La biodiversidad en BAJA California SUR

Estudio de Estado

Volumen 3

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

La biodiversidad en BAJA California SUR

Estudio de Estado

Volumen 3

ISLA

PNUD

VISIT BAJA CALIFORNIA SUR

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

CONABIO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

GOBIERNO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Primera edición, 2025
Obra completa: 978-607-8570-85-0 **Volumen III: 978-607-8570-88-1**

Coordinación y seguimiento general:
Andrea Cruz Angón[1]
Erika Daniela Melgarejo[1] Jorge Cruz Medina[1]

Reconocimiento especial por sus actividades de seguimiento y gestión
Rosa Maribel Collins Sánchez[2], María Elena Martínez Delgado[3] y Antonio Cantú Díaz Barriga[3]

Cuidado de la edición:
Claudia Verónica Gómez Hernández
Jorge Cruz Medina[1]
Karla Carolina Nájera Cordero[1]
Erika Daniela Melgarejo[1]

Corrección de estilo:
Elssy Aileen Eyssautier Gómez
Jorge Cruz Medina[1]
Karla Carolina Nájera Cordero[1]

Cartografía:
Jorge Cruz Medina[1]

Diseño y formación:
Claudia Verónica Gómez Hernández/Vector Diseño

Derechos patrimoniales y editoriales
D.R. © 2025 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)
Liga Periférico - Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan, C.P. 14010, Ciudad de México
www.gob.mx/conabio

Nacional Financiera S.N.C., en su carácter de Fiduciaria del Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad
Liga Periférico - Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan, C.P. 14010, Ciudad de México

Conservación del Territorio Insular Mexicano, A.C. (ISLA)
Calle Dunas No. 155, La Esperanza I, C.P. 23090, La Paz, Baja California Sur
www.isla.org.mx

[1] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
[2] Secretaría de Turismo y Economía de Baja California Sur
[3] Conservación del Territorio Insular Mexicano, A.C.

La publicación de esta obra fue financiada por el proyecto "Integración de criterios de la Conservación de la Biodiversidad para el Sector Turístico en México con énfasis en los Ecosistemas Costeros Ricos en Biodiversidad" (KUXATUR) a través del Programa de las Naciones Unidas (PNUD), el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y el Fideicomiso de Turismo de Baja California Sur (FITUES).

Salvo en aquellas contribuciones que reflejan el trabajo y quehacer de las instituciones y organizaciones participantes, el contenido de las contribuciones es de exclusiva responsabilidad de los autores.

Impreso en México/Printed in Mexico

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

In memoriam

Aurora Breceda Solís Cámara
José Juan Pérez Navarro
Miguel Ángel Leal Jiménez
David Javier López Cortés
Francisco De Lachica Bonilla
Yoav Bashan

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Presentación

La biodiversidad, la inmensa y compleja red de la vida en nuestro planeta, es el pilar que sustenta los procesos ecológicos y el bienestar humano. Es crucial para el funcionamiento de los ecosistemas, para la economía, la cultura y la calidad de vida de las personas. En un mundo donde la actividad humana está alterando continuamente los entornos naturales, es imperante comprender la importancia de la biodiversidad para valorar lo que implica su pérdida, desarrollar estrategias de conservación efectivas y promover un desarrollo sostenible.

La biodiversidad es un pilar fundamental para las actividades económicas como la agricultura, la ganadería y el turismo. Es vital para sustentar la salud de los ecosistemas, lo que a su vez garantiza la provisión de los servicios ecosistémicos esenciales como la regulación del clima, la provisión de agua y la producción de alimentos, entre muchos otros.

El presente documento, *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*, que con gran orgullo y satisfacción presentamos, surge de la necesidad imperante de entender nuestra situación actual, conocer las dinámicas que nos afectan y trazar una ruta hacia la sostenibilidad.

Representa una base fundamental para la conservación, la restauración y recuperación de ecosistemas, el desarrollo sostenible, la toma de decisiones informadas y el diseño de políticas públicas, para lograr áreas urbanas sostenibles y resilientes y, poblaciones rurales con mejores oportunidades de bienestar.

Para el Gobierno del Estado de Baja California Sur es muy gratificante ser parte de esta obra que se inserta en el marco de la iniciativa de las Estrategias Estatales de Biodiversidad coordinada por la CONABIO y que a su vez permite dar cumplimiento a los compromisos establecidos en el Plan Estatal de Desarrollo de Baja California Sur, 2021 – 2027, en la búsqueda de un estado de bienestar, mejores oportunidades, con inclusión y justicia ambiental para la población sudcaliforniana.

Comprender la importancia de la biodiversidad, conocerla, protegerla y preservarla es una responsabilidad de todos. Deseamos que este documento se constituya en un llamado a la conciencia colectiva y participación de todas y todos.

Asimismo, deseo expresar mi más sincero reconocimiento y agradecimiento a las más de 270 mujeres y hombres que, con profundo compromiso y vocación de servicio, aportaron sus conocimientos y experiencia para la elaboración de este Estudio de Estado. Gracias a su dedicación fue posible desarrollar 143 contribuciones que integran información robusta acompañada de mapas, fotografías, gráficas y diagramas, conformando tres volúmenes y cerca de 1 450 páginas.

Este esfuerzo colectivo es un legado invaluable para Baja California Sur. Refleja la grandeza de nuestra comunidad científica, académica, institucional y social, y nos brinda herramientas sólidas para tomar decisiones que protejan nuestra riqueza natural y fortalezcan el bienestar de nuestro pueblo. A todas y todos, mi gratitud y reconocimiento por contribuir a la construcción de un futuro más justo, sostenible y digno para la gente de Baja California Sur.

Prof. Víctor Manuel Castro Cosío
Gobernador Constitucional del Estado de Baja California Sur

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Mensaje

El Gobierno del Estado de Baja California Sur, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), y un grupo de expertos locales, nacionales e internacionales, han sumado esfuerzos para conformar la obra *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*, que reúne el conocimiento más amplio disponible sobre la riqueza natural de la entidad.

Baja California Sur destaca por albergar una singular biodiversidad, resultado de su historia geológica, sus condiciones de semiaislamiento (dentro de una península, casi isla) y su clima, así como por la variedad de ambientes terrestres y marinos que la conforman. Esta obra –integrada por 143 contribuciones distribuidas en 10 secciones y 3 volúmenes– compila información robusta y confiable sobre la diversidad biológica sudcaliforniana, con datos detallados sobre grupos biológicos y su diversidad genética, además de analizar la dinámica de sus ecosistemas y las principales fortalezas y oportunidades de mejora en distintos ámbitos, para promover un desarrollo socioeconómico en armonía con la naturaleza.

Esta obra está diseñada como una herramienta de referencia para autoridades gubernamentales, instituciones académicas, comunidades locales y sociedad en general, al proporcionar información clave para la planeación, diseño e implementación de políticas públicas orientadas a la conservación del patrimonio natural y al desarrollo sostenible de la entidad.

La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado constituye el diagnóstico estatal número 28 en ser publicado, el cual aporta elementos fundamentales para la implementación de la *Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y Plan de Acción al 2030*, así como para el cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos por México en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB).

La CONABIO reconoce y agradece el compromiso de los 272 autores pertenecientes a 48 instituciones académicas, gubernamentales y de la sociedad civil que participaron en la elaboración de esta importante obra. Gracias a este trabajo colectivo, Baja California Sur cuenta ahora con un valioso instrumento que permitirá fortalecer la toma de decisiones informada, fomentar la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, y favorecer que las generaciones presentes y futuras sigan beneficiándose de este invaluable patrimonio natural sudcaliforniano.

Raúl Jiménez Rosenberg
Secretario Ejecutivo de la CONABIO

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Índice

9 **Presentación**
11 **Mensaje**
15 **Introducción**

7 Diversidad génetica
23 Resumen ejecutivo
27 Diversidad genética
36 EC. Diversidad bacteriana en tapetes laminados en Guerrero Negro
43 Estudios filogeográficos: enseñanzas para el manejo y conservación de la biodiversidad
57 Panoramas de la diversidad genética en plantas
69 Estado de la diversidad genética de los recursos acuícolas
81 Diversidad genética de elasmobranquios
91 Diversidad genética en peces marinos
105 Diversidad genética en aves
117 Diversidad genética en los mamíferos
124 EC. Diversidad genética de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el golfo de California

8 Usos tradicionales y convencionales
137 Resumen ejecutivo
139 Servicios ambientales
146 EC. Servicios ambientales y actividad ecoturística en Espíritu Santo
152 EC. Valoración económica de los servicios ecosistémicos amenazados por un proyecto minero: el caso de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna
157 Acceso diferenciado por género a los beneficios de la biodiversidad
163 Usos de la biodiversidad
176 EC. Aprovechamiento de recursos naturales en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna
180 EC. Fuente de innovación en biotecnología en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno
193 Plantas alimenticias
206 EC. Aprovechamiento de macroalgas marinas
215 De la prehistoria a la cultura del rancho sudcaliforniano
228 EC. Actividad cinegética del borrego cimarrón (*Ovis canadensis weemsi*)
234 EC. Aprovechamiento histórico de los cetáceos
242 EC. Ballenas: un recurso turístico
249 Recursos pesqueros
262 EC. Ostras perleras: un tránsito de la pesquería a la maricultura sustentable
270 EC. Pesquería de sardina y otros peces pelágicos menores

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

276 EC. Cambio en el uso de la biodiversidad en Cabo Pulmo
282 EC. Marco regulatorio de la pesca deportiva: recomendaciones para el desarrollo sustentable
287 Aprovechamiento dentro de las áreas naturales protegidas

9 Factores de presión y oportunidades
305 Resumen ejecutivo
307 Factores de presión: cambio climático
317 Tendencia de índices de cambio climático, 1960-2012
324 EC. Índices de aridez en las regiones pluviométricas y tipos de vegetación, 1960-2012
332 EC. Tendencias de cambio en la cobertura vegetal: cambio de uso del suelo y variabilidad climática
340 EC. Cambio climático y florecimientos algales nocivos
350 EC. Efectos del cambio climático en las cactáceas endémicas a la Península de Baja California
354 EC. Relación entre las tendencias climáticas y el dengue
361 Impacto de la variabilidad climática natural sobre la biodiversidad marina
368 EC. Riesgos a la conservación por la proliferación de proyectos turísticos en el municipio de Los Cabos
374 EC. Erosión por ganadería en la Sierra La Laguna
382 EC. La minería metálica y sus impactos al ambiente
388 EC. Contaminación por arsénico en la Sierra La Laguna
392 EC: Estrés oxidativo por contaminación y su efecto potencial sobre la biodiversidad
398 EC. Foraminíferos como indicadores de deterioro de los ambientes bentónicos en la ensenada de La Paz
403 Flora y endemismos en la Península de Baja California
411 Protección y conservación de los oasis sudcalifornianos
420 EC. Restauración estratégica de dos ecosistemas áridos de manglar
426 EC. Conservación de ecosistemas de cardón gigante y cañones únicos en el estado
432 EC. Caracterización y propuestas de uso de las playas de la bahía de La Paz
442 EC. Alacranes y su importancia en la conservación
448 EC. Conservación de reptiles en el archipiélago Espíritu Santo
457 Biodiversidad, capital natural y turismo

10 Hacia la Estrategia
477 Hacia la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Baja California Sur, con enfoque en el sector turismo

488 **Nuestros autores**

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Introducción

Karla Carolina Nájera Cordero, Jorge Cruz Medina y Andrea Cruz Angón

La diversidad genética

Como se señala en la introducción del primer volumen de esta obra, la biodiversidad comprende las múltiples variantes mediante las cuales se expresa la vida, y esto incluye sus diferentes niveles de organización: ecosistemas, especies y genes (CDB 1992, Wilson 1997). Una característica fundamental para la existencia de vida es la presencia de material genético, un componente que se transmite de generación en generación y que contiene –entre otras cosas– las instrucciones que determinan la forma, función y comportamiento de los organismos (CONABIO 2020). Este material genético casi nunca es idéntico incluso si se analiza entre individuos de una misma especie (CONABIO 2020), y el estudio de estas variaciones a diferentes niveles ecológicos (poblaciones, especies, comunidades) permite conocer la diversidad genética del grupo bajo análisis (Frankham *et al*. 2002). Esta variabilidad molecular es fundamental, ya que es la que puede permitir la adaptación de los seres vivos a las condiciones cambiantes de su entorno (p.e. modificaciones ambientales y enfermedades; Carroll *et al*. 2014). Cuando los niveles de diversidad genética son altos (lo que significa que las secuencias de ADN[1] bajo estudio difieren relativamente unas de otras), las especies tienen mayores probabilidades de sobrevivir a alteraciones extremas del ambiente, lo que a su vez sostiene la estructura de las comunidades y con ello se favorecen las funciones, la integridad y la resiliencia de los ecosistemas (Hoban 2021).

Además de su importancia ecológica, la diversidad genética aporta a la sociedad numerosas herramientas y soluciones ante diferentes problemáticas. Por ejemplo, se utiliza para seleccionar y mejorar variedades de plantas y animales, aumentando su productividad y resistencia en la agricultura y la ganadería (Bhandari *et al*. 2017), la silvicultura (Potter *et al*. 2017), la pesca (Houston *et al*. 2020) y otras actividades productivas, incluida la medicina y la ingeniería (Hoban 2021). Asimismo, las culturas ancestrales desarrollaron múltiples variantes (razas) de maíz, frijol, calabaza y chile, así como de caballos, vacas y muchas otras especies (CONABIO 2022) fundamentales para la adaptación de las sociedades humanas a distintos ambientes; lo anterior, mediante la selección artificial (e indirecta) de material genético.

La diversidad genética es también clave para conservar especies y ecosistemas, ya que conocer la variabilidad genética dentro de una misma especie permite diseñar estrategias para evitar su extinción (Loo 2007), realizar acciones de repoblamiento y mejorar acciones

1 Ácido desoxirribonucleico o DNA por sus siglas en inglés.

Nájera-Cordero, K., J. Cruz-Medina y A. Cruz-Angón. 2025. Introducción. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 15-19.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

de restauración ambiental. Por ejemplo, en Canadá, fue posible identificar que algunos nogales blancos (*Juglans cinerea*) resistieron una enfermedad gracias a variaciones genéticas poco comunes (Loo *et al*. 2007), lo que ha permitido desarrollar programas de reproducción para la recuperación de la especie. Asimismo, comprender cómo distintas variantes genéticas responden a condiciones ambientales específicas, aumenta las probabilidades de éxito en los programas de restauración (Loo 2007).

A pesar de su relevancia, la diversidad genética suele abordarse de manera fragmentada y con un lenguaje muy técnico, lo que dificulta su comprensión y uso de información en la toma de decisiones. En este volumen de *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*, los autores que participan en la sección Diversidad genética, explican de forma clara la importancia de este campo de la ciencia y su utilidad como herramienta para la conservación y el aprovechamiento sustentable, y comparten su conocimiento con diferentes estudios realizados en Baja California Sur, que incluyen grupos biológicos como bacterias, plantas, peces, aves y mamíferos, además de un estudio de caso sobre la totaba (*Totoaba macdonaldi*) en el golfo de California, una especie de gran valor comercial y en peligro de extinción debido al comercio ilegal.

Usos de la biodiversidad

La biodiversidad es aprovechada de diferentes formas para el bienestar de la sociedad y del resto de los seres vivos. Particularmente, se reconoce que la presencia de ecosistemas saludables crea las condiciones adecuadas en las que se da la vida (incluyendo la humana; MA 2005). Estas condiciones se refieren a los servicios ecosistémicos (también denominados servicios ambientales), los cuales pueden agruparse de forma sencilla en cuatro grandes categorías (figura 1; CONABIO 2006, Cruz-Angón *et al*. 2021):

- Servicios de provisión, que incluyen todos los recursos naturales que obtenemos directamente de la naturaleza, como alimentos, agua, madera, fibras, plantas medicinales, entre otros.
- Servicios de regulación, relacionados con los procesos naturales que mantienen el equilibrio del ambiente, como la regulación del clima, la purificación del aire y el agua, y el control de enfermedades.
- Servicios de soporte, que son esenciales para el funcionamiento de todos los ecosistemas, como la formación de suelos, el reciclado de nutrientes y la productividad primaria.
- Servicios culturales, que se refieren a los beneficios no materiales que la naturaleza aporta a las personas, como espacios para la recreación y el turismo, inspiración artística y espiritual, o el valor educativo y científico que brindan los ecosistemas.

En este contexto, a lo largo de la obra *La diversidad de Baja California Sur. Estudio de Estado* se muestra la estrecha relación que existe entre la sociedad sudcaliforniana y su entorno natural. Particularmente dentro de la sección Usos tradicionales y convencionales que se incluye en este volumen, se documentan experiencias de éxito en el aprovechamiento sustentable de ecosistemas y especies, muchas de ellas vinculadas al turismo, así como prácticas de manejo dentro de áreas naturales protegidas. También se destacan los servicios ambientales que brinda la biodiversidad sudcaliforniana, como la provisión y regulación hídrica, la producción primaria y la belleza escénica, cuyo reconocimiento y valoración resulta esencial para orientar la toma de decisiones hacia la conservación y el manejo sustentable, así como para frenar la degradación de los recursos naturales y el deterioro de los ecosistemas.

Tendencias de la biodiversidad estatal

La biodiversidad del planeta enfrenta un acelerado deterioro sin precedentes. Conforme a la *Evaluación global de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas* (IPBES 2019), alrededor de un millón de especies están en riesgo de extinción, muchas con la posibilidad de desaparecer en las próximas décadas. La pérdida de hábitats, la sobreexplotación, el cambio climático, la contaminación y la presencia de especies exóticas invasoras son los principales impulsores directos de este deterioro (IPBES 2019), y tanto México como Baja California Sur están inmersos en este escenario.

Conocer los factores que afectan la biodiversidad y analizar los impactos que ocasionan, constituye un primer paso para dirigir las acciones de conservación, restauración y manejo. En este volumen se integra la sección Factores de presión y oportunidades, donde se

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

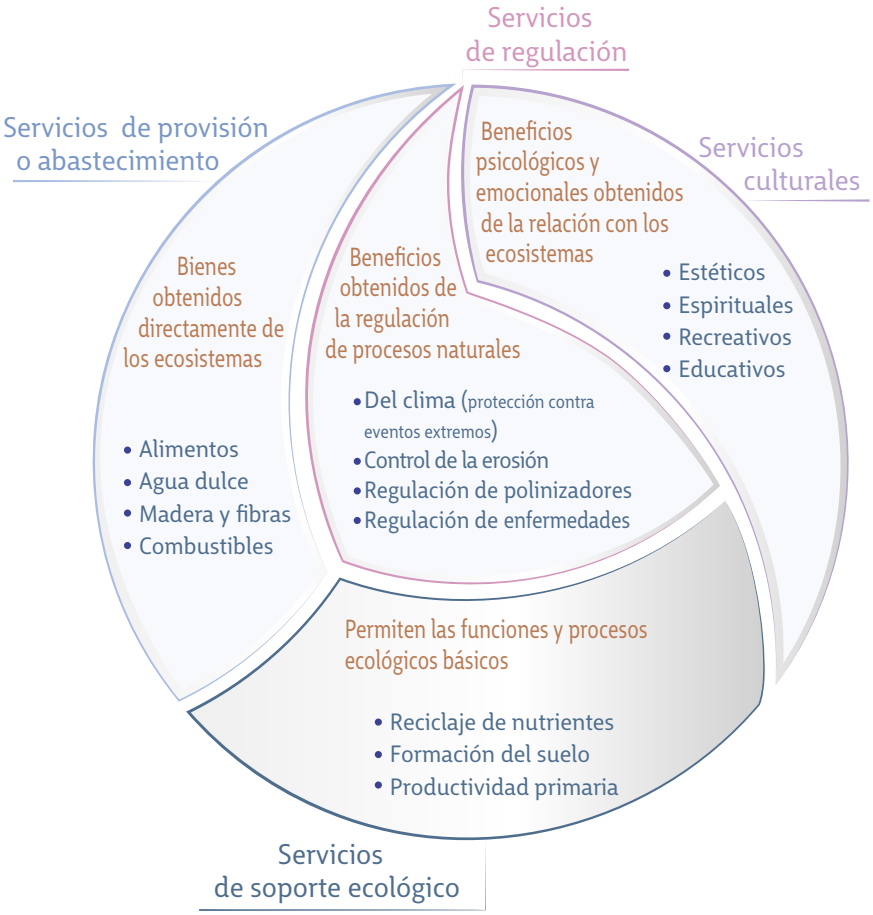


Figura 1. Servicios y beneficios que presta la biodiversidad a través de los ecosistemas. Fuente: modificado de CONABIO 2006.

identifican los principales agentes que causan (o podrían causar) pérdida y deterioro de la biodiversidad sudcaliforniana; además, se describen diversos esfuerzos de conservación y restauración biológica en la entidad, y se brinda información relevante para conducir el desarrollo socioeconómico estatal bajo una perspectiva de sustentabilidad.

