de existencia en 2025. La Unidad Nayarit es un Centro Desarrollo Tecnológico e Innovación dedicada principalmente a la producción de crías y juveniles de Tilapia. Esta Unidad ha logrado influir significativamente en la cadena de valor de la Tilapia en México, al ser depositarios y distribuidores de una de las mejores líneas genéticas de Tilapia en el mundo.

CONCLUSIONES

Atiende a mas de 175 productores, la gran mayoría del sector social, cumpliendo la misión de apoyar a los sectores más necesitados de nuestro país. Se les brinda el servicio especializado de transporte para entrega en granja, empleando métodos que reducen el estrés a los organismos. Se ha logrado dotar de la materia prima requerida por acuicultores y productores organizados en sociedades cooperativas, sociedades de producción rural, y empresas del sector privado en 14 estados de la República Mexicana: Aguascalientes, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Querétaro, Sinaloa y Zacatecas.

Desde inicios de operaciones de la Unidad, se ha logrado vender aproximadamente 16.5 millones de crías de tilapia masculinizadas y los impactos sociales y económicos que se han producido han sido muy importantes. La UNCIBNOR ha realizado donativos de crías de tilapia y de pescado en momentos de crisis de manera directa a las comunidades marginadas del Estado de Nayarit. Asimismo, han sido relevante las actividades de formación de recursos humanos en esta entidad.

Un aspecto relevante que se ha impulsado y desarrollado en el CIBNOR han sido sus áreas de innovación por medio de un Centro de Patentamiento, una Oficina de Transferencia de Tecnología y un Parque de Innovación Tecnológica. Estas áreas cuentan a la fecha con 29 solicitudes de patente, 8 patentes otorgadas, 63 signos distintivos, 29 derechos de autor y 181 declaraciones de invención. Estos resultados lo convierten en un potencial de conocimiento protegido y validado para ser transferido a la sociedad en su conjunto e impulsar el desarrollo socioeconómico local, regional y nacional.

Por último, debemos mencionar que en este libro solo se exponen algunos resultados de investigación a manera de casos de estudio, sería muy complicado plasmar en un libro cada uno de los resultados de investigación generados por el CIBNOR en sus casi cinco décadas de creación.

Para citar esta obra:

Beltrán Morales L.F * y A. Ortega Rubio. 2025. Conclusiones. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 531-539). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp

**ÁRBITROS EXTERNOS QUE
REVISARON CAPÍTULOS**

ÁRBITROS EXTERNOS QUE REVISARON CAPÍTULOS

Dr. Luis Cesar Almendarez Hernández
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN

Dr. Marcial Arellano Martínez
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN

Dr. Dr. Asahel Benítez Hernández
Universidad Autónoma de Sinaloa

Dra. Obdulia Baltazar Bernal
Colegio de Postgraduados

Dr. Omar Calvario Martínez
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

Dr. Ramón Casillas Hernández
Instituto Tecnológico de Sonora

Dra. Carmen A. Contreras Vergara
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

Dr. Víctor Hugo Cruz Escalona
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN

Dra. Luz María Cruz García
Investigadora-Profesora Titular
UABCS

Dr. Genaro Diarte Plata
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo
Integral Regional Unidad Sinaloa IPN

Dra. Lourdes Mariana Díaz Tenorio
Instituto Tecnológico de Sonora

Dra. Ruth Escamilla Montes
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo
Integral Regional Unidad Sinaloa IPN

Dr. Ismael Edrein Espinosa Curiel
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de
Ensenada,

Dra. Diana Fimbres Olivarría
Universidad de Sonora

Dr. Fernando Isaac Gastelum Mendoza.
Universidad Autónoma de Baja California

Dr. Ramsés González Estrada
Instituto Tecnológico de Tepic

Dr. José Manuel Grijalva Chon.
Universidad de Sonora

Dra. Ariadne Hernández Pérez
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Hugo Herrera Cervantes
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de
Ensenada,

Dr. Basilio Lara Chávez
Universidad de Colima

Dr. Luis Rafael Martínez Córdova
Universidad de Sonora

Dra. María A. Mendoza Becerril
El Colegio de la Frontera Sur

Dra. Janette Magalli Murillo Jiménez
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN

**Dr. Ramón Pacheco Aguilar,
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo**

**Dr. Jesús Guadalupe Padilla Serrato
Investigador por México (CONAHCYT)
Universidad Autónoma de Guerrero**

**Dr. Emilio Peña Messina
Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología-
Universidad Autónoma de Nayarit**

**Dr. Marco Vinicio Rodríguez Deméneghi
Universidad Veracruzana**

**Dra. Abril Karim Romo Piñera
Universidad Autónoma de Baja California Sur**

**Dr. Arturo Ruiz Luna
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo**

**Dr. Jony Ramiro Torres Velázquez.
Instituto Tecnológico del Valle Yaqui**

**Dra. Lizbeth Salgado-Beltrán
Universidad de Sonora**

Dra. Mariana Vázquez Hurtado
Consultora Independiente

Dr. José Alberto Zepeda Domínguez
Universidad Autónoma de Baja California

El libro Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México,
para el bienestar comunitario, fue terminado en el otoño de 2025
en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.
La Paz, Baja California Sur. México

La composición tipográfica se realizo con la familia arial,
el texto corrido está en 12 pts y un interlineado
de 1.5 espacios