Dentro de los factores de presión, se identifica al cambio climático como una amenaza de gran magnitud. Sus efectos incluyen florecimientos algales nocivos, incremento en la dispersión de enfermedades como el dengue y alteraciones en los patrones de precipitación y temperatura, con impactos directos en la flora y fauna de la entidad. Para enfrentar este reto, los expertos recomiendan invertir en programas de adaptación, formular políticas de prevención de riesgos e incorporar tanto a la academia como a los usuarios directos de la biodiversidad en los procesos de decisión, sin perder de vista la importancia de considerar la variabilidad histórica natural de este fenómeno.

Por otro lado, la economía sudcaliforniana depende en gran medida del turismo. No obstante, considerando la estrecha vinculación de este sector con la biodiversidad (p.e. la provisión de lugares y paisajes naturales, el suministro de alimentos, la protección de costas o el desarrollo de actividades como buceo, pesca deportiva y turismo cinegético), es importante establecer lineamientos para armonizar el desarrollo de las actividades turísticas con la conservación de los recursos naturales. Entre las oportunidades identificadas en este ámbito destacan iniciativas de turismo sustentable dentro y fuera de áreas naturales protegidas, así como propues-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

tas de conservación y/o aprovechamiento sustentable de especies emblemáticas del territorio sudcaliforniano, entre ellas el cardón (*Pachycereus pringlei*), la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), el colibrí de Xantus (*Basilinna xantusii*) y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*, figura 2).

Finalmente, es importante destacar que la calidad del capital natural en Baja California Sur sobresale frente a la mayoría de las entidades federativas de México (CONABIO 2021), y es la entidad que hasta 2021 presentaba el menor índice de transformación antropogénica del país (CONABIO 2025). Esto se traduce en la generación de valiosos servicios ecosistémicos para el beneficio de la sociedad sudcaliforniana. Sin embargo, es fundamental continuar impulsando prácticas amigables con la naturaleza y diversificar las actividades económicas (especialmente en el sector turístico), incorporando la diversidad biológica como eje transversal. Para ello, este tercer volumen de *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado* concluye con un apartado que orienta el establecimiento de una política estatal de biodiversidad, mediante la elaboración de la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Baja California Sur, con enfoque en el sector turismo, la cual es una herramienta clave para dirigir el rumbo de las actividades productivas y las políticas públicas dentro del estado, con el objetivo de lograr un desarrollo verdaderamente sustentable en Baja California Sur.

Figura 2. Especies emblemáticas que se distribuyen en territorio sudcaliforniano y que pueden ser de ayuda para que la sociedad se interese en la conservación y el aprovechamiento sustentable de la naturaleza: a) cardón (*Pachycereus pringlei*); b) ballena gris (*Eschrichtius robustus*); c) colibrí de Xantus (*Basilinna xantusii*); d) borrego cimarrón (*Ovis canadensis*). Fotos: Miguel Ángel Sicilia Manzo/Banco de imágenes de CONABIO (a), Carlos Javier Navarro Serment/Banco de imágenes de CONABIO (b, c, d).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Bhandari, H.R., A.N. Bhanu, K. Srivastava *et al*. 2017. Assessment of genetic diversity in crop plants - an overview. *Advances in Plants & Agricultural Research* 7:279-286.

Carroll, S.P., P.S. Jorgensen, M.T. Kinnison *et al*. 2014. Applying evolutionary biology to address global challenges. *Science* 346:1245993.

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. En: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>, última consulta: 10 de junio de 2025.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2006. *Capital natural y bienestar social*. CONABIO, México.

—. 2020. *La diversidad genética y la domesticación*. En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/evolucion-bajo-domesticacion/divgenetica>, última consulta: septiembre de 2025.

—. 2021. *Índice de capital natural 2021, escala: 1:250000*. CONABIO, México.

—. 2022. *¿Qué es la biodiversidad?* En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que_es>, última consulta: 11 de septiembre de 2025.

—. 2025. *Índice de capital natural.* En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/indice_capnat.html>, última consulta: septiembre 2025.

Cruz-Angón, A., J. Cruz-Medina y K. Nájera-Cordero. 2021. Introducción. En: *La biodiversidad en Nayarit. Estudio de Estado*. Vol. II. CONABIO, México, pp. 15-20.

Frankham, R., J.D. Balou y D.A. Briscoe. 2002. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press, Nueva York.

Hoban, S., A.D. Campbell, J.M. da Silva *et al*. 2021. Genetic diversity is considered important but interpreted narrowly in country reports to the Convention on Biological Diversity: Current actions and indicators are insufficient. *Biological Conservation* 261:109233.

Houston, R.D., T.P. Bean, D.J. Macqueen *et al*. 2020. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Natural Review Genetics* 21:389-409.

IPBES. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2019. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat, Alemania.

Loo, J.A. 2007. *Manual de genética de la conservación. Principios aplicados de genética para la conservación de la diversidad biológica*. En: <https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2023/UC/manual_de_genetica_de_la_conservacion.pdf>, última consulta: septiembre de 2025.

Loo, J.A., T.L. Beardmore, J.D. Simpson y D.A. McPhee. 2007. Tree species of concern in New Brunswick, Canada. II. Guidelines for conservation of genetic resources. *Forestry Chronicle* 83:402-407.

MA. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington D.C.

Potter, K.M., R.M. Jetton, A. Bower *et al*. 2017. Banking on the future: progress, challenges and opportunities for the genetic conservation of forest trees. *New Forest* 48:153-180.

Wilson, E. 1997. Introduction. En: *Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources*. M. Reaka, D. Wilson y E. Wilson (eds.). Joseph Henry Press, Washington D.C., pp. 1-3.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

7

Diversidad genética

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Resumen ejecutivo

Francisco Javier García De León y Jorge Cruz Medina

Introducción

La diversidad genética es un concepto complejo, pero en términos sencillos se refiere a las diferencias en el ácido desoxirribonucleico (ADN) entre individuos. Estas diferencias se manifiestan en múltiples rasgos biológicos que permiten a las plantas, animales, hongos y microorganismos adaptarse a los cambios del ambiente, resistir enfermedades y sobrevivir a largo plazo. Sin esta diversidad, las especies pierden su capacidad de adaptación, se debilitan y pueden llegar a desaparecer.

Conocer y conservar la biodiversidad a nivel genético es de gran relevancia desde distintos enfoques. Desde el punto de vista económico, la diversidad genética sostiene actividades esenciales:

- En agricultura y ganadería, una mayor diversidad genética en cultivos y animales permite adaptarlos a plagas, enfermedades y cambios climáticos. Sin diversidad, los alimentos serían más vulnerables y escasos.
- En pesca y acuacultura, el monitoreo de la diversidad genética ayuda a mantener poblaciones sanas y productivas a largo plazo.
- En medicina y biotecnología, conservar una alta diversidad genética en las especies naturales proporciona un banco de ideas y alternativas para desarrollar nuevos tratamientos y tecnologías.
- Para las economías locales, productos como la miel, la alfalfa o el licor de damiana dependen de especies con alta diversidad genética, lo que garantiza calidad en los productos y resiliencia para las comunidades.

Asimismo, desde el punto de vista científico, monitorear la diversidad genética permite entender cómo evoluciona la vida y cómo se adaptan las especies. Además, ayuda a prevenir extinciones, identificando poblaciones en riesgo antes de que sea demasiado tarde; o bien, proporciona herramientas para restaurar ecosistemas degradados, usando individuos con suficiente diversidad genética. En este contexto, es fácil comprender que sin diversidad genética se pierden opciones, seguridad y conocimiento.

La diversidad genética como medida de conservación

Comúnmente, la biodiversidad es reconocida a nivel de especies por su relativa facilidad para identificarse a simple vista (p.e. diferencias morfológicas entre distintos tipos de hongos, plantas y animales). Si bien los avances en el conocimiento de la diversidad genética pueden remontarse tanto como la existencia de civilizaciones antiguas (p.e. por los procesos de

García-De León, F.J. y J. Cruz-Medina. 2025. Resumen ejecutivo. Diversidad genética. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 23-25.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

domesticación, donde intervenían saberes intrínsecos de selección genética), fue hasta 1992, con la firma del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) en Río de Janeiro (Brasil), que se reconoció la necesidad de conservar la biodiversidad en sus tres componentes: ecosistemas, especies y genes. No obstante, durante décadas, los esfuerzos sobre monitoreo genético se enfocaron principalmente en especies domesticadas. Treinta años después, en el Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal (MMB-KM) establecido en 2022, se planteó por primera vez la necesidad de conservar y monitorear la diversidad genética de toda la biodiversidad silvestre. En este sentido, México –como firmante del CDB y adoptante del MMB-KM– tiene el compromiso de actuar.

Baja California Sur, con su dinamismo geológico, alta heterogeneidad ambiental y elevado endemismo, es parte de estos compromisos. Aquí, la diversidad genética sostiene la resiliencia de especies emblemáticas como la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), el colibrí de Xantus (*Basilinna xantusii*), los cactus endémicos (p.e. *Mammillaria evermanniana*, *Echinocereus barthelowanus*) y los peces de arrecife del golfo de California, entre otros. Sin embargo, el cambio climático, la sobreexplotación y la fragmentación del hábitat amenazan esta riqueza. Por eso, conocer y conservar la diversidad genética es fundamental para garantizar la resiliencia y la supervivencia a largo plazo de las especies. Pero, medir y conservar la diversidad genética implica retos: requiere investigación constante, inversión económica, colaboración entre sectores y políticas públicas basadas en ciencia.

Afortunadamente, en la actualidad existen muchas herramientas genéticas que permiten, por ejemplo, detectar si una población de peces está perdiendo diversidad o si los cactus endémicos aún conservan su capacidad de adaptación. Además, Baja California Sur cuenta con una sólida tradición científica, con varias instituciones de investigación y profesionales capacitados para enfrentar los desafíos del monitoreo genético de la biodiversidad, tanto con fines científicos como comerciales. Proteger la diversidad genética sudcaliforniana no es un lujo: es una necesidad para conservar el patrimonio natural, cultural y económico para las futuras generaciones.

Contenido de esta sección

Esta sección contiene 10 contribuciones: la primera es un capítulo introductorio donde se define con mayor amplitud el concepto de diversidad genética, su importancia, métodos de medición y un resumen de los estudios genéticos realizados en Baja California Sur entre 1983 y 2019; además, se incluyen reflexiones y perspectivas sobre el conocimiento de la diversidad genética. La sección continua con un estudio metagenómico que analiza la composición de tapetes microbianos en áreas salinas de Guerrero Negro, así como su relevancia ecológica y potencial biotecnológico. En el tercer capítulo se realiza una revisión bibliográfica sobre los estudios de filogeografía (aquellos que intentan entender el lugar de origen y dispersión histórica de los seres vivos) de especies terrestres y marinas en el estado, destacando el sur de la península como refugio pleistocénico para la conservación del potencial evolutivo de las especies, y se discute la importancia de estas investigaciones en el ámbito educacional con propósitos para la conservación. Los capítulos cuarto y quinto abordan estudios detallados de la diversidad genética en especies con importancia económica (plantas y recursos acuícolas), como candelilla (*Euphorbia lomelii*), algodón (*Gossypium davidsonii*), mangles (diversas especies), camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), abulones (*Haliotis fulgens* y *H. corrugata*) y huachinango (*Lutjanus peru*).

La sección continua con cuatro contribuciones que analizan la diversidad genética en diferentes grupos de vertebrados: elasmobranquios, peces óseos marinos, aves y mamíferos. Entre los elasmobranquios, destacan los estudios sobre el tiburón ballena (*Rhincodon typus*), para el cual se señala la presencia de dos poblaciones distintas con poca conectividad entre el Atlántico y el Indo-Pacífico. En el caso de los peces óseos marinos, se identificaron 29 artículos que analizan la diversidad genética en 37 especies con diferentes fines. Para las aves, los temas principales de investigación han sido la filogeografía, la resolución de incertidumbres taxonómicas, y el conocimiento de la diversidad genética de las poblaciones, y se destaca que diversos estudios soportan la hipótesis de que en el estado existieron dos canales que fragmentaron las poblaciones: el istmo de La Paz y el canal medio

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

transpeninsular. Por su parte, los estudios genéticos para mamíferos recopilan 60 publicaciones, por lo que son uno de los grupos de vertebrados mejor estudiados; abarcan principalmente a roedores, cetáceos, carnívoros, liebres y conejos. La sección concluye con un estudio de caso sobre totoaba (*Totoaba macdonaldi*), un pez en peligro de extinción y bajo intensa presión por su comercio ilegal, para el cual se analiza una población recién documentada en el sur de la Península de Baja California, y se resalta el conocimiento de su diversidad genética como una herramienta imprescindible para su conservación.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Diversidad genética

Francisco Javier García De León

Introducción

La diversidad biológica es un tema de constante debate que enfrenta una crisis ecológica; por lo cual, se ha optado por establecer un valor económico a la biodiversidad. Esta decisión se ha implementado como un argumento político para resaltar los beneficios económicos a largo plazo de la conservación (Costanza *et al.* 1997), y por la incapacidad de los humanos de frenar la pérdida de biodiversidad (Gavilán *et al.* 2011). Éticamente hablando, el mundo actual debería tener la responsabilidad de heredar a las generaciones futuras un planeta con la misma cantidad y calidad de biodiversidad (CONABIO 2009).

Es hasta 1992, que la humanidad empezó a tomar conciencia y generó uno de los primeros acuerdos mundiales para conservar la biodiversidad: el Convenio sobre la Diversidad Biológica, dentro del cual se reconoció por primera vez, el concepto diversidad genética[1] como un componente importante de la biodiversidad (Núñez *et al.* 2003). A pesar de lo anterior, muchos países manejan las políticas de conservación a partir de la riqueza de especies, especies ícono o áreas naturales protegidas, entre otras, sin incorporar debidamente el componente genético.

Diversidad genética

Definir un concepto complejo para un público amplio, indudablemente, es un reto. El propósito en todo caso debería ser que su comprensión ejerza una influencia en el pensamiento crítico para motivar cambios en las políticas de acción en el manejo y la conservación de la biodiversidad; si se logra, entonces el esfuerzo valió la pena. En un sentido amplio, la diversidad genética se refiere al componente más básico de la biodiversidad y consiste en toda variación heredable presente en cada organismo, entre individuos de una población y entre poblaciones dentro de una especie (Frankham *et al.* 2002). La diversidad genética también puede distinguirse mediante características observables (fenotipo): el color de la piel en humanos, el número de escamas en peces, el color de las flores en plantas, la conducta agresiva de los lobos, entre otros. Dichos fenotipos contienen tanto variación genética como variación provocada por efectos ambientales, y los métodos desarrollados por la genética cuantitativa permiten estimar la proporción del componente genético de dichos fenotipos (Falconer y Mackay 2001).

Las distintas razas de perros, todos ellos originados de un solo ancestro, el lobo gris (Vilà *et al.* 1997), es

1 El concepto se acompaña de la definición de otros términos dentro del cuadro 1, para favorecer la comprensión del tema.

García-De León, F.J. 2025. Diversidad genética. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 27-35.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

un buen ejemplo que ayuda a comprender el origen de esa variación y la selección artificial ejercida por el ser humano. A partir del lobo gris se cruzaron fenotipos distintos para desarrollar muchas razas que se diferencian en tamaño (desde el san bernardo hasta el chihuahua), conducta (guardianes como el pastor alemán, cazadores como el pointer), forma (p.e. bulldog, salchichas), entre otras. Esas diferencias reflejan tanto la diversidad genética del lobo gris ancestral como las mutaciones ocurridas durante el proceso de selección.

A nivel del ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés), los genes corresponden a los elementos básicos de la herencia y son secuencias de nucleótidos (bases nitrogenadas como la adenina, la timina, la citosina y la guanina) en un segmento particular (*locus*; cuadro 1). La diversidad genética a este nivel se refiere a las diferencias de nucleótidos entre secuencias del ADN; al mismo tiempo, esas diferencias pueden generar distintos aminoácidos (elementos estructurales de las proteínas) codificados en un *locus*. La variación en una proteína puede originar cambios bioquímicos funcionales, conductuales o morfológicos, lo que causa distintas tasas de reproducción o sobrevivencia de los organismos, originando formas muy diversas. El caso del lobo gris y muchas otras especies domesticadas en ganadería y agricultura, son ejemplos ilustrativos del potencial evolutivo que tienen las especies en su medio natural. Sin embargo, 98% del genoma de muchos organismos no codifican para proteínas (Palazzo y Gregory 2014), y una gran parte de éste evoluciona de forma neutral.

Cuadro 1. Términos de diversidad genética.

Concepto	Definición
Alelos	Son las diferentes formas de un mismo *locus* que difiere en secuencias de bases nitrogenadas en el ADN u otra forma génica
Frecuencia alélica (también denominada frecuencia génica)	Representa el número de apariciones de un alelo específico en una población
Filogeografía	Estudio de los procesos históricos que podrían ser responsables de las distribuciones geográficas contemporáneas de individuos o linajes genealógicos
Genoma	Es el material genético completo de una especie o individuo
Genotipo	Es la combinación de alelos presentes en un *locus* en un individuo (p.e. AA, Aa y aa): el genotipo Aa es un heterocigoto y AA y aa son los homocigotos (A o a es una forma coloquial de anotar la unidad que se hereda, puede ser una base nucleotídica, o un presunto gen como aquellos usados por Mendel)
Genética del paisaje	Combina la genética de poblaciones y la ecología del paisaje, por lo que analiza datos genéticos de poblaciones y su relación con las características del paisaje para explicar las adaptaciones de los organismos a su ambiente
Genética de poblaciones	Estudia la variación y distribución de frecuencias alélicas en las poblaciones para explicar los fenómenos evolutivos
Herencia codominante	Es un modelo hereditario en donde no hay gen recesivo, sino que ambos alelos se comportan como dominantes
Herencia mendeliana	Se refiere al patrón de transmisión de genes de padre a hijos mediante los principios establecidos por leyes de Mendel
Locus	Término relativo que describe una posición; si se refiere a una base nitrogenada, entonces se habla de una posición nucleotídica; plural: *loci*
Metagenómica	Estudio de la diversidad de secuencias nucleotídicas de organismos en un hábitat mediante análisis genómicos
Mitogenoma	Es la secuencia de bases nitrogenadas de todo el ADN mitocondrial
Polimorfismo	Denota diversidad genética: un *locus* en una población es polimórfico si tiene más de un alelo
SNP	*Single nucleotide polymorphism* o polimorfismo de un solo nucleótido, es una variación en la secuencia de ADN que afecta a una sola base nitrogenada (adenina, timina, citosina, guanina)

Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Importancia

Desde la perspectiva fundamentalmente biológica, la diversidad genética es importante porque permite a los organismos adaptarse a un medio ambiente siempre cambiante (Frankham *et al.* 2002). Para enfrentar dichos cambios, las especies están obligadas a evolucionar, de lo contrario se extinguen. La pérdida de diversidad genética causada por una reducción de la población (fenómeno llamado cuello de botella) por la fragmentación del hábitat, conduce a niveles altos de consanguinidad y a una eventual reducción de la tasa de sobrevivencia y de reproducción, lo cual impacta al valor adaptativo (*fitness*) o potencial evolutivo de las especies (Freeland 2005).

Por lo tanto, las especies equipadas con una mayor diversidad genética tienen mayor probabilidad de responder a los cambios ambientales tanto actuales como futuros. Es importante resaltar que la diversidad genética encontrada en el ADN puede ser neutral, es decir, son *loci* que no están sujetos a selección, y no tienen efecto sobre el *fitness*; mientras que la diversidad genética adaptativa, es el conjunto de genes que codifican para una proteína y se relacionan con el valor adaptativo, es decir, están bajo selección natural. Una reducción de la diversidad genética neutral o adaptativa se relaciona con un mayor riesgo de extinción en las poblaciones naturales (Kahilainen *et al.* 2014).

La genética de poblaciones y la evolución son las disciplinas encargadas de estudiar el origen, mantenimiento y evolución de la diversidad genética. La selección natural, las mutaciones, la deriva genética, la migración y los sistemas de reproducción son fuerzas evolutivas que actúan a nivel de las poblaciones y hacen cambiar las frecuencias de los alelos a lo largo de cada generación (cuadro 2). Cuando una o más de estas fuerzas actúan en una población, se violan las suposiciones del modelo poblacional hipotético de Hardy-Weinberg y ocurre la evolución

Cuadro 2. Procesos que originan, mantienen y hacen evolucionar la diversidad genética.

Proceso	Descripción
Selección natural	Actúa sobre fenotipos y no sobre los genotipos; los primeros son el resultado de numerosos genes y los factores ambientales Existen tres tipos de selección: direccional (cuando se favorecen a uno de los fenotipos extremos), estabilizadora (se favorecen los fenotipos intermedios), y divergente (cuando se favorecen a ambos extremos)
Deriva genética	Son fluctuaciones aleatorias de las frecuencias alélicas* Dentro de las poblaciones, entre menos reproductores se crucen por generación (pequeñas poblaciones), el efecto de la deriva es mayor
Mutaciones	Es la principal fuente de variabilidad genética en la forma de nuevos alelos Puede haber varios tipos de cambios en las secuencias del ADN, los cuales tienen efectos neutros, positivos o negativos para el organismo que los posee. En este sentido, las mutaciones representan eventos raros y requieren miles de generaciones para que ocurran, por lo que informan sobre eventos muy antiguos en la historia evolutiva de las especies
Migración	Es el movimiento (que implica cruzamiento) de individuos entre subpoblaciones, manteniéndolas agrupadas genéticamente (metapoblación) En ausencia de selección natural y deriva genética, la migración o flujo genético conduce a la homogeneidad genética de una población; por el contrario, el flujo genético restringido promueve la divergencia de la población a través de la selección y la deriva, situación que si es persistente puede conducir a la especiación
Sistemas de reproducción	Son las formas de cruzamientos que pueden ser aleatorios (panmícticos) o no en la población; la consanguinidad (cruzamientos entre individuos emparentados) afecta a todo el genoma aumentando los genotipos homocigotos; por lo tanto, existe pérdida de variabilidad genética La homogámia son cruzamientos entre individuos parecidos entre sí (homogámia positiva) o no (homogamia negativa), y generan cambios en las frecuencias genotípicas de *loci* relacionados con los caracteres seleccionados durante la reproducción

*Si se lanza una moneda un número infinito de veces, la proporción de águila o cruz sería de 0.5 para cada una; sin embargo, si se lanza pocas veces, no es sorprendente obtener desviaciones; esto se conoce como error de muestreo. Fuente: elaboración propia con datos de Hartl y Clark 2007.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

(microevolución). Esta hipótesis de Hardy-Weinberg permite estudiar la microevolución, y trata de comprender los factores que determinan los niveles de diversidad genética dentro y entre poblaciones (Hartl y Clark 2007). Por su parte, la teoría de la coalescencia es uno de los avances teóricos más importantes de la genética de poblaciones de las últimas décadas; se basa en buscar el antepasado común más reciente a partir de modelos matemáticos (Kingman 1982). Con este método se determinó que todos los tipos de ADN mitocondrial humano actuales coleasen al de una mujer que vivió hace unos 200 mil años en África, conocida como la "Eva mitocondrial" (Cann *et al.* 1987).

Existen otras variantes metodológicas que ayudan a interpretar la diversidad a diferentes escalas espaciales (genética del paisaje; Balkenhol *et al.* 2016) y temporales (filogeografía y filogenias; Avise 2000, Felsenstein 2004). De hecho, los métodos filogenéticos se han vuelto tan importantes para la conservación que ha surgido el concepto diversidad filogenética, la cual, puede representar una mejor medida que la riqueza de especies para los planes de conservación de la biodiversidad (Rodrigues y Gaston 2002). Desde el punto de vista biotecnológico, el marco filogenético es un instrumento valioso para la búsqueda de novedades bioquímicas (Harms y Thornton 2013), importantes en farmacéutica.

Estos conceptos y métodos también tienen sus aplicaciones. En la genética para la conservación, se emplean para preservar las especies como entidades dinámicas capaces de hacer frente a los cambios ambientales; abarca desde el manejo de pequeñas poblaciones, las incertidumbres taxonómicas, la determinación de unidades de manejo y la forense molecular, hasta el entendimiento de la biología de la especie (Frankham *et al.* 2002). En los campos agronómico, ganadero, forestal, pesca y acuicultura se aprovecha este conocimiento para generar nuevas razas o variedades que favorezcan la producción y explotación.

Estas aplicaciones requieren de conocer los principios básicos de cómo se origina, mantiene y evoluciona la diversidad genética. La falta de este conocimiento puede generar problemas o costos elevados; por ejemplo, las pérdidas dentro de un cultivo ocasionadas por la falta de resistencia a enfermedades, la extinción local de poblaciones explotables en una especie silvestre, o la escasa calidad de productos biológicos, entre otros. Conocer la diversidad genética es también importante por los servicios y beneficios que proporciona a la humanidad (FAO 2011). Por ejemplo, el proyecto del genoma humano, cuyo objetivo final fue comprender la diversidad genética del ser humano para su uso en salud, rápidamente encontró un interés en todos los campos de la biología fundamental y aplicada (Jiménez-Sánchez *et al.* 2011). Los avances tecnológicos más importantes después de este proyecto fueron los nuevos secuenciadores de última generación, que abarataron costos y con ello se facilitó el estudio de genomas de organismos no modelo, además del desarrollo de investigación en nuevas áreas biológicas, como el estudio de genomas antiguos, o la caracterización de la diversidad ecológica, entre otras (Mardis 2008).

Medición

Antes del descubrimiento de la electroforesis[2] de enzimas (Harris 1966), la diversidad genética se estimaba de forma indirecta a partir de los fenotipos. El desarrollo de nuevos métodos de análisis del ADN permitió inspeccionar la diversidad genética de una manera más extensa, desarrollándose diferentes marcadores genéticos. Estos últimos pueden definirse como una parte o la totalidad del ADN o su derivado (proteínas) que permite identificar individuos y poblaciones, así como estimar la diversidad genética dentro de individuos, poblaciones y especies (García-De León 2001). Con estos marcadores se realizan investigaciones con objetivos muy diversos, pero usando los métodos de la genética de poblaciones, la filogeografía y la filogenia (cuadro 3).

Estudios de diversidad genética en la entidad

Baja California Sur concentra un capital humano altamente especializado y uno de los más importantes del país, debido a que en su territorio confluyen centros

2 Técnica empleada para la separación de moléculas mediante campos eléctricos.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 3. Marcadores genéticos más empleados en estudios de la biodiversidad de Baja California Sur.

Tipo de marcador	Acrónimo	Genoma que analiza	Nombre de la técnica	Modo de herencia	Polimorfismo	Aplicaciones relevantes
Alozimas		Nuclear	Electroforesis de enzimas	Mendeliano, codominante	Bajo	Estudios poblacionales, identificación de especies
ADN mitocondrial	ADNm	Mitocondrial	Secuenciación por Sanger	Herencia matrilineal	Mediano, alto	Identificación de especies, estudios filogeográficos y poblacionales, análisis filogenéticos
ADN cloroplástico	ADNc	Cloroplasto	Secuenciación por Sanger	Uniparental	Mediano, alto	Identificación de especies, estudios filogeográficos y poblacionales
Cromosomas		Nuclear	Cariotipos, patrón de bandeo	Mendeliano, dominante	Bajo	Especiación, análisis filogenéticos, estudios poblacionales
Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción	RFLP	Nuclear o mitocondrial	Basado en PCR	Depende del genoma	Bajo	Estudios poblacionales, análisis filogenéticos
Polimorfismo del ADN amplificado al azar	RAPD	Nuclear	Basado en PCR	Mendeliano, dominante	Alto	Estudios poblacionales
Microsatélites	SSR	Nuclear	Basado en PCR	Mendeliano, codominante	Alto	Estudios poblacionales
Polimorfismo de un solo nucleótido	SNP	Nuclear	Secuenciación de alto desempeño	Mendeliano, codominante	Alto	Estudios poblacionales, análisis filogenéticos
Gen 16S RNAr	16S	Bacteriano	Metagenómica		Alto	Análisis filogenéticos

RNAr: Ácido ribonucleico ribosómico; PCR: reacción en cadena de la polimerasa. Fuente: modificado de Liu y Cordes 2004.

de investigación de diferentes dependencias estatales y federales, como el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), y el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Asimismo, para 2018 el estado ocupó el octavo lugar en productividad científica y contó con 259 investigadores dentro del Sistema Nacional de Investigadores (Díaz Gómez *et al.* 2018).

Respecto a las investigaciones desarrolladas en la entidad sobre temas de diversidad genética, se identificó un total de 189 estudios realizados en el transcurso de 36 años (1983 a 2019; apéndices 42 a 45).[3] Los estudios de diversidad genética en los organismos en la entidad han sido principalmente de carácter académico, debido a que 94.2% de ellos tratan temas sobre filogeografía, genética de poblaciones, filogenia o taxonomía, donde las preguntas de investigación se centran en los efectos de los factores geológicos, climáticos (actuales e históricos) y ecológicos sobre el origen y la evolución de las especies. Los estudios en especies con algún interés económico real o potencial (p.e. agricultura, ganadería, acuicultura y pesca) contabilizan 17.9% del total, aunque se remarca que las preguntas de investigación son también de corte académico.

3 La búsqueda documental se desarrolló empleando la herramienta Google Académico y un conjunto de palabras clave (p.e. Baja California Peninsula, Gulf of California, Phylogeography, Genetic diversity, Nuclear-DNA, Mitochondrial-DNA, Chloroplastic-DNA) para el periodo referido.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Un total de 498 autores han contribuido con el conocimiento de la diversidad genética del estado, de los cuales, 66.9% son extranjeros. Con respecto a los fondos para el desarrollo de estudios relacionados, 59.3% provienen de Estados Unidos de América (figura 1), mientras que México contribuye con 33.9%; la institución que más ha aportado es indudablemente el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (61.6%), le siguen el CIBNOR (31.07%), seguido de la Universidad Nacional Autónoma de México (16.95%) y UABCS (12.99%) y el CICIMAR (11.3%), son las instituciones más activas en estas investigaciones.

Asimismo, del análisis de información dentro de los estudios, se registró un total de 186 sitios de recolecta, siendo La Paz y Mulegé los municipios más frecuentados (36.41 y 22.3% respectivamente); mientras que Loreto presentó el menor número de registros (9.24%). Se destaca también que hay más trabajos en especies terrestres (69.6%) que en marinas (30.4%); y los grupos biológicos más investigados son los vertebrados (66.9%; figura 2a). En este grupo, los reptiles y mamíferos son los grupos predilectos para este tipo de trabajos (figura 2b), y entre los invertebrados los arácnidos e insectos son los más estudiados (figura 2c). La mayoría de éstos se realizaron principalmente con secuencias del ADN mitocondrial (figura 3). Por su parte, los microsatélites solo se emplearon en 20.6%, y las nuevas tecnologías de secuenciación masiva se han utilizado relativamente poco (SNP: 6.35%; mitogenomas: 1.06%).

Estudios genéticos presentados en esta sección

Además del presente escrito, en esta sección se reportan otros nueve trabajos sobre la biodiversidad desde una perspectiva genética. En el primer capítulo, se describe un estudio metagenómico sobre los tapetes microbianos en áreas salinas de Guerrero Negro y su relevancia ecológica y potencial biotecnológico. En el segundo capítulo se realiza una revisión bibliográfica sobre los estudios de filogeografía de especies terrestres y marinas; además, se resalta el papel del sur de la Península de Baja California como refugio pleistocénico para la conservación del potencial evolutivo de las especies, y se discute la importancia de estas investigaciones en el ámbito educacional con propósitos para la conservación biológica. En el tercer y cuarto capítulos se aborda de manera detallada la diversidad genética de algunas especies con importancia económica (plantas y recursos acuícolas).

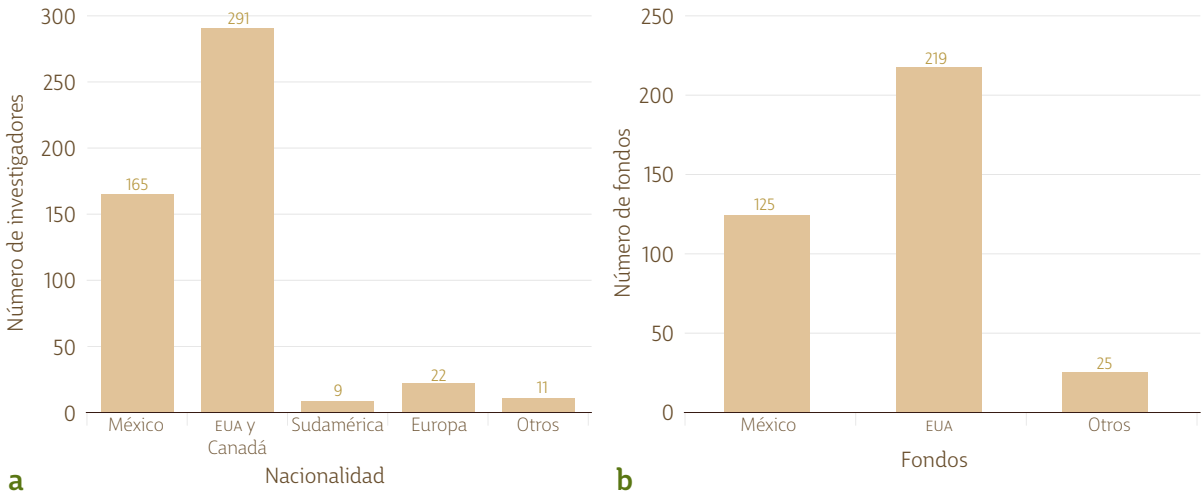


Figura 1. a) Nacionalidad de los investigadores; b) fondos para los estudios de diversidad genética en la entidad. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

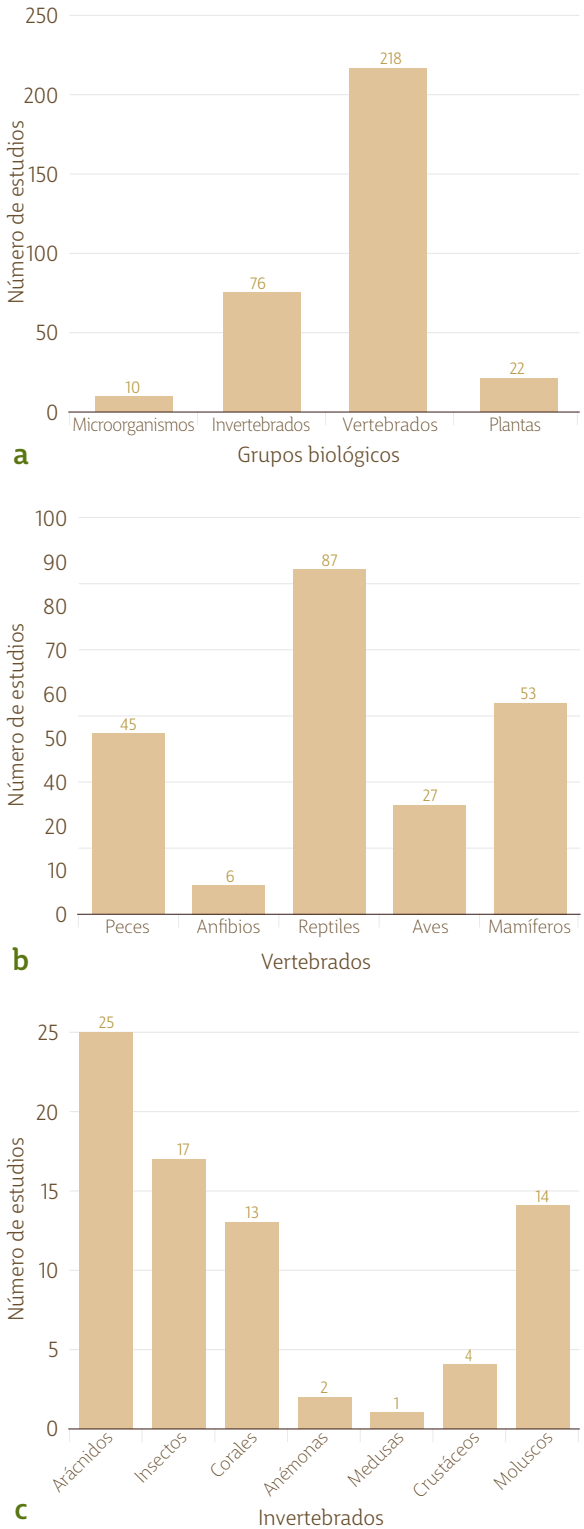


Figura 2. Estudios de diversidad genética en: a) grupos biológicos; b) vertebrados; c) invertebrados. Fuente: elaboración propia.

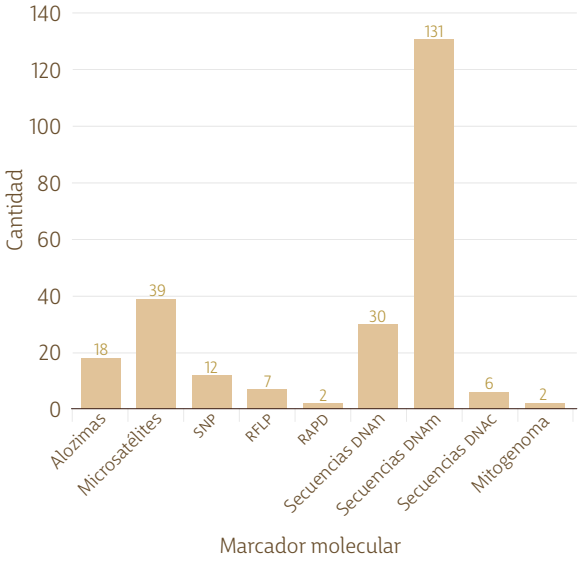


Figura 3. Marcadores genéticos empleados en los estudios de diversidad genética. SNP: polimorfismo de un solo nucleótido; RFLP: polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción; RAPD: polimorfismo del ADN aplicado al azar; ADNn: ADN nuclear; ADNm: ADN mitocondrial; ADNc: ADN cloropástico. Fuente: elaboración propia.

Los capítulos del quinto al octavo analizan la diversidad genética por grupos taxonómicos: elasmobranquios, peces marinos, aves y mamíferos; en ellos se destacan los intereses científicos que han motivado las investigaciones para el conocimiento de la biodiversidad en el estado. La sección concluye con un estudio de caso sobre totoaba, un pez en peligro de extinción, cuya zona de reproducción se presenta en el alto golfo de California y cohabita con la vaquita marina, pero recientemente se ha documentado una población sureña, reportándose datos de diversidad genética en las costas de la entidad.

Reflexiones y perspectivas sobre el conocimiento de la diversidad genética

Las investigaciones sobre la diversidad genética están en buena medida desvinculadas de los intereses de los sectores productivos del estado, debido a que las preguntas de investigación no responden a las necesidades del desarrollo económico; el interés de

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

la temática de estos estudios es más bien del propio investigador. Otro aspecto que destacar es la alta participación de investigadores y fondos extranjeros, los cuales, sin lugar a duda, han planteado las tendencias de la investigación. Aunque podría ser lamentable, en realidad representa una oportunidad, debido a que, gracias a los estudios realizados por más de treinta años, ahora se cuenta con mayor conocimiento sobre la biodiversidad a nivel genético, qué sitios han sido más estudiados y qué grupos biológicos. Asimismo, se tiene un mejor entendimiento de las relaciones filogenéticas de los grupos y su potencial uso como métrica para priorizar planes de conservación, y se reconoce la importancia de la región Los Cabos como zona de alta diversidad genética. Todo este conocimiento puede y debe tomarse en cuenta por los administradores del ambiente.

A nivel institucional es indudable que se requiere de personal altamente capacitado dentro de las dependencias del gobierno para sintetizar y usar eficientemente este tipo de información, por ejemplo, para evaluar con otras métricas los impactos de actividades como la explotación minera, el turismo, la pesca y la acuicultura. Bajo la perspectiva de una conciencia social y ante la incapacidad de conseguir los objetivos internacionales de detener la pérdida de la biodiversidad del planeta para 2010 (Gavilán *et al.* 2011), este conocimiento también debería ocuparse como instrumento para sensibilizar a la población de que la biodiversidad se originó hace millones de años y su pérdida sería una consecuencia grave, no solo por la falta de ella y los costos económicos que acarrea, sino también por los costos éticos y morales (no tasables a nivel económico) que representa no haber conservado el patrimonio natural. Si se logra trasmitir este mensaje a la sociedad, quizás se puedan cambiar las políticas públicas del manejo sostenible y conservación a largo plazo de la biodiversidad en la entidad.

No menos importante son los riesgos que ocasiona la bio-prospección, que, sin control, se transforma en biopiratería (Acosta y Martínez 2015). La bio-prospección debe entenderse como la búsqueda de nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas y otros productos que poseen un valor económico actual o potencial, y que se encuentran en los componentes de la diversidad biológica. La mayor parte de las investigaciones documentadas aquí fueron realizadas por investigadores de Estados Unidos de América, y muchos de los análisis se realizaron en instituciones de ese país. Además, ahora existen nuevos instrumentos de secuenciación masiva, que permiten conocer los componentes genéticos de cualquier especie y directamente en el campo, un ejemplo es el secuenciador portátil MinION (Johri *et al.* 2019). Estas innovaciones tecnológicas ponen en desventaja a los países con alta biodiversidad que por lo general son los menos tecnificados, generando dependencia tecnológica y perdiendo soberanía nacional del capital natural, a pesar de contar con recursos humanos altamente especializados como es el caso de Baja California Sur. Dichos asuntos deberían abrir una ventana para la reflexión sobre tratados internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica y el protocolo de Nagoya, que México firmó con relación al uso equitativo y responsable de los recursos genéticos, pero en los que Estados Unidos de América no forma parte.

En un futuro inmediato, el apoyo financiero debe ser amplio y sostenido, lo que permite un tipo de investigación interdisciplinaria útil para guiar las prácticas de conservación y uso sostenible de los genes, las especies, el hábitat y los ecosistemas, pero también que permita recuperar la soberanía nacional a partir de la biodiversidad. El desafío importante para los gobiernos tanto federal y estatal es incorporar este conocimiento dentro de las políticas públicas de uso sostenible y conservación de la biodiversidad.

Referencias

Acosta, A. y E. Martínez. 2015. *Biopiratería. La biodiversidad y los conocimientos ancestrales en la mira del capital*. Abya Yala, Ecuador.

Avise, J.C. 2000. *Phylogeography. The history and formation of species*. Harvard University Press, Cambridge.

Balkenhol, N., S. Cushman, A. Storfer y L. Waits. 2016. *Landscape genetics: Concepts, methods, applications*. John Wiley and Sons, Reino Unido.

Cann, R.L., M. Stonecking y A.C. Wilson. 1987. Mitochondrial DNA and human evolution. *Nature* 325:31-36.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México.

Costanza, R., R. D'Arge, R. Groot *et al*. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 287:253-260.

Díaz Gómez, E., C.A. Castro del Ángel, E. Santamaría Hernández *et al*. 2018. *Índice nacional de ciencia, tecnología e innovación 2018*. Centro de Análisis para la Investigación en Innovación A.C., México.

García-De León, F.J. 2001. Los marcadores genéticos en el conocimiento y manejo de recursos bióticos. Revisión. *Biotam* nueva serie 12:57-80.

Gavilán, L.P., J. Grau y T. Oberhuber. 2011. *Valoración económica de la biodiversidad, oportunidades y riesgos*. Ecologistas en Acción, Madrid.

Falconer, D.S. y T.F.C. Mackay. 2001. *Introducción a la genética cuantitativa*. Acribia, España.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. *Biodiversity for food and agriculture. Contributing to food security and sustainability in a changing world*. FAO, Italia.

Felsenstein, J. 2004. *Inferring phylogenies*. Sinauer Associates Inc., Sunderland.

Frankham, R., J.D. Balou y D.A. Briscoe. 2002. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press, Nueva York.

Freeland, J.R. 2005. *Molecular ecology*. John Wiley and Sons, Inglaterra.

Hartl, D. y A.G. Clark. 2007. *Principles of population genetics*. Sinauer Associates Inc., Sunderland.

Harms, M.J. y J.W. Thornton. 2013. Evolutionary biochemistry: revealing the historical and physical causes of protein properties. *Nature Reviews Genetics* 14:559-571.

Harris, H. 1966. Enzyme polymorphisms in man. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences* 164:298-310.

Jiménez-Sánchez, G., J. Frenk y G. Soberón. 2011. *El poder transformador de la genómica en la economía global*. En: <https://archivo.estepais.com/site/2011/el-poder-transformador-de-la-genomica-en-la-economia-global/>, última consulta: abril de 2020.

Johri, S., J. Solanki, V.A. Cantú *et al*. 2019. 'Genome skimming' with the MinION hand-held sequencer identifies CITES-listed shark species in India's exports market. *Scientific Reports* 9:4476.

Kahilainen, A., M. Puurtinen y J.S. Kotiaho. 2014. Conservation implications of species-genetic diversity correlations. *Global Ecology and Conservation* 2:315-3232.

Kingman, J.F.C. 1982. The coalescent. *Stochastic Processes and Applications* 13:235-248.

Liu, Z.J. y J.F. Cordes. 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture* 238:1-37.

Mardis, E.R. 2008. Next-generation DNA sequencing methods. *Annual Review in Genomics and Human Genetics* 9:387-402.

Núñez, I., E. González-Gaudiano y A. Barahona. 2003. La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia* 28:387-393.

Palazzo, A.F. y T.R. Gregory. 2014. The case for junk DNA. *PLOS Genetics* 10(5):e1004351.

Rodrigues, A. y K.J. Gaston. 2002. Maximising phylogenetic diversity in the selection of networks of conservation areas. *Biological Conservation* 105:103-111.

Vilà, C., P. Savolainen, J.E. Maldonado *et al*. 1997. Multiple and ancient origins of the domestic dog. *Science* 276:1687-1685.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Diversidad bacteriana en tapetes laminados en Guerrero Negro

Alejandro López Cortés y José Quinatzin García Maldonado

Introducción

El mundo microbiano está formado por seres vivos tan pequeños (denominados microorganismos) que no pueden ser detectados por el ojo humano, por lo que son estudiados con ayuda de diversas técnicas y equipos. Los microorganismos se encuentran en el aire, el suelo, los alimentos y dentro del cuerpo humano. Este grupo comprende virus, arqueas, bacterias, protistas y hongos, donde pocos de ellos son patógenos (causantes de enfermedades) y muchos más son inocuos (que no causan daño) y/o aprovechados por el ser humano (véase *Fuente de innovación en biotecnología en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno,* en esta obra).

La primera aproximación para la toma de decisiones con relación a la conservación de los recursos naturales es el conocimiento de su ecología y diversidad. Algunas comunidades de microorganismos se desarrollan en la superficie de los sedimentos de las planicies inundadas con agua de mar, tanto en condiciones naturales como aquellas creadas por la acción de la actividad humana.

La empresa Exportadora de Sal S.A. de C.V., ubicada al noroeste de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, localidad de Guerrero Negro, alberga estanques concentradores para la comercialización de sal, que contienen agua rica en iones representativos del agua de mar (salmuera), como sodio, cloro, magnesio, potasio, calcio y bromo, resultado de la pérdida de agua por acción de la evaporación. Bajo estas condiciones extremas (altas concentraciones de iones de sales) se desarrollan principalmente bacterias, formando macroestructuras laminadas denominadas tapetes microbianos laminados (véase *Fuente de innovación en biotecnología en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno,* en esta obra).

El grupo Bacteria ha sido reconocido y separado de otros grupos de seres vivos a partir del análisis comparativo de la secuencia de nucleótidos en una parte de su ADN (específicamente en genes que codifican para el ácido ribonucleico conocido como 16S RNAr). Esta separación muestra que todas las formas de vida del planeta se agrupan en tres dominios primarios: bacterias (Prokaryotae), eucariontes (Eukarya) y arqueas (Archeae; Woese *et al.* 1990, Woese 1994). Las técnicas de secuenciación de nucleótidos de comunidades microbianas naturales han permitido conocer mejor la diversidad y función de bacterias que habitan tapetes microbianos (entre ellos, los presentes en estanques concentradores de la empresa Exportadora de Sal S.A. de C.V.); asimismo, ha sido posible contar con una mayor claridad respecto a su asignación taxonómica, conformando una base de conocimiento

López-Cortés, A. y J.Q. García-Maldonado. 2025. Diversidad bacteriana en tapetes laminados en Guerrero Negro. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado.* Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 36-41.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

para establecer recomendaciones de protección, conservación y aprovechamiento.

El estudio de este tipo de comunidades bacterianas es útil para la reconstrucción e interpretación del registro fósil del Precámbrico (representado por rocas laminadas denominadas estromatolitos y microfósiles de células bacterianas) y con ello dilucidar las primeras etapas de la evolución biológica (3 500 a 600 millones de años; López-Cortés 1990). Asimismo, el grupo de las bacterias se distingue por su diversidad metabólica relacionada con las diferentes formas de obtención de energía: algunas transforman la radiación solar (fototróficas), otras usan compuestos orgánicos (quimioorganotróficas) y existen aquellas que emplean compuestos inorgánicos (quimiolitotróficas). Estas capacidades son muy relevantes en la movilización y flujo de elementos como carbono, nitrógeno y/o azufre, lo que permite su permanencia y evolución, y denota su potencial de aprovechamiento (p.e. biorremediación mediante la degradación de contaminantes, o generación de nuevos materiales como bioplásticos o combustibles alternos al petróleo como el biogas).

Diversidad de bacterias en tapetes microbianos

La diversidad genética puede ser estudiada a partir del ADN de cultivos de bacterias aisladas de la naturaleza, pero también a partir del ADN total que pueda encontrarse en las células de muestras ambientales (p.e. tapetes microbianos, sedimentos, agua), donde se valora el potencial funcional del ADN para reconocer la composición de grupos a diferentes niveles taxonómicos (*phylum*, clase, orden, familia, género y especie). En estas técnicas se emplean marcadores (herramientas moleculares) particulares como el gen que codifica para el ácido ribonucleico 16S RNAr. En esta contribución se presentan las estimaciones de la presencia de diferentes tipos y abundancias de grupos de bacterias, obtenidas a partir de la secuenciación masiva (metagenómica) de ADN (específicamente del gen que codifica para el 16S RNAr) proveniente de tapetes microbianos de la localidad de Guerrero Negro (figura 1).

A continuación, se presentan los resultados para tapetes microbianos de dos estanques concentradores con diferente salinidad, ubicados dentro de las instalaciones de la empresa Exportadora de Sal S.A. de C.V., muestreados en febrero de 2016. Los sitios estudiados fueron las áreas 4 (A4, 9.9% de salinidad total; figura 2) y 6 (A6, con 12% de salinidad total; figura 3).

Se obtuvieron más de 3.5 millones de lecturas de buena calidad para cada una de las muestras, y para 65-70% de ellas fue posible su asignación taxonómica. Estos datos son importantes debido a que denotan una gran cantidad de información, con calidad y valor para el reconocimiento de las bacterias ahí encontradas. Los análisis bioinformáticos permitieron reconocer que ambas muestras albergan comunidades microbianas con un elevado número de unidades taxonómicas operacionales (OTU por sus siglas en inglés, término equivalente a la categoría de especie biológica). Los análisis de beta diversidad (miden la diferencia de la composición de especies entre dos comunidades) indicaron que existen diferencias entre los sitios.

A niveles taxonómicos altos, la muestra de A4 estuvo mejor representada por miembros de los *phyla* Proteobacteria, Flavobacteria (parte del *Superphyla* FCB), Spirochaetia, Firmicutes, Cyanobacteria, Actinobacteria y Chloroflexi (los cuatro últimos, miembros del *Superphyla* Terrabacteria; figura 4). Por su parte, el sitio A6 estuvo dominado (>60%) por miembros de Proteobacteria (figura 5), el cual se caracteriza por presentar microorganismos con un amplio espectro metabólico (fototrófos, quimiotrófos y quimiolitotrófos).

A nivel de clase, la muestra A4 presentó representantes de Deltaproteobacteria, Gammaproteobacteria y Alfaproteobacteria, mientras que en A6 dominó Deltaproteobacteria. Éstos últimos obtienen energía a partir de compuestos orgánicos o del hidrógeno gaseoso, siendo los sulfatos el último aceptor de electrones en su cadena respiratoria anaerobia, a diferencia de bacterias de la clase Gammaproteobacteria que emplean oxígeno como último aceptor de electrones, por lo que se denominan respiradores aerobios.

Ambas muestras estuvieron dominadas por bacterias sulfato reductoras de la clase Deltaproteobacteria (figuras 4 y 5). Sin embargo, la muestra A4 presentó altas abundancias relativas de microorganismos de la clase Bacteroidetes-Chlorobi (figura 4), para los cuales no fue posible obtener su asignación taxonómica a nivel de género, por lo que pudieran considerarse

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

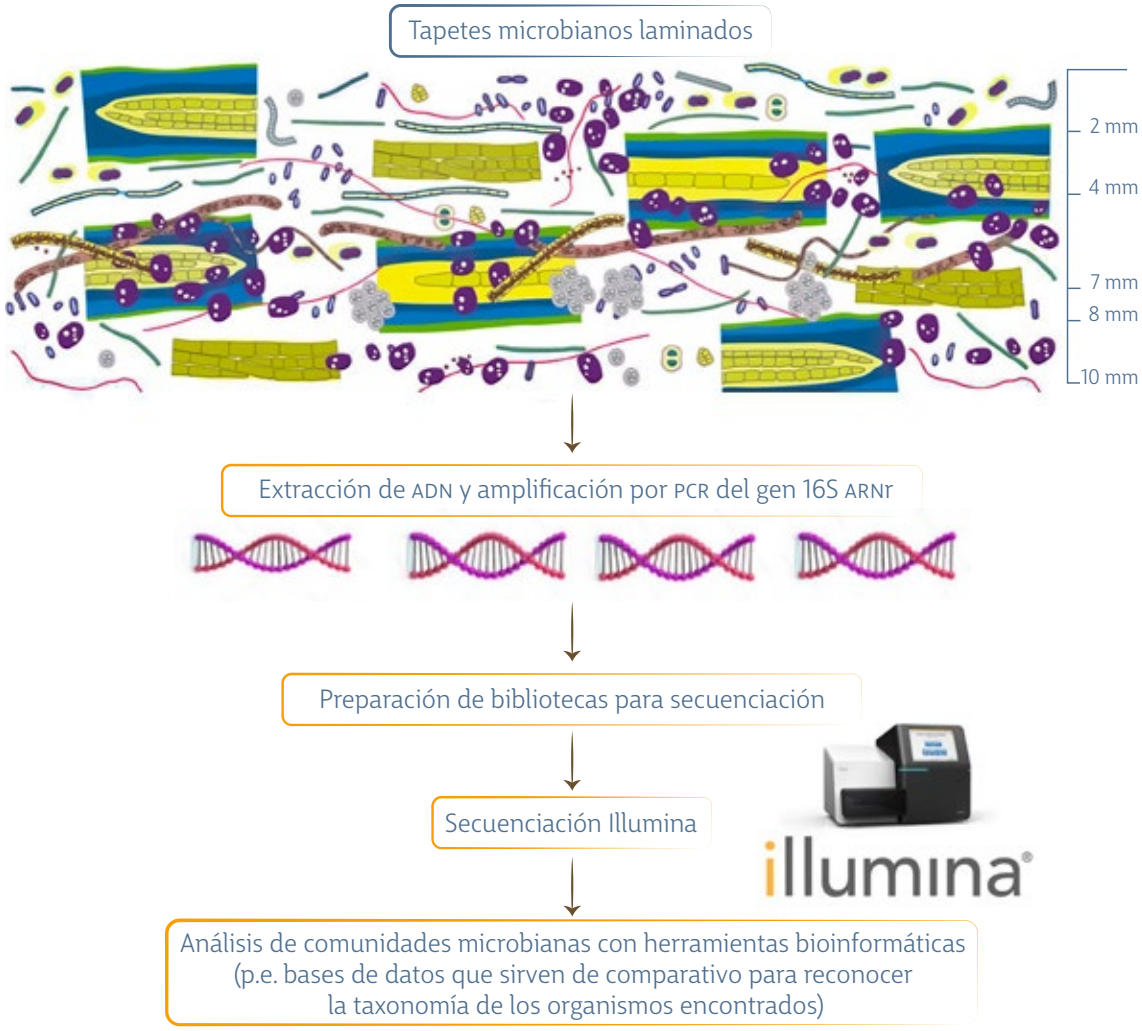


Figura 1. Resumen de la metodología empleada para la caracterización de la composición microbiana en estudios metagenómicos basados en la secuenciación del gen que codifica para el ácido ribonucleico 16S ARNr. PCR: reacción en cadena de la polimerasa. Fuente: elaboración propia.

como bacterias potencialmente novedosas para estos ecosistemas. Otra diferencia importante fue que el sitio A4 estuvo dominado por cianobacterias filamentosas del orden Oscillatoriales; mientras que en la muestra A6 se detectaron cianobacterias unicelulares, que generalmente se reportan para sitios con altas salinidades. A pesar de haber encontrado diferencias en la estructura de la comunidad bacteriana, principalmente relacionadas con la salinidad de las dos áreas estudiadas, son necesarios estudios posteriores para evaluar el efecto de otras variables ambientales y biológicas sobre las comunidades microbianas.

Conclusiones

De manera general, los resultados de composición sugieren que los tapetes microbianos que se desarrollan en el área 4 pueden considerarse, desde la perspectiva ecológica, altamente productivos (materia orgánica y oxígeno) por su riqueza de bacterias fototrófas (proteobacterias, cianobacterias y chlorobi). Por su parte, el área 6 se encuentra dominada por microorganismos relacionados con el ciclo biogeoquímico del azufre (deltaproteobacteria) y cianobacterias. Las primeras tienen capacidad de descomponer materia

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Corte longitudinal con una muestra de un tapete microbiano laminado del área 4. Foto: José Q. García Maldonado.

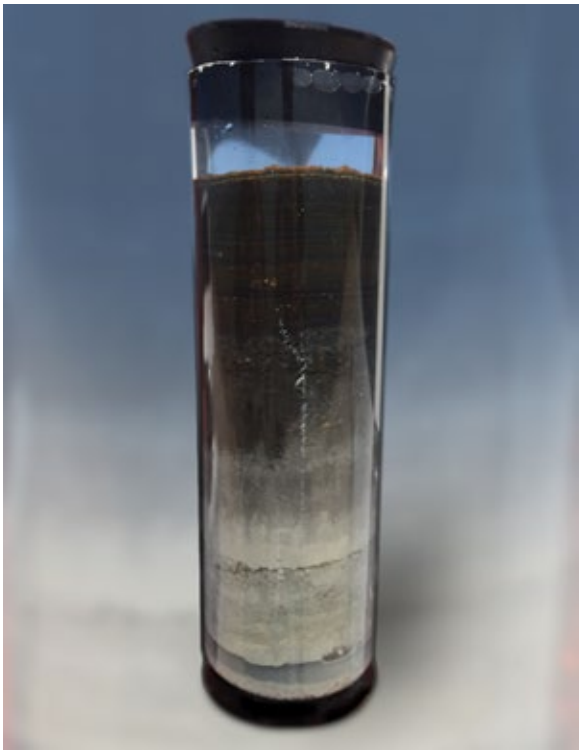


Figura 3. Núcleo de tapete microbiano laminado del área 6. Foto: Alejandro López Cortés.

orgánica en condiciones anaeróbicas, y su proceso metabólico genera dióxido de carbono (CO_2), mismo que será reutilizado por las cianobacterias, resultando un sistema altamente eficiente en el reciclamiento de materia y energía. En conjunto, estos procesos ecológicos son la base para el suministro de servicios ambientales, como es el caso de la fijación de dióxido de carbono, producción de oxígeno, fertilización por la acción de la fijación del nitrógeno gaseoso atmosférico, y la degradación de la materia orgánica, por mencionar solo algunos.

Los resultados de este estudio permitieron reconocer que el conocimiento sobre la diversidad microbiana todavía es limitado, donde muchas secuencias corresponden a microorganismos que aún no han sido reportados en las bases de datos; lo cual sugiere una mayor riqueza de microorganismos, cuya función ecológica es aún desconocida. Así, se concluye que los estanques concentradores evaluados, albergan tapetes microbianos con una importante diversidad de bacterias. El estudio a detalle de estas comunidades aportaría información de relevancia biológica, que conduzca a su protección y conservación *in situ* y *ex situ*.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

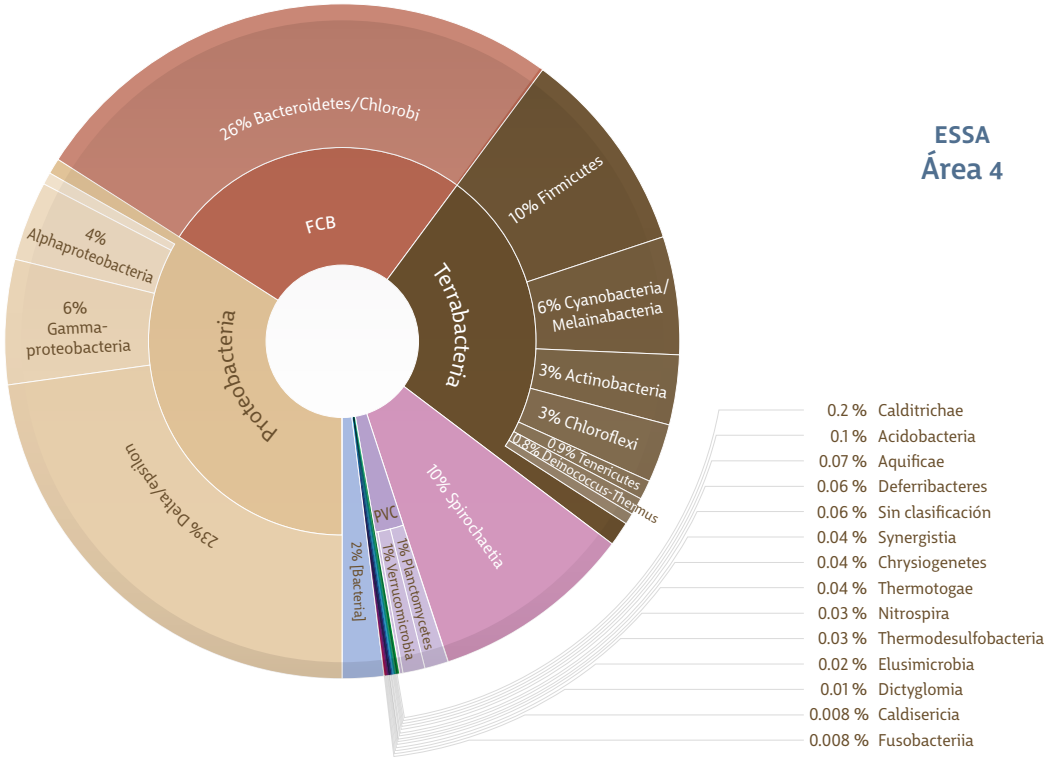


Figura 4. Composición de la comunidad bacteriana del área 4 a diferentes niveles taxonómicos. Fuente: elaboración propia.

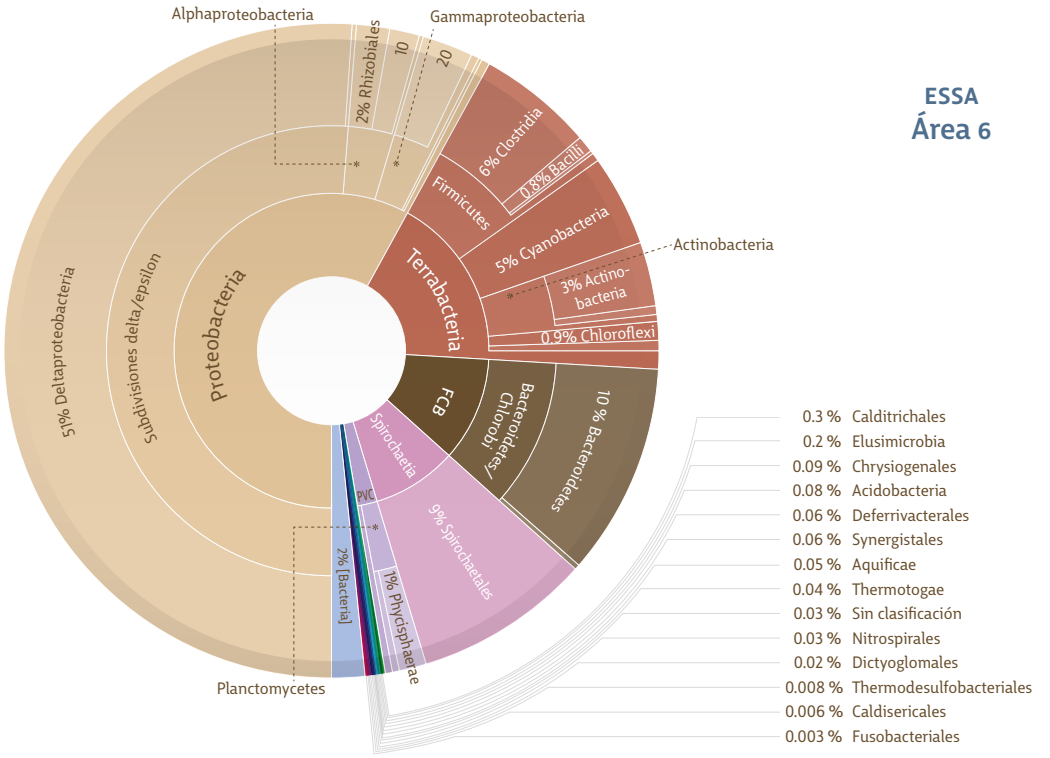


Figura 5. Composición de la comunidad bacteriana del área 6, a diferentes niveles taxonómicos. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

López-Cortés, A. 1990. Microbial mats in tidal channels at San Carlos, Baja California Sur, México. *Geomicrobiology Journal* 8:69-85.

Woese, C. 1994. There must be a prokaryote somewhere: Microbiology's search for itself. *Microbiological Reviews* 58:1-9.

Woese, C.R., S. Winker y R.R. Gutell. 1990. Architecture of ribosomal RNA: constraints on the sequence of tetra-loops. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 87:8467-8471.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Estudios filogeográficos: enseñanzas para el manejo y conservación de la biodiversidad

Francisco Javier García De León, Verónica Mendoza Portillo, Karen Berenice García López, Adonaji Madeleine Orozco Ruiz, Georgina Morales Flores, José Luis Olivas Hernández, Josué Jacob Martínez Noguez, Carina Gutiérrez Flores y Tania Valdivia Carrillo

Introducción

El mundo moderno utiliza el conocimiento como elemento fundamental para generar valor y riqueza a través de la información. Los diversos componentes de la biodiversidad ofrecen un terreno fértil para generar conocimiento y por lo tanto riqueza económica, pero su desconocimiento pone en desventaja a los países que ostentan alta biodiversidad. Aunque en México se realizan esfuerzos, los indicadores para su incorporación a la economía basada en el conocimiento, lo posicionan aún en los últimos lugares (Gaona-Rivera *et al.* 2017). En este capítulo se analizan los enfoques para evaluar la biodiversidad a nivel genético en Baja California Sur, y se intenta valorar la importancia de conocer el origen y la evolución de la diversidad genética para beneficio de la sociedad, en una de las regiones más dinámicas geológicamente del país.

Filogeografía y genética del paisaje

El objetivo de muchos de los estudios genéticos de flora y fauna realizados en la Península de Baja California es entender un fenómeno biológico conocido como especiación (proceso de formación de especies) en sus etapas más iniciales. Esta región es de interés por la comunidad científica internacional por su historia geológica y los distintos ecosistemas, los cuales, determinan la diversidad de formas de vida y sus adaptaciones.

La filogeografía es una rama de la biogeografía que estudia las causas que originan las distribuciones geográficas de los seres vivos, dilucidando linajes genealógicos[1] (Avise 2000). Dichos estudios se realizan a nivel de poblaciones, dentro de una misma especie (poblaciones intraespecíficas) o entre especies estrechamente relacionadas (poblaciones interespecíficas). Esta disciplina usa el análisis de la información genética para descubrir discontinuidades de los linajes genealógicos a lo largo de un espacio geográfico. La filogeografía comparada es una extensión que busca descubrir patrones geográficos e históricos comunes en la biota regional; generalmente se basa en el análisis de secuencias del ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés) mitocondrial (ADNm) de múltiples especies que comparten su distribución

1 Diferencias genéticas que determinan la línea de antepasados y descendientes dentro de los individuos que componen una población.

García-De León, F.J., V. Mendoza-Portillo, K.B. García-López, A.M. Orozco-Ruiz, G. Morales-Flores, J.L. Olivas-Hernández, J.J. Martínez-Noguez, C. Gutiérrez-Flores y T. Valdivia-Carrillo. 2025. Estudios filogeográficos: enseñanzas para el manejo y conservación de la biodiversidad. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 43-56.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

(co-distribución). De manera general, la filogeografía tiene dos hipótesis principales para explicar los patrones filogeográficos observados: la vicarianza y la dispersión.

Por otra parte, la genética del paisaje es otra disciplina que examina la relación entre variables del paisaje ecológico (p.e. temperatura y precipitación) y procesos microevolutivos como el flujo genético (intercambio genético entre dos poblaciones), la deriva génica (cambios genéticos en las poblaciones debido al azar, como consecuencia de cambios generacionales en el número de la población reproductora), o la selección (mecanismo de cambios genéticos debido a un tipo de selección; Sork y Waits 2010). Los hallazgos de esta disciplina representan una explicación alternativa a las discontinuidades genéticas entre linajes geográficos y se refuerza con análisis de modelación de nichos.

El modelado de nicho ecológico es una herramienta cartográfica utilizada en estudios filogeográficos y de genética del paisaje; emplea los datos de observaciones de una especie (ocurrencias), y la información digitalizada de variables ambientales importantes para su supervivencia, con esta información se obtiene el área de distribución geográfica potencial de una especie (Alvarado-Serrano y Knowles 2013). El empleo de esta herramienta ayuda a inferir la distribución presente y pasada de las especies (figuras 1 y 2; Valdivia-Carrillo *et al.* 2017). A continuación, se revisa de manera breve la historia geológica de la península, por ser el escenario donde han evolucionado las especies estudiadas en la entidad.

Figura 1. Iguana de desierto (*Dipsosaurus dorsalis*). Foto: F.J. García-De León.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

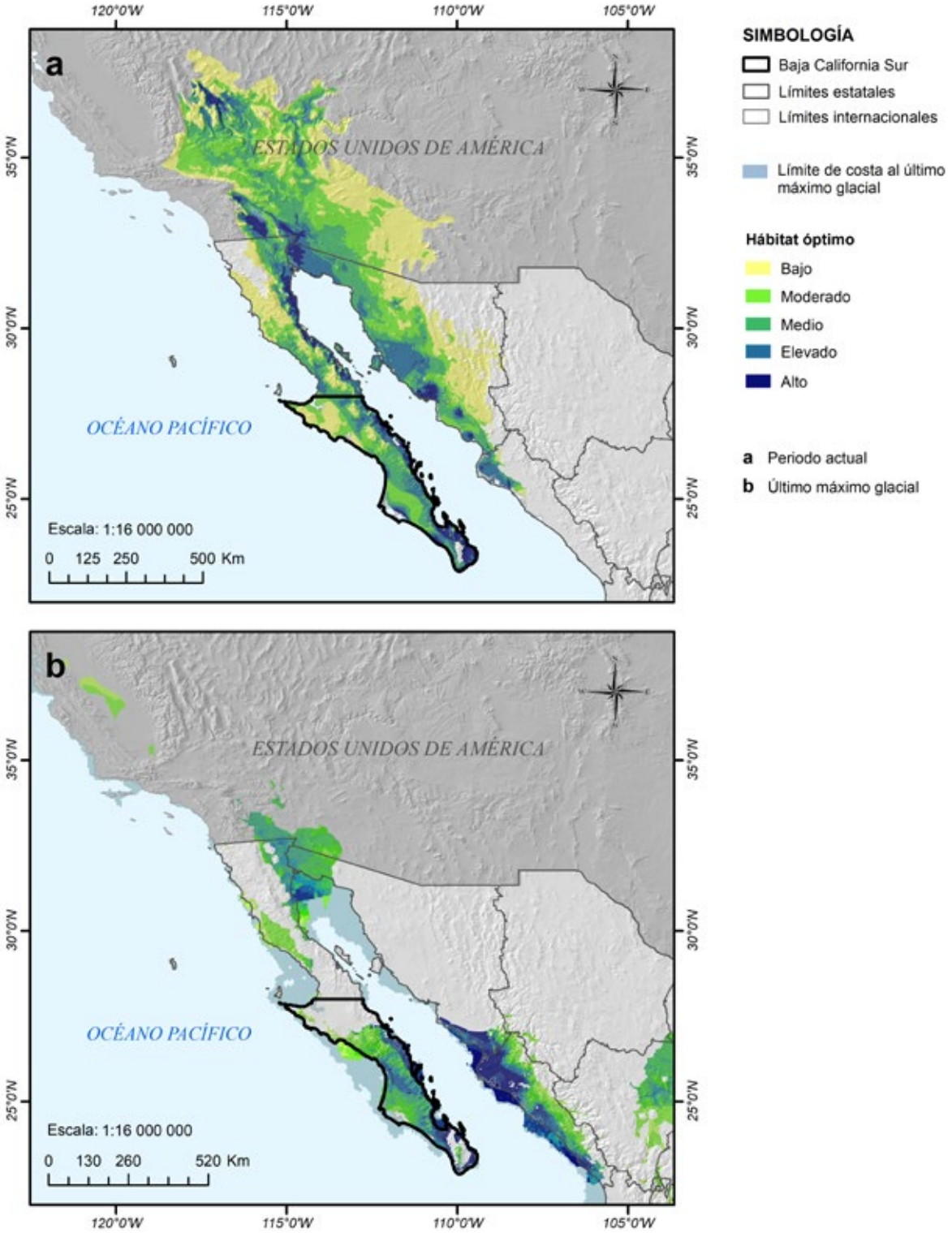


Figura 2. Distribución geográfica potencial (modelado de nicho ecológico) de la iguana del desierto en: a) el periodo actual; b) el último máximo glacial (hace aproximadamente 21 mil años). Fuente: modificado de Valdivia-Carrillo *et al.* 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Historia de la Península de Baja California

Es la segunda península más larga y geográficamente aislada del mundo (Grismer 2000); ocupa alrededor de 1 300 km de extensión, y existe amplio debate acerca de los procesos geológicos que determinaron su historia. En general, la tectónica de placas[2] permite explicar la formación de la península y del golfo de California (particularmente por la interacción y movimiento de las placas Norteamericana, Farallón y del Pacífico). Los acontecimientos geológicos que pudieron ocasionar las diferencias genéticas de los organismos en el noroeste de México son:

1. La formación del golfo de California durante el Mioceno hace aproximadamente 5.5 millones de años (Ma), lo que aisló el continente de la Península de Baja California.
2. La aparición del istmo de La Paz durante el Plioceno (3 Ma), que separó la región Los Cabos del resto de la península por una vía marítima transpeninsular.
3. La formación de la parte norte del golfo de California durante el Plioceno (3 Ma), que separó las biotas del desierto cálido peninsular y continental, y del norte del golfo de California y el sur de California y Arizona.
4. La ocurrencia del canal medio transpeninsular en el Pleistoceno medio (>1.6 Ma), que aisló las biotas peninsulares norte y sur a través de una vía marítima en la porción central de El Vizcaíno (figura 3; Riddle *et al.* 2000).

Los canales y/o vías marítimas transpeninsulares han sido ampliamente citados en los estudios filogeográficos, e invocados para explicar las discontinuidades genéticas de los linajes genealógicos a lo largo de la península; no obstante, han sido también debatidos por las escasas evidencias geológicas (Dolby *et al.* 2015). Para explicar el origen de esos patrones filogeográficos se establecieron hipótesis explicativas que se revisan de forma breve a continuación.

Tipos de patrones

Vicarianza

Es una idea que ayuda a explicar la especiación en sus etapas más iniciales; con ella se piensa que las poblaciones que se distribuyen a ambos lados de una barrera geográfica (p.e. un mar o una montaña) generan grupos separados, mostrando una discontinuidad filogeográfica o linaje de genes monofiléticos recíprocos[3] (figuras 4 y 5). A partir de datos moleculares, geológicos y paleoecológicos, algunos autores proponen que los procesos geológicos ocurridos representan eventos vicariantes, que promovieron la existencia de diferencias genéticas dentro de poblaciones de mamíferos, aves, reptiles y anfibios de la península (figura 4; Riddle *et al.* 2000); sin embargo, estudios posteriores debaten este planteamiento.

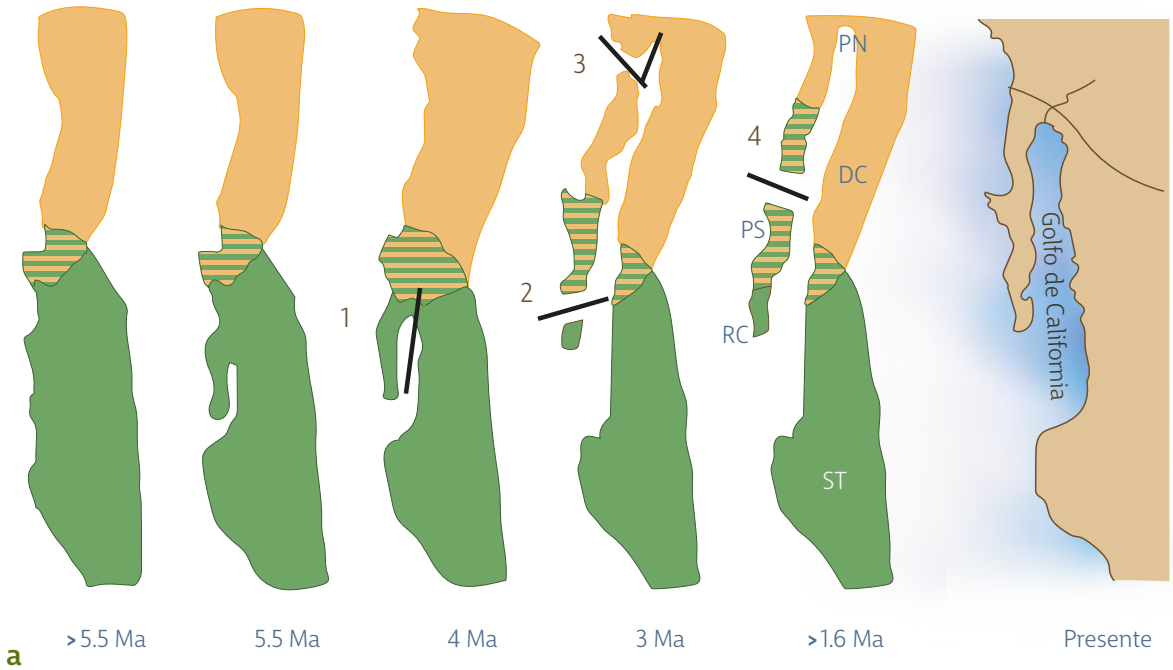
Cambios climáticos durante el Pleistoceno

Los cambios climáticos ocurridos durante el Pleistoceno representan eventos que también pudieron haber influido en la evolución incipiente de las especies, por lo cual son una alternativa para explicar los patrones filogeográficos en la península (Nason *et al.* 2002). El Pleistoceno (que comprende un periodo de hace 2.5 Ma a 11 000 años atrás) se caracterizó por fluctuaciones climáticas muy marcadas, en ciclos de alrededor de 100 mil años; hubo alternancia de etapas más frías (glaciaciones) y etapas cálidas (inter-glaciaciones). El último máximo glacial ocurrió hace 21 mil años: las capas de hielo polares aumentaron hacia el sur y el descenso de temperatura fue máximo (Caballero *et al.* 2010). Estos cambios drásticos de temperatura tuvieron efectos sobre las especies a nivel planetario, algunas especies ampliaron sus áreas de distribución como por ejemplo los robles, pero otras las redujeron.

En el caso de la península algunas especies como las cactáceas respondieron reduciendo sus áreas de distribución; como el cardón (*Pachycereus pringlei*), una especie emblemática de los desiertos del territorio peninsular, que mediante un estudio sobre su

2 La tectónica de placas se refiere a una teoría que explica la posición actual de los continentes y su constante movimiento.
3 Se refiere a dos poblaciones actualmente diferenciadas (que poseen genes diferentes), pero que se originaron de una sola población que vivió en el pasado (ancestro).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA



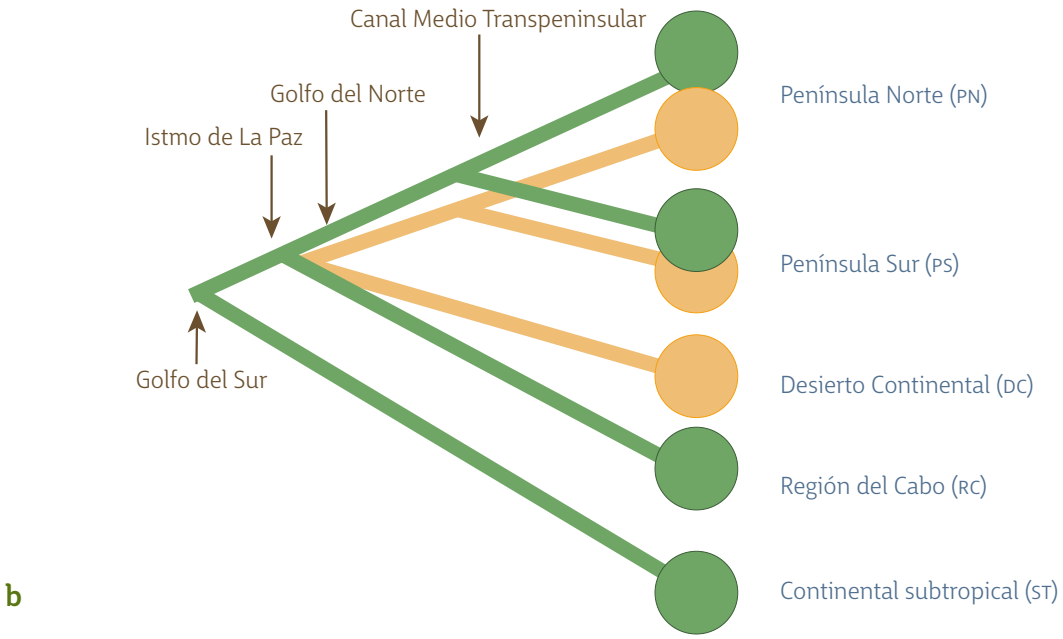


Figura 3. Historia de la Península de Baja California, del Mioceno tardío al Pleistoceno medio. a) Cuatro eventos de vicarianza (representados por líneas negras gruesas) entre matorral subtropical (verde) y desierto (naranja): 1) golfo del Sur; 2) istmo de La Paz; 3) golfo del Norte; y 4) canal medio transpeninsular del Vizcaíno. b) Áreas postuladas y relaciones históricas entre áreas. Ma: millones de años. Fuente: modificado de Riddle *et al.* 2000.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

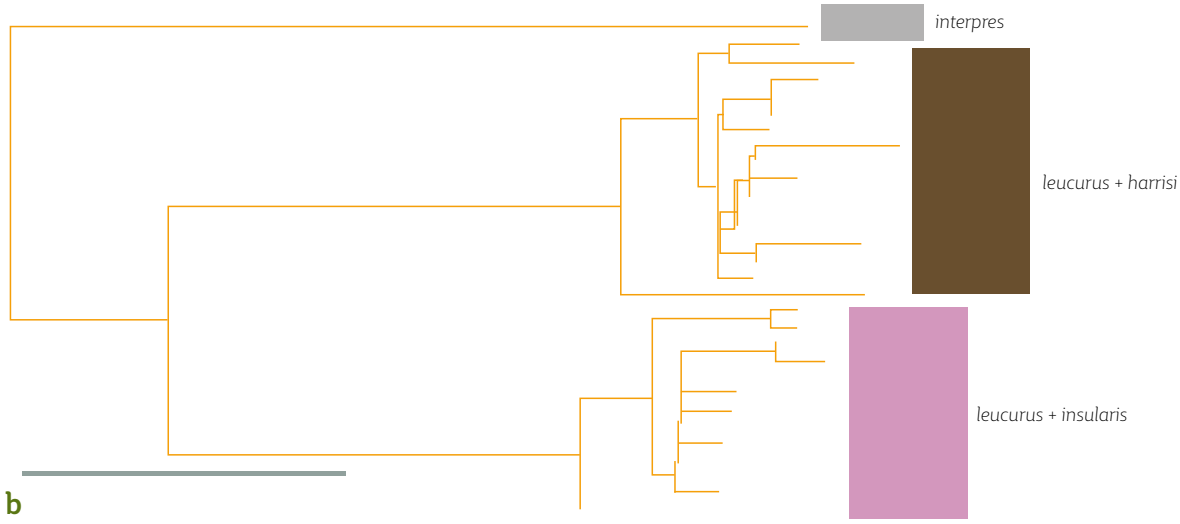


Figura 4. a) Ardilla antílope cola blanca (*Ammospermophilus leucurus*); b) su filogeografía obtenida a partir de secuencias de ADNm en la península, donde se muestra un árbol filogenético que detalla dos linajes genealógicos (subespecies) monofiléticamente recíprocos: *A. leucurus harrisi* (café) y *A. leucurus insularis* (rosa); *A. interpres* (gris) se utilizó como grupo externo para construir el árbol. Fuente/foto: Carlos Javier Navarro Serment/Banco de imágenes CONABIO (a), modificado de Riddle *et al.* 2000 (b).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

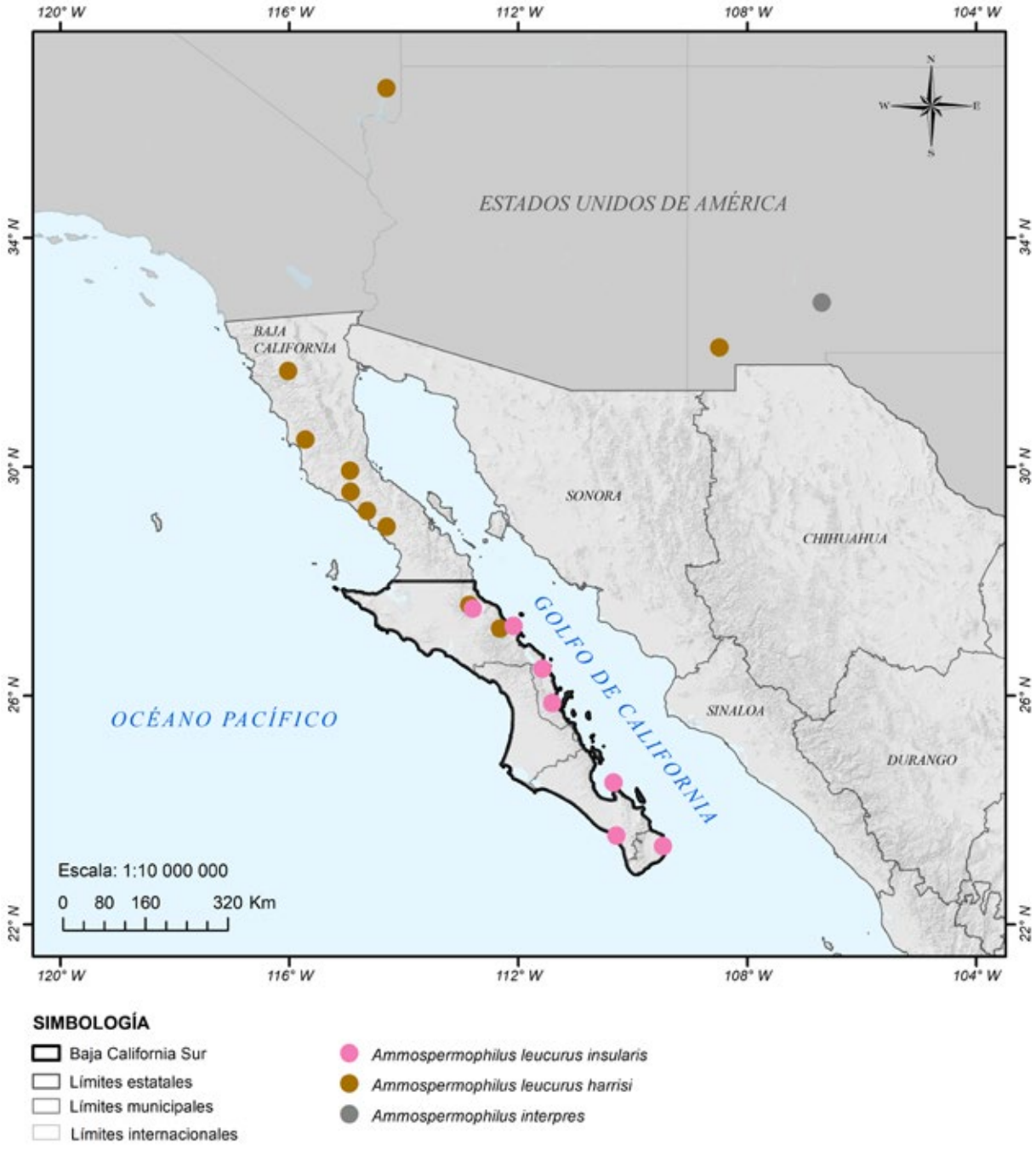


Figura 5. Distribución de los linajes genealógicos de la ardilla antílope cola blanca. Fuente: modificado de Riddle *et al.* 2000.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

diversidad genética usando *loci* microsatélites,[4] mostró un patrón de aislamiento por distancia,[5] donde la diversidad genética es mayor en la región Los Cabos y menor hacia la parte norte (figuras 6 y 7; Gutiérrez-Flores *et al.* 2016). Los estudios de modelado de nicho muestran que, durante el último máximo glacial, la especie se refugió en la región Los Cabos (refugio Pleistocénico), permitiendo que en esta zona *P. pringlei* mantuviera mayor diversidad genética (Gutiérrez-Flores *et al.* 2016).

Dispersión

La dispersión es la capacidad que tienen los organismos de migrar de un lugar a otro con la condición de dejar descendencia al lugar donde migran; esto se entiende como flujo genético. Antes de aceptarse la teoría de tectónica de placas, la similitud entre los grupos biológicos peninsulares y continentales en el noroeste de México se explicó por la hipótesis de dispersión (Savage 1960). Si la dispersión entre las poblaciones es restringida a lo largo de las generaciones (es decir, no hay flujo genético), entonces se podrían generar diferencias genéticas entre ellas, dando una estructura de grupos monofiléticos recíprocos (figuras 4 y 5).

Por otro lado, si la dispersión es asimétrica, es decir, más migrantes en una dirección que en otra (como posiblemente ocurrió durante la expansión de la distribución del cardón desde la población refugio; figura 7), se genera un patrón de aislamiento por distancia. Además, para las poblaciones genéticamente estructuradas (diferenciadas), se presentan alelos únicos (privados)[6] en diferentes genes y en áreas geográficas específicas, y una alta diversidad de secuencias del ADNm; este patrón se explica por la colonización (expansión) a partir de múltiples refugios pleistocénicos. No obstante, si las especies tienen poblaciones débilmente diferenciadas, se espera observar bajos niveles de diversidad de secuencias del ADNm y muy pocos o ningún alelo privado. Este último patrón es típico de las especies que han pasado por expansiones poblacionales rápidas a partir de un reducido número de individuos, por lo general a partir de un solo refugio pleistocénico, como en el caso del cardón (Pulgarín-R. y Burg 2012).

Figura 6. Ejemplar de cardón (*Pachycereus pringlei*). Foto: Carina Gutiérrez-Flores.

4 Tipo de marcador genético presente en el ADN de los organismos, empleado con regularidad para estudios de poblaciones.
5 Patrón que relaciona las distancias genéticas y geográficas, donde organismos más cercanos entre sí, son más similares en su genética que aquellos que están más alejados.
6 Alelos que solo están presentes en una población.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

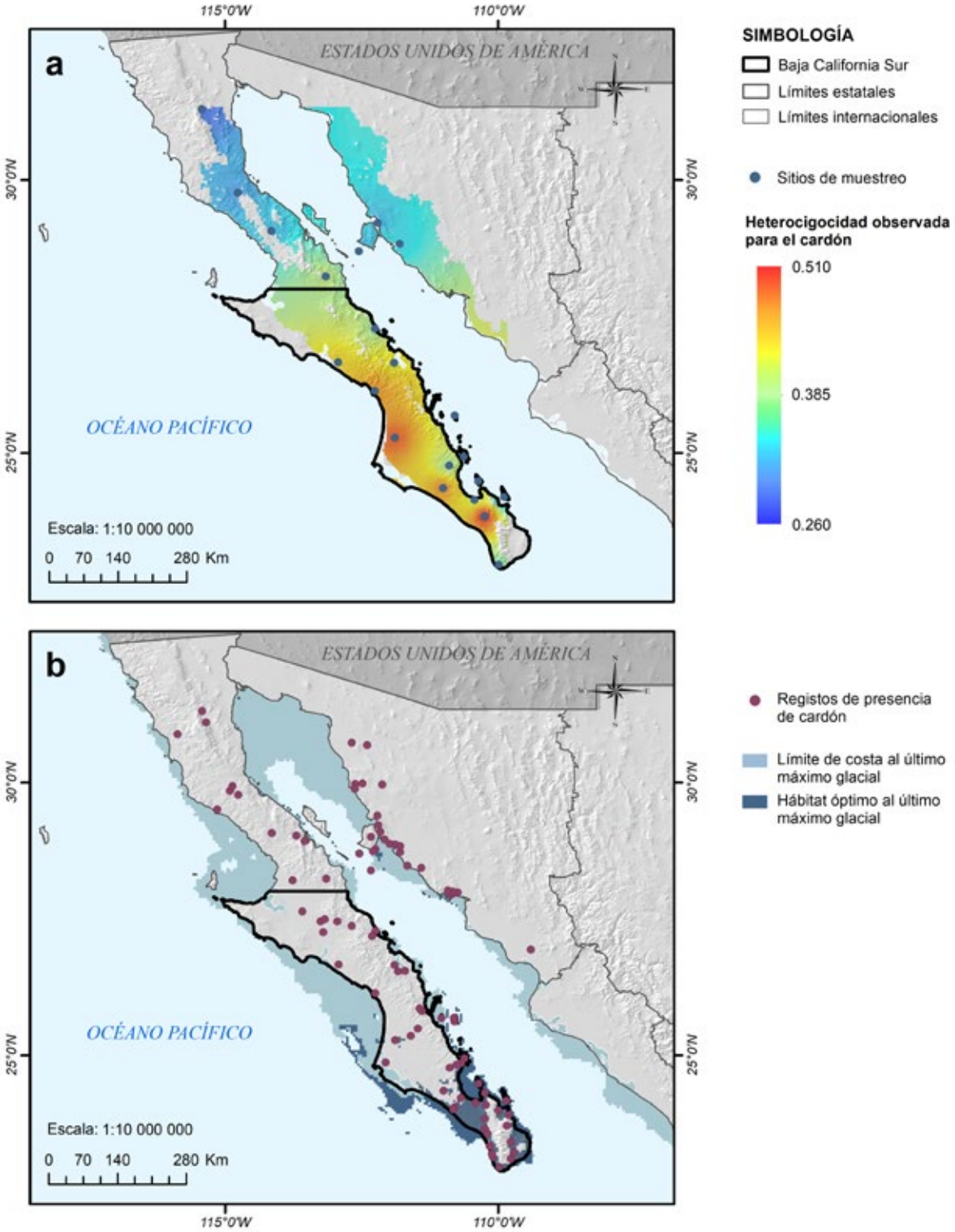


Figura 7. a) Aislamiento por distancia del cardón en la península, la heterocigosidad observada es mayor en el sur que en el norte; b) nicho potencial modelado para el último máximo glacial (hace aproximadamente 21 mil años) que indica una zona de refugio en la región Los Cabos. Fuente: modificado de Gutiérrez-Flores *et al.* 2016.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Estudios filogeográficos

Para la península existen estudios que apoyan tanto la hipótesis de vicarianza (Riddle *et al.* 2000) como la dispersionista (Gutiérrez-Flores *et al.* 2016). Algunos combinan el uso de ambas hipótesis, como en la cactácea del género *Lophocereus* (Nason *et al.* 2002); otros más resaltan que especies con adaptaciones a condiciones ambientales similares comparten áreas de distribución geográfica similares (Bernardi *et al.* 2003). Por otra parte, los estudios teóricos de modelación de poblaciones genéticas virtuales, establecen que las interrupciones filogeográficas (supuestamente formadas por los canales marítimos transpeninsulares), también pueden explicarse sin la necesidad de invocar barreas físicas que impidan el flujo genético (Irwin 2002). Distinguir entre los efectos de la dispersión, vicarianza y otros procesos evolutivos (p.e. la selección natural o la migración), requiere de una interpretación cuidadosa de los patrones filogeográficos y la estructura genética de las poblaciones. Además, la interpretación de los datos genéticos es más confiable cuando se realizan pruebas estadísticas con relación a las hipótesis explicativas (dispersión, vicarianza, selección; Cruzan y Templeton 2000).

Como se comenta en el primer capítulo de esta sección, la revisión bibliográfica reveló 189 investigaciones sobre diversidad genética de biota en Baja California Sur, de las cuales 147 tuvieron un enfoque en filogeográfico, estructura genética y genética del paisaje. De éstas, las plantas solo estuvieron representadas en 16 de los trabajos; mientras que, dentro de los vertebrados, los peces son el principal grupo de estudio (figura 8; véase *Diversidad genética en peces marinos*, en esta obra).

Cerca de 55% de los estudios con enfoque filogeográfico y estructura genética se realizó con ADNm (figura 9a) y en menor proporción con marcadores nucleares (aloenzimas, microsatélites y SNP); estas proporciones son similares al análisis global de todas las investigaciones (véase *Diversidad genética*, en esta obra). Los municipios más visitados en cuanto a sitios de recolecta fueron La Paz y Mulegé (figura 9b); esto quizás como reflejo del interés de los investigadores por probar hipótesis de vicarianza, entre el istmo de La Paz y el medio transpeninsular del Vizcaíno.

En ese análisis bibliográfico también existen estudios de revisión, en la que se compara la filogeografía de diferentes grupos biológicos en la península (Riddle *et al.* 2000, Zink *et al.* 2001, Murphy y Aguirre-León 2002, Dolby *et al.* 2015). Sin embargo, en ellos, las interpretaciones para explicar los patrones filogeográficos pudieron estar sesgadas por una serie de factores. Por ejemplo, no hubo homogeneidad en el empleo de marcadores genéticos, tampoco fueron los mismos genes, ni los mismos métodos de análisis, ni probablemente los más adecuados para estimar las señales genéticas dejadas por diferentes períodos de tiempos geológicos; además, las estrategias y esfuerzos de

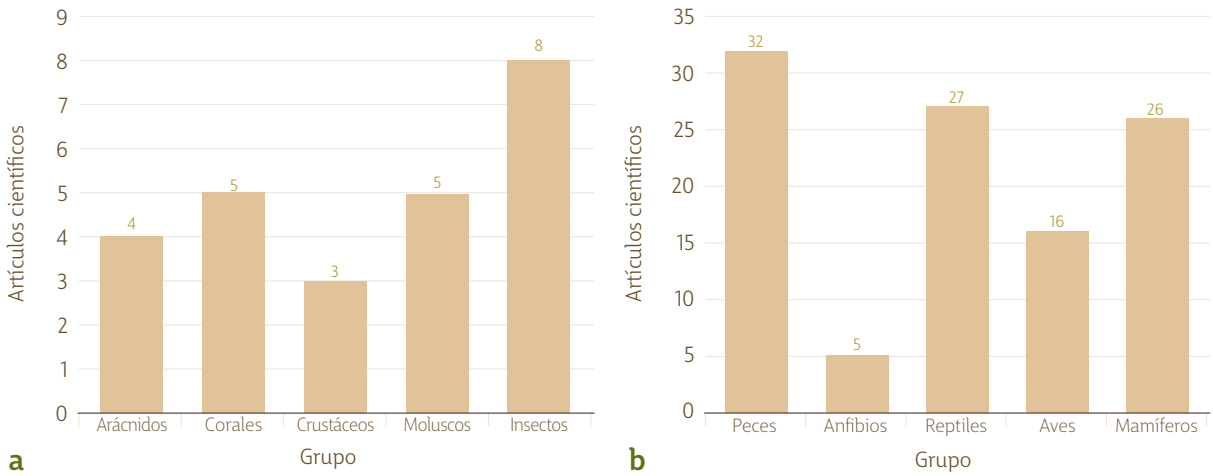


Figura 8. Artículos científicos sobre el tema de filogeografía y estructura genética en: a) invertebrados; b) vertebrados. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

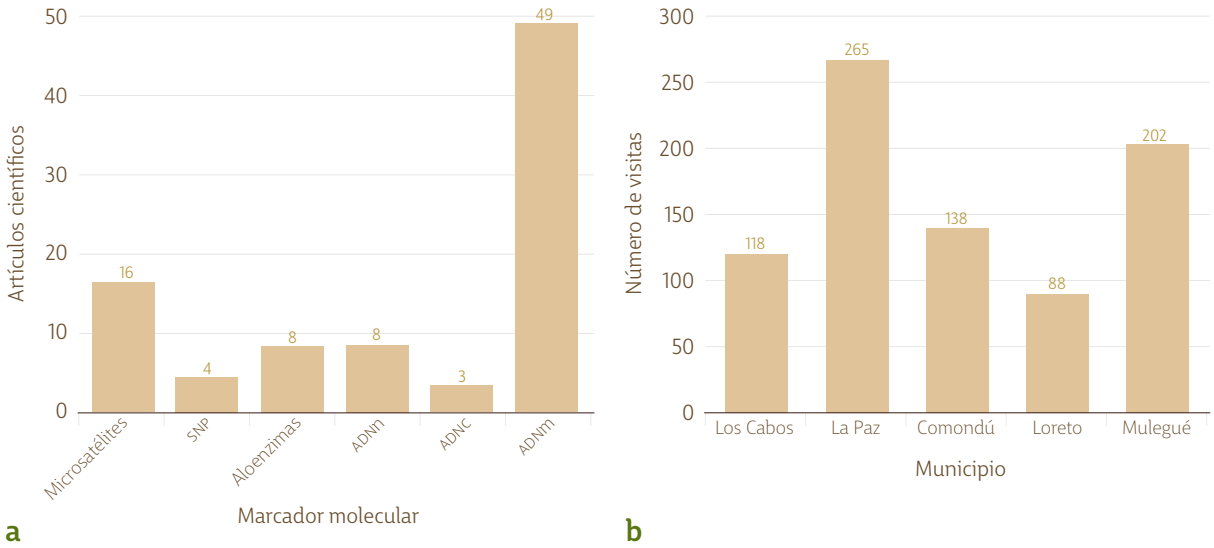


Figura 9. a) Marcadores moleculares más usados en los estudios de filogeografía y genética de poblaciones en el estado; b) municipios con sitios de recolecta registrados. ADNn: ADN nuclear; ADNc: ADN cloropástico; ADNm: ADN mitocondrial, SNP: polimorfismos de nucleótido único. Fuente: elaboración propia.

recolecta en cada una de las investigaciones fueron muy diferentes (Crews y Hedin 2006).

En un esfuerzo por encontrar una explicación general a la filogeografía de diversos *taxa* terrestres en la península, Dolby y colaboradores (2015) demostraron que no existe un consenso ni en los grupos biológicos analizados, ni en la localización geográfica de las barreras invocadas contra el flujo genético. Recientemente, se propusieron formas innovadoras de análisis de datos para discernir entre los efectos de factores ambientales con respecto a los vicariantes (Garrick *et al.* 2013). Todos estos análisis sugieren la necesidad de continuar con este tipo de estudios para buscar explicaciones alternativas. Con la secuenciación masiva de los genomas y el desarrollo de nuevas herramientas estadísticas, se prevé una nueva generación de investigaciones que valorarán el efecto de la heterogeneidad ambiental sobre los procesos adaptativos de la fauna y flora de la península.

Enseñanzas para el manejo y conservación de la biodiversidad

No hay duda de que los estudios de filogeografía y estructura genética de las poblaciones son valiosas metodologías que pueden implementarse como estrategias para un desarrollo sostenible y de conservación efectivas, en particular para las especies endémicas y en peligro. El riesgo de extinción es mayor para las especies con distribuciones estrechas y tamaños de poblaciones pequeños (especialmente si el flujo de genes entre las poblaciones es menor que en aquellos con poblaciones grandes y estables), por lo cual estos estudios serían un valioso aporte al conocimiento y conservación biológica. Las investigaciones filogeográficas en la península han dejado importantes enseñanzas sobre la biodiversidad regional:

- Muchas especies previamente consideradas como simples, resultaron ser un complejo de especies crípticas; es decir, la información de su diversidad genética permitió evidenciar que la riqueza de especies en la región ha sido subestimada.
- Los *taxa* que comparten su distribución, frecuentemente revelan patrones filogenéticos y estructuración genética que explican su origen; estos hechos ponen en evidencia la compleja historia geológica de la región y la variación climática del Pleistoceno como los orquestadores de la biodiversidad de ésta.
- Dichos estudios permitieron identificar áreas evolutivas significativas, las cuales son importantes para la conservación frente al acelerado impacto

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

antropogénico, dejando abierta la posibilidad de concebir áreas geográficas protegidas mediante criterios alternativos sobre el potencial evolutivo de las especies (p.e. la región Los Cabos o las Islas del Golfo de California).

- Los estudios de estructura genética abren la posibilidad de modelar escenarios futuros para la sobrevivencia de especies y linajes evolutivos ante el cambio climático global, y con ello identificar las especies resilientes.
- Los estudios de genética de poblaciones junto con la ecología del paisaje (genética del paisaje) han sido muy escasos en la península, pero aquí se resalta que este tipo de investigaciones muestran los impactos de cambios del paisaje recientes –como la fragmentación– sobre los patrones de distribución geográfica de la diversidad genética y el descubrimiento de procesos de conectividad entre poblaciones que muestran diferenciación genética. Esta información es valiosa para las estimaciones de las tasas de extinción de especies.

Consideraciones generales y conclusiones

Este ensayo pone en evidencia que la gran mayoría de los estudios de estructura genética y filogeografía realizados para los diversos organismos, no fueron concebidos para responder a las necesidades de las actividades productivas mencionadas en el plan de desarrollo estatal. No obstante, ahora se conoce cuáles son las causas que originaron la diversidad biológica (al menos para las especies evaluadas) y se entiende mejor que la región Los Cabos es *hot-spot*[7] de diversidad genética. Este valioso conocimiento puede ser útil para diferentes propósitos. Por ejemplo, la actividad turística tiene una alta demanda de espacios geográficos para la construcción de hoteles y servicios; aunque la ley obliga desarrollar estudios de impacto ambiental, por lo general, estos no consideran los criterios de diversidad genética, por lo que estas investigaciones aportan un conocimiento que se puede incorporar a las métricas de valoración de impacto ambiental. Además, el sector turismo seguirá creciendo, lo cual resulta interesante debido a que se tienen estimaciones de diversidad genética y se puede evaluar con precisión los efectos genéticos de la futura fragmentación de los hábitats.

En el sector pesca, la información sobre estudios genéticos es importante para identificar *stocks* pesqueros[8] y con ello auxiliar en determinar las máximas capturas sostenibles (medida que evita la sobreexplotación pesquera). Asimismo, la información genética puede ser útil para la trazabilidad de los productos del mar, lo que les proporciona valor agregado y mejora el valor de venta; es de lamentar que en esta revisión no hay ningún trabajo encaminado hacia estas aplicaciones, lo cual deja abierta la posibilidad de nuevas investigaciones.

A nivel agropecuario, el estado es reconocido por ser centro de origen de especies como el algodón y el maíz (véase *Panoramas de la diversidad genética en plantas*, en esta obra). Para estas especies no existen estudios estatales sobre diversidad genética a nivel molecular; el análisis de esta información podrá ser comparada con lo que se conoce para otras regiones de México y en el mundo, con la intención de valorar la riqueza de genes y el potencial de desarrollo de cultivares nativos de la región.

Desde el punto de vista de la conservación, en el futuro inmediato se presagia un aumento de la aridificación, así como una mayor actividad humana que aumentará la fragmentación de los hábitats, con consecuencias como el aumento en la tasa de pérdida de biodiversidad. Ante este escenario y las conocidas limitaciones económicas, es fundamental priorizar áreas para conservar; los enfoques filogeográfico y filogenético, son criterios que podrían resolver el complejo problema de cuánto habrá que conservar. No importa la aplicación que se le pueda dar al conocimiento de la diversidad genética, algo relevante a destacar es que para usarlo se requiere de recursos humanos capacitados y laboratorios especializados con técnicas modernas montadas, así como un presupuesto honroso y continúo para conocer la riqueza biológica en términos genéticos y su potencial uso

7 Región donde los organismos tienen una alta diversidad genética.
8 Poblaciones de peces sujetas a la captura comercial.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

para un desarrollo sostenible. Esto es sin duda, un reto para los gobiernos estatal y federal.

Conocer la diversidad genética también promueve los nuevos desarrollos biotecnológicos; por ejemplo, las toxinas de organismos marinos (p.e. moluscos, medusas, entre otros) y los venenos de diversos animales terrestres (p.e. arañas, escorpiones, víboras de cascabel) son de alto potencial para su uso en medicina y farmacología. El conocimiento de las relaciones filogenéticas entre especies, y el desarrollo tecnológico en otras especies para otras regiones del mundo, representa un marco conceptual e innovador para describir novedades biotecnológicas para su uso inmediato. Al respecto, las víboras de cascabel de las Islas del Golfo de California representan un caso interesante (Ruiz-Sanchez *et al*. 2019). Este tipo de investigaciones son importantes para incorporar a México a una la economía basada en el conocimiento.

Un aspecto importante en conservación es trasmitir el conocimiento científico a la sociedad. La biodiversidad es producto de procesos evolutivos y mecanismos ecológicos complejos donde las interacciones biológicas juegan un papel fundamental; entender para observar esta magnífica biodiversidad, es algo que debe quedar claro para evitar la continua pérdida de biodiversidad. Educar a las nuevas generaciones ayudará a detener esta disminución. La sociedad en su conjunto tendrá que ser el vigilante y a la vez el juez para conocer, preservar y usar eficientemente los recursos biológicos en estos tiempos de globalización. Finalmente, no hay excusa para no conocer el capital natural de Baja California Sur; el dejar a otros con mayor capacidad tecnológica realizar esta tarea, abre la posibilidad de seguir perdiendo valores estéticos, culturales y económicos, y con ello la soberanía nacional.

Referencias

Avise, J.C. 2000. *Phylogeography: The history and formation of species*. Harvard University Press, EUA.

Alvarado-Serrano, D.F. y L.L. Knowles. 2013. Ecological niche models in phylogeographic studies: applications, advances and precautions. *Molecular Ecology Resources* 14:233-248.

Bernardi, G., L. Findley y A. Rocha-Olivares. 2003. Vicariance and dispersal across Baja California in disjunct marine fish populations. *Evolution* 57:1599-1609.

Caballero, M., S. Lozano-García, L. Vázquez-Selem y B. Ortega. 2010. Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62:359-377.

Crews, S.C. y M. Hedin. 2006. Studies of morphological and molecular phylogenetic divergence in spiders (Araneae: *Homalonychus*) from the American southwest, including divergence along the Baja California Peninsula. *Molecular Phylogenetic and Evolution* 38:470-487.

Cruzan, M.B. y A.R. Templeton. 2000. Paleoecology and coalescence: phylogeographic analysis of hypotheses from the fossil record. *Trends in Ecology and Evolution* 15:491-496.

Dolby, G.A., S.E.K. Bennett, A. Lira-Noriega *et al*. 2015. Assessing the geological and climatic forcing of biodiversity and evolution surrounding the Gulf of California. *Journal of the Southwest* 57:391-455.

Gaona-Rivera, E., J.M. Sierra Castillo y D.X. González Gómez. 2017. Economía del conocimiento: El caso de México en comparación con seis países. *Cimexus* 12:65-82.

Garrick, R.C., J.D. Nason, J.F. Fernández-Manjarrés y R.J. Dyer. 2013. Ecological coassociations influence species' responses to past climatic change: an example from a Sonoran Desert bark beetle. *Molecular Ecology* 22:3345-3361.

Grismer, L.L. 2000. Evolutionary biogeography on Mexico's Baja California Peninsula: A synthesis of molecules and historical geology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97:14017-14018.

Gutiérrez-Flores, C., F.J. García-De León, J.L. León-de la Luz y J.H. Cota-Sánchez. 2016. Microsatellite genetic diversity and mating systems in the columnar cactus *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 22:1-10.

Irwin, D.E. 2002. Phylogeographic breaks without geographic barriers to gene flow. *Evolution* 56:2383-2394.

Murphy, R.W. y G. Aguirre-León. 2002. The nonavian reptiles: origins and evolution. En: *A new island biogeography of the Sea of Cortes*. T.J. Case, M.L. Cody, y E. Ezcurra (eds.). Oxford University Press, Nueva York, pp. 181-220.

Nason, J.D., J.L. Hamrick y T.H. Fleming. 2002. Historical vicariance and postglacial colonization effects on the evolution of ge-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

netic structure in *Lophocereus*, a Sonoran Desert columnar cactus. *Evolution* 56:2214-2226.

Pulgarín-R., P.C. y Y.M. Burg. 2012. Genetic signals of demographic expansion in downy woodpecker (*Picoides pubescens*) after the last North American glacial maximum. *PLOS ONE* 7:e40412.

Riddle, B., D.J. Hafner, L.F. Alexander y J.R. Jaeger. 2000. Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California Peninsular desert biota. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97:14438-14443.

Ruiz-Sanchez, E., G. Arnaud, O.R. Cruz-Andrés y F.J. García-De León. 2019. Phylogenetic relationships and origin of the rattlesnakes of the Gulf of California islands (Viperidae: Crotalinae: *Crotalus*). *The Herpetological Journal* 29:167-177.

Savage, J.M. 1960. Evolution of a peninsular herpetophauna. *Systematic Zoology* 9:184-212.

Sork, V.L. y L. Waits. 2010. Contributions of landscape genetics approaches, insights, and future potential. *Molecular Ecology* 19:3489-3495.

Valdivia-Carrillo, T., F.J. García-De León, M.C. Blázquez *et al*. 2017. Phylogeography and ecological niche modeling of desert iguana (*Dipsosaurus dorsalis*, Baird & Girard 1852) in the Baja California Peninsula. *Journal of Heredity* 108:640-649.

Zink, R.M., A.E. Kessen, T.V. Line y R.C. Blackwell-Rago. 2001. Comparative phylogeography of some aridland bird species. *The Condor* 103:1-10.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Panoramas de la diversidad genética en plantas

Josué Jacob Martínez Noguez, Carina Gutiérrez Flores, Francisco Javier García De León y José Luis León de la Luz

Introducción

Dentro de la composición florística de Baja California Sur se ubican un poco más de 2 mil taxones de acuerdo con los últimos recuentos de plantas vasculares (Villaseñor 2016, León de la Luz *et al.* 2018). Este número corresponde a una riqueza florística relativamente baja, solo comparable con entidades con reducida superficie, como Aguascalientes, Colima, Ciudad de México y Tlaxcala. Sin embargo, la característica de la entidad radica en el número de endemismos reconocidos: 383 restringidos a sus límites políticos, cifra solo superada por Oaxaca y Chiapas, que son los estados de mayor diversidad de especies de plantas en el país. Si a ese número de especies endémicas se añaden 144 que se comparten con Baja California (entidad con la que se presenta una continuidad ambiental), y 291 endémicas estrictas para esa misma entidad, es razonable considerar que el rasgo más importante de la flora de la península es el endemismo.

Dentro de la riqueza de especies, su variabilidad genética constituye un valor potencial para realizar futuros aprovechamientos en diferentes aplicaciones (p.e. agroindustriales). La diversidad genética de las plantas en el estado puede plantearse desde dos grandes panoramas: uno para el análisis de las plantas silvestres, y otro para las plantas cultivadas o potencialmente útiles. Los estudios moleculares de plantas silvestres permiten resolver numerosos planteamientos de la investigación científica, como eventos de vicarianza[1] y dispersionismo.[2] Estos estudios pueden utilizarse para la designación de áreas o especies de prioridad para su protección, y ayudan a entender el papel que tienen los factores bióticos y abióticos en la historia evolutiva y diversificación de especies.

En el ámbito de las especies comerciales (cultivadas), el conocimiento de la variabilidad genética permite impulsar el desarrollo tecnológico para aprovecharlo en problemáticas locales relacionadas con la escasez de agua, salinidad, presencia de patógenos o climas extremos. Además, de acceder a estrategias de uso y manejo, crear alternativas energéticas y gestionar nuevos medicamentos para la salud pública. A continuación, se hace una revisión de algunas de las investigaciones más notables sobre la diversidad genética tanto en grupos de plantas silvestres como cultivadas en Baja California Sur.

1 Fragmentación del patrón de diversidad genética ancestral por la aparición de una barrera geográfica.
2 Colonización de un área cruzando una barrera geográfica preexistente.

Martínez-Noguez, J.J., C. Gutiérrez-Flores, F.J. García-De León y J.L. León de la Luz. 2025. Panoramas de la diversidad genética en plantas. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado.* Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 57-68.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Estudios de diversidad genética en plantas silvestres

Mediante una revisión bibliográfica se encontraron 18 estudios concernientes al tema de diversidad genética para la flora en el estado (apéndice 46). La mayoría de los estudios se realizaron en especies no endémicas, con un rango de distribución amplio que incluye a otros estados como Sonora y Baja California. Varias de estas especies son emblemáticas para el desierto sonorense, como el cardón (*Pachycereus pringlei*), las palmas (*Washingtonia robusta*, *Brahea brandegeei*), la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*) y los mangles (*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, figura 1); además, presentan un importante valor cultural, ecológico, ornamental, paisajístico e incluso alimenticio, debido a que algunas poseen frutos comestibles (León de la Luz *et al.* 2015).

La composición florística y la vegetación del territorio sudcaliforniano, como se conoce actualmente, ha sido modelada por eventos geológicos y climáticos históricos, así como por procesos biológicos que operan a diferentes escalas espacio-temporales. Estos eventos seguramente dejaron señales en los genomas de las plantas, que pueden interpretarse por medio de diferentes análisis estadísticos. Los estudios genéticos de la flora del estado empezaron a finales de la década de los noventa. En la actualidad, se cuenta con diferentes marcadores moleculares (figura 2) y las investigaciones abarcan distintas temáticas, incluyendo la genética de poblaciones y la filogeografía.[3]

Entre los primeros estudios se encuentran aquellos que emplearon aloenzimas en tres especies de cactáceas: *P. pringlei* (Fleming *et al.* 1998), *S. gummosus* (Clark-Tapia y Molina-Freaner 2003), y *L. schottii* (Nason *et al.* 2002). Otros estudios emplearon la herramienta molecular denominada polimorfismo del ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés) amplificado al azar (RAPD por sus siglas en inglés) en tres especies: la chirinola o pitaya rastrera (*Stenocereus eruca*; Clark-Tapia *et al.* 2005), y los agaves *Agave cerulata* y *A. deserti* (Navarro-Quezada *et al.* 2003). Estudios más recientes emplean secuenciación de ADN cloroplástico y nuclear, así como microsatélites[4] para determinar patrones espacio-temporales de estructura y diversidad genética, e investigar su asociación con eventos geológicos y climáticos históricos.

Dentro de los estudios que incluyen análisis filogeográficos se examinan 11 especies: incienso (*Encelia farinosa*; Fehlberg y Ranker 2009), candelilla (*Euphorbia lomelii*; Garrick *et al.* 2009), algodón (*Gossypium davidsonii*; Kuester y Nason 2012), pitaya agria (*S. gummosus*; Lozano-Garza *et al.* 2015), mangle rojo (*R. mangle*; Sandoval-Castro *et al.* 2012, Lo *et al.* 2014), mangle negro (*A. germinans*; Sandoval-Castro *et al.* 2012, 2014), roble (*Quercus brandegeei*, figura 3; Cavender-Bares *et al.* 2015), muérdago del desierto (*Phoradendron californicum*; Lira-Noriega *et al.* 2015), cardón (*P. pringlei*; Gutiérrez-Flores *et al.* 2016), y dos palmas (*B. brandegeei* y *W. robusta*; Klimova *et al.* 2017).

Finalmente, con las técnicas de secuenciación de nueva generación es posible obtener un mayor número de marcadores moleculares. Por medio de la técnica de pirosecuenciación,[5] fue posible obtener *loci* microsatelitales en *P. pringlei* (Gutiérrez-Flores *et al.* 2014) y *S. gummosus* (Lozano-Garza *et al.* 2015), y esta información sirve para desarrollar estudios filogeográficos; mientras que la genotipificación por secuenciación[6] (GBS por sus siglas en inglés) se utilizó en las palmas *B. brandegeei* y *W. robusta*, para obtener cientos de miles de polimorfismos de un simple nucleótido (SNP) para realizar un estudio de filogeografía y divergencia adaptativa (Klimova *et al.* 2018).

Si bien, se aprecia el empleo de una amplia variedad de marcadores moleculares; también es remarcable la necesidad de realizar estudios comparativos que ayuden a comprender de manera global la historia evolutiva de la flora del estado. De acuerdo con la revisión bibliográfica del presente trabajo, en los 18 es-

3 Estudio de los procesos históricos (genealogías) responsables de las distribuciones geográficas contemporáneas de individuos.
4 Fragmentos de secuencias de ADN cuyo tamaño van desde dos hasta seis pares de bases, y que se repiten de manera consecutiva. La variación en el número de repeticiones genera diferentes alelos.
5 Técnica que permite la obtención de secuencias aleatorias del ADN por medio de luminiscencia.
6 Técnica que permite identificar variaciones de un solo nucleótido en los genomas, mejor conocidos como polimorfismos de un simple nucleótido (SNP por sus siglas en inglés).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Especies más estudiadas bajo la perspectiva genética en el estado. a) Pitaya agria (*Stenocereus gummosus*); b) cardón (*Pachycereus pringlei*); c) senita (*Lophocereus schottii*); d) palma negra (*B. brandegeei*); e) mangle (*Rhizophora mangle*). Fotos: José Luis León de la Luz.

tudios genéticos revisados (apéndice 46) únicamente se analizaron 17 especies de plantas (o 19 *taxa* considerando subespecies y variedades), lo cual representa menos de 1% de las 2 070 especies reportadas para territorio estatal (Villaseñor 2016, León de la Luz *et al.* 2018). Además, de un total de 383 especies endémicas reportadas para en la entidad, cuatro (1.05%) fueron estudiadas (o bien, siete *taxa* considerando variedades y subespecies). Los estudios moleculares de especies nativas son particularmente importantes para la conservación, debido a que la variabilidad genética determina su capacidad de respuesta a cambios ambientales o a la destrucción de hábitat, y a menudo se concentran en un área geográfica restringida.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Especies como *Q. brandegeei* (figura 3), una variedad de senita (*L. schotti* var. *australis*), y una variedad de incienso (*E. farinosa* var. *radians*), son exclusivas de la región Los Cabos. Por su parte, la senita espinosa *L. gatesii* y el algodón *G. harknessii*, son relevantes debido a que se encuentran restringidas a los municipios de La Paz y Los Cabos; el agave *A. cerulata* ssp. *subcerulata* es endémico del Desierto del Vizcaino, y la chirinola *S. eruca* es endémica de la costa oeste del municipio de Comondú. Cabe resaltar que *Q. brandegeei*, *G. harknessii* y *S. eruca* se encuentran bajo algún grado de protección dentro de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2019) y/o por la NOM-059 (SEMARNAT 2010), por lo que el conocimiento generado sobre su diversidad genética debe ser fundamental para desarrollar e implementar estrategias de manejo y conservación.

Los estudios de diversidad genética también están sesgados en cuanto a los grupos taxonómicos analizados, aunque esto podría ser un reflejo del tipo de vegetación que predomina en esta región desértica. La familia más estudiada es Cactaceae, con un total de cinco especies (*L. gatesii*, *L. schottii*, *P. pringlei*, *S. eruca* y *S. gummosus*), seguida de Asparagaceae (*A. cerulata* y *A. deserti*), Arecaceae (*B. brandegeei* y *W. robusta*) y Malvaceae (*G. davidsonii* y *G. harknessii*; figura 4).

Los estudios filogeográficos de la flora de la entidad han puesto en evidencia el impacto del régimen climático del Pleistoceno (hace unos 21 mil años) sobre la distribución y diversidad genética; estos estudios apoyan la hipótesis de dispersionismo, recurrente en dirección norte-sur y sur-norte, para explicar los patrones de distribución observados en la actualidad, particularmente en plantas. En este sentido, en tres cactáceas columnares con rangos de distribución similares (*P. pringlei*, *L. schottii* y *S. gummosus*; Nason *et al.* 2002, Clark-Tapia y Molina-Freaner 2003, Lozano-Garza *et al.* 2015, Gutiérrez-Flores *et al.* 2016), el análisis de la información permite identificar una señal genética que caracteriza los siguientes patrones filogeográficos:

- Filogenia de clados anidados (linajes genealógicos o historia de la ascendencia y descendencia de grupos evolutivamente relacionados) con dirección a la ruta de expansión; es decir, las poblaciones más recientes evolutivamente, están anidadas de manera serial dentro de las poblaciones más ancestrales (figuras 5a-c).
- Disminución gradual de la diversidad genética con el aumento de la latitud, lo cual es consistente con la colonización gradual hacia el norte de la península (figuras 5d-f).
- Áreas de alta diversidad genética al sur de la península, consistentes con posibles zonas de refugio durante condiciones adversas (máximos glaciales).
- Un patrón de aislamiento por distancia, es decir, el flujo genético entre poblaciones está en función de la distancia geográfica.

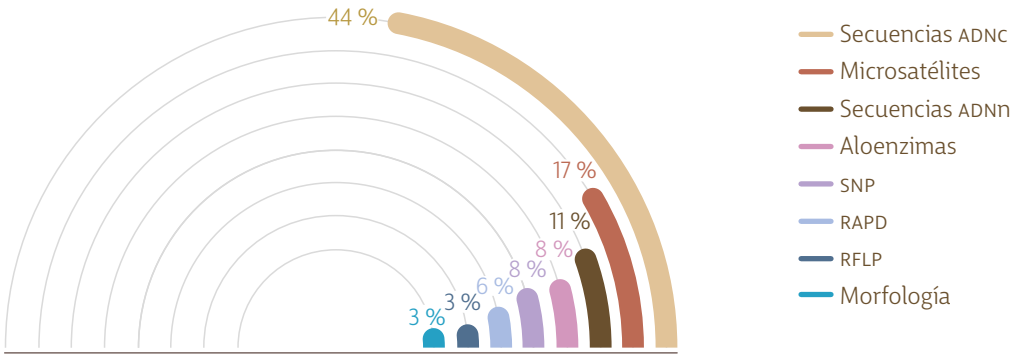


Figura 2. Proporción de estudios desarrollados según el tipo de marcador molecular utilizado, considerando aquellos referentes a la diversidad genética de plantas en el estado. ADNn: ADN nuclear; ADNc: ADN cloroplástico; RAPD: ácido desoxirribonucleico amplificado al azar; RFLP: polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción; SNP: polimorfismos de un simple nucleótido. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. El roble (*Quercus brandegeei*). Foto: José Luis León de la Luz.

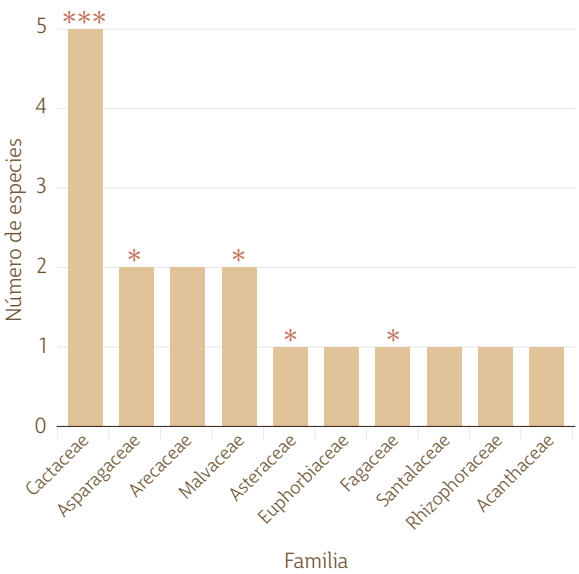


Figura 4. Familias de plantas más estudiadas genéticamente en el territorio sudcaliforniano. Los asteriscos sobre las barras indican el número de *taxa* (especies o variedades) endémicas. Fuente: elaboración propia.

Patrones filogeográficos similares se reportan para otras plantas: *A. cerulata* (Navarro-Quezada *et al.* 2003), *Encelia farinosa* (Fehlberg y Ranker 2009), *R. mangle* (Sandoval-Castro *et al.* 2012, 2014), *A. germinans* (Sandoval-Castro *et al.* 2014), *W. robusta* y *B. brandegeei* (Klimova *et al.* 2017, 2018). En contraste, para el roble *Q. brandegeei*, una especie perteneciente a un grupo de vegetales tolerantes a climas fríos y que se restringe actualmente a la región Los Cabos donde hay relativamente alta disponibilidad de agua, la evidencia molecular con marcadores microsatelites y del ADNc sugieren retracción de su rango de distribución, asociado al cambio climático actual en la mayor parte de la península, que incluye un régimen más cálido y seco que en tiempos históricos pasados (Cavender-Bares *et al.* 2015).

Los estudios moleculares de expansión y contracción del rango de distribución para la flora estatal son consistentes también con el registro fósil de materiales de plantas encontrados en nidos de rata del género *Neotoma* a lo largo del Desierto de Sonora. Dichos estudios, indican que desde hace 8 mil años ocurrió

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

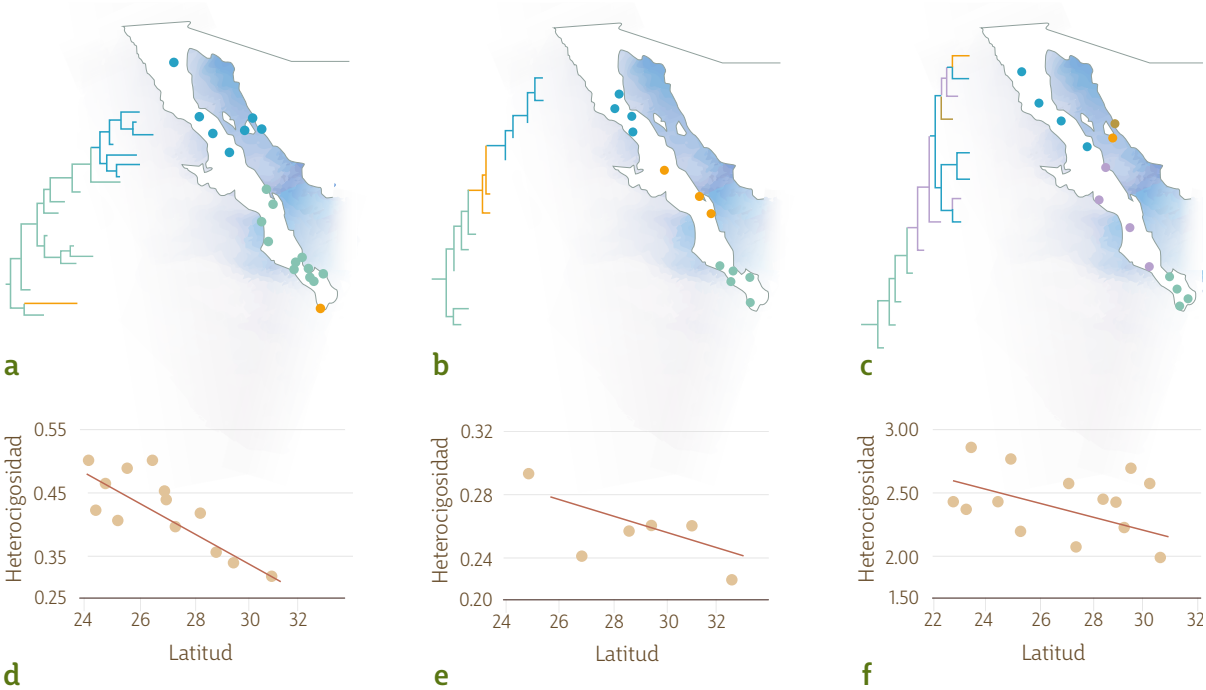


Figura 5. Representaciones esquemáticas y espaciales que muestran los patrones de diferenciación genética para: a) el cardón (*P. pringlei*); b) la senita (*L. schottii*); c) la pitaya agria (*S. gummosus*); el cambio de colores representa saltos bruscos de diferenciación genética. Patrones para la relación entre diversidad genética (heterocigosidad) y latitud, en: d) *P. pringlei*; e) *L. schottii*; f) *S. gummosus*. Fuente: elaboración propia con datos de Nason *et al.* 2002, Clark-Tapia y Molina-Freaner 2003, Lozano-Garza *et al.* 2015, Gutiérrez-Flores *et al.* 2016.

un cambio de vegetación, pasando de bosque hacia la vegetación xérica (seca) actual (Van Devender 1990). No obstante, también se reportan inconsistencias en los patrones filogeográficos. Un caso particular es la candelilla (*E. lomelii*), la cual presentó un patrón de diversidad genética opuesto al reportado comúnmente en otras especies xéricas del estado; es decir, las poblaciones de *E. lomelii* al norte de la entidad concentran mayor diversidad genética, y ésta decrece gradualmente en poblaciones que se distribuyen hacia el sur. Lo anterior sugiere que, el patrón filogeográfico de especies que comparten una misma historia geológica y climática puede ser más complejo de lo que se pensaba.

Desde el punto de vista de la hipótesis de vicarianza (Riddle *et al.* 2000), se reportan discontinuidades genéticas consistentes con las barreras geográficas marinas existentes en el pasado; de éstas, resalta el canal medio transpeninsular y el istmo de La Paz, eventos históricos geográficos útiles para dar explicación a la estructura genética de *L. schottii* (Nason *et al.* 2002), *P. pringlei* (Gutiérrez-Flores *et al.* 2016), *E. lomelii* (Garrick *et al.* 2009) y *P. californicum* (Lira-Noriega *et al.* 2015). Sin embargo, en *L. schottii* y *P. pringlei* hay evidencia de mezcla entre las poblaciones adyacentes a estos supuestos canales transpeninsulares, lo cual sugiere que los eventos vicariantes no fueron barreras efectivas al flujo genético y que la expansión reciente de la flora xérica (durante el Pleistoceno) borró parcialmente las señales que pudieron haber dejado estos eventos geológicos (Nason *et al.* 2002, Gutiérrez-Flores *et al.* 2016). Asimismo, se sugieren otros factores que influyen en el patrón de estructura poblacional, como: el cambio brusco de condiciones medioambientales que ocurre precisamente a la altura de media península y condiciones climáticas distintas para la región Los Cabos en el caso de *E. lomelii* (Garrick *et al.* 2009); la variación geográfica de los sistemas de reproducción en *P. pringlei* (Gutiérrez-Flores *et al.* 2016); las interacciones parásito-hospedero en *P.*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

californicum (Lira-Noriega *et al.* 2015); la distribución y tipo de polinizadores en *S. gummosus* (Clark-Tapia y Molina-Freaner 2003); y la adaptación a condiciones locales en *W. robusta* (Klimova *et al.* 2018).

Estudios de diversidad genética en plantas cultivadas

La valoración de la diversidad genética en las plantas cultivadas se analiza de forma distinta a la caracterización de la diversidad genética en la vegetación silvestre. Las plantas cultivadas pueden ser especies introducidas o nativas que las domesticaron con la intención de obtener un beneficio, por lo cual la diversidad genética es apreciada de forma utilitaria, donde la búsqueda de cultivares es una tarea permanente. Los cultivares son aquella selección hecha por el ser humano para el mejoramiento genético de un cultivo vegetal (Arévalo *et al.* 2006). Estos se originan a partir de la búsqueda de caracteres que le confieran condiciones favorables de interés agrícola, que influyan directamente en la adaptación local de la planta, es decir, rasgos que favorezcan la calidad, rendimiento, tolerancia y resistencia a condiciones de estrés tanto bióticas como abióticas (Nicolaï *et al.* 2013).

En el estado, el uso de la diversidad genética para fines del mejoramiento agrícola inició con la llegada de los misioneros jesuitas, entre 1697 y 1768 (Cariño y Castorena 2007). Ellos introdujeron los primeros sistemas agrícolas en la región, además del desarrollo de los primeros cultivares que pudieran hacer frente a los escenarios climáticos y edafológicos de la zona, donde predomina el estrés hídrico, la salinidad en los suelos y las altas temperaturas. Para el estado, las principales plantas que se introdujeron con éxito fueron higo, uva y aceituna, además de cítricos, granadas y dátiles (Nabhan 2008).

Actualmente, continúan gestándose estudios relacionados con la valoración de cultivares resistentes a condiciones ambientales de las zonas áridas regionales y la identificación de fuentes de variabilidad genética para programas de investigación. En este caso se encuentran los cultivares de triticale, que es un híbrido entre el trigo y el centeno (figura 6); y la avena *Secale cereale*, donde se seleccionaron genotipos con adaptaciones a las condiciones ambientales de

Figura 6. Espigas de triticale en campo experimental del CIBNOR. Foto: Héctor Cirilo Fraga-Palomino.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

esta zona, identificando nuevas fuentes de variabilidad genética y seleccionando líneas con potencial de producción para forraje y grano en La Paz (Murillo-Álvarez *et al.* 2001b).

Existen trabajos que valoraron la diversidad desde una perspectiva de variedades resistentes y su respuesta a condiciones de estrés (p.e. hídrico o de salinidad en el suelo), lo cual se observa en especies como el nopal *Opuntia* spp. (Nieto-Garibay *et al.* 2011), la albahaca *Ocimum basilicum* (Reyes-Pérez *et al.* 2013), el tomate rojo *Lycopersicon esculentum* (Ruiz *et al.* 2014) y los chiles *Capsicum frutescens* y *C. annuum* (Nieto-Garibay *et al.* 2009). Otro aspecto propio de la diversidad genética en cultivares es la presencia de metabolitos secundarios, los cuales son compuestos diversos, producidos por las plantas para auxiliarse en la defensa contra agentes externos, permitiéndoles sobrevivir en relaciones interespecíficas y eventos de estrés (p.e. herbivoría, radiación solar). En la comunidad científica se hacen esfuerzos para caracterizar la diversidad y la obtención de metabolitos secundarios, lo que a su vez implica probar su posible aprovechamiento por su relevancia en el ámbito industrial, farmacéutico y nutricional (Guerriero *et al.* 2018).

En la entidad se evaluó la actividad de extractos de plantas como el jumete (*Asclepias subulata*), el torote blanco (*Bursera odorata*) y la hierba del pasmo (*Gundlachia difusa*, antes *Haplopappus sonorensis*), reconocidas por su uso medicinal, donde se demuestra un papel antimicrobiano y actividad citotóxica en líneas de células de cáncer de colon en humanos (Murillo-Álvarez *et al.* 2001a). Junto con esto, se evalúan las especies utilizadas tradicionalmente por la medicina, valorando especies como el floripondio (*Dature suaveolens*), el romerillo (*Hymenoclea monogyra*), la chicura (*Ambrosia ambrosioides*), el copalquín (*Bursera filicifolia*), entre otras, para usos farmacológicos (Encarnación-Dimayuga *et al.* 1998).

Respecto a las especies vegetales consideradas con potencial para la producción de biocombustibles, se estudian especies como el sagregado (*Jatropha curcas*) y el lomboy blanco (*J. cinerea*; apéndice 47; Hishida *et al.* 2013). Asimismo, existe una gran variedad de especies vegetales regionales potencialmente aprovechables, reconocidas ampliamente por los rancheros sudcalifornianos por sus propiedades alimenticias nutricionales, recreativas, medicinales (Pío-León *et al.* 2017, 2018) y comerciales (p.e. mango y dátil); sin embargo, no han sido evaluadas desde una perspectiva que valore su diversidad.

Si bien la generación de cultivares permite fijar caracteres (alelos) de interés agrícola, estas combinaciones tienen poca probabilidad de ser retenidas de forma natural y repercute en la pérdida de otras combinaciones (Nicolaï *et al.* 2013), perdiendo variabilidad genética tan pronto como el proceso de domesticación se inicia, y esto puede empeorar cuando la planta se utiliza en un lugar distinto al de su centro de origen (Tang *et al.* 2010). Ante este riesgo se comenzó a caracterizar y resguardar la diversidad genética de especies de importancia agrícola y de sus parientes silvestres, debido a que se manifiesta como un recurso esencial para asegurar el aprovechamiento de los recursos vegetales en el futuro (FAO 2010). En el estado, la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), son las principales instituciones que trabajan con estos retos; adicionalmente, el sector privado también participa, pero la información que ellos generan no es pública.

Por otro lado, el territorio sudcaliforniano se reconoce como uno de los centros de origen y de diversidad genética del maíz, designación hecha bajo la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados de México; este nombramiento tiene por objetivo el resguardo y conocimiento de la diversidad regional (SAGARPA 2012). Esto no solo implica ser parte del centro de origen de una especie, sino que ubica al estado como un sitio potencial para el resguardo de la diversidad genética de más especies y una responsabilidad para el aprovechamiento y conservación de estos recursos genéticos. Sin embargo, son escasos los trabajos que evalúan las líneas y variedades genéticas de especies con potencial para desarrollo de cultivos; incluso para el maíz, aun teniendo la designación en la entidad, no se han desarrollado estudios que caractericen completamente su diversidad genética en la región.

El conocimiento existente sobre la caracterización genética en especies regionales presenta un uso intrínseco, sobre todo para aquellas que tienen potencial de aprovechamiento como la pitaya (*Stenocereus gummosus*). Su especie hermana apreciada como ali-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

mento, el xoconochtli (*S. stellatus*), ha estado sujeta a procesos de domesticación al sur del país, donde se separaron líneas basándose en el color, tamaño y sabor de su fruto (Casas *et al.* 1997, 1999); lo mismo podría desarrollarse regionalmente con *S. gummosus*, pero utilizando también los elementos caracterizados sobre su diversidad genética para aprovechar y conservar de mejor manera este recurso regional.

Otra planta que participa como ejemplo de alto potencial de desarrollo son las especies del algodón como *Gossypium aridum*. Esta especie tiene altos niveles de diversidad dentro de Colima, lo cual puede ser consecuencia de la hibridación con otras especies, como *G. davidsonii*, la cual tiene origen en Baja California Sur (figura 7) y ha divergido de las demás especies, manteniéndose aislada dentro del territorio peninsular (Álvarez y Wendel 2006); estos aspectos (divergencia y aislamiento) impactaron el potencial evolutivo y adaptativo de la especie en su ambiente natural. Comprender la evolución y la diversidad genética del género *Gossypium* representa una plataforma que debe ocuparse para el aprovechamiento, el mejoramiento y el resguardo de los recursos genéticos del algodón (Ulloa *et al.* 2013, Pérez *et al.* 2016). Los anteriores ejemplos son tan solo una muestra sobre lo que se conoce de la diversidad genética de las plantas cultivadas de la entidad, mismas que sientan las bases para estrategias de desarrollo económico, por lo que se resalta la necesidad de usar esta información para agregar valor de uso a los recursos genéticos del estado.

Figura 7. Flor del algodón (*Gossypium davidsonii*). Foto: Sue Carnahan/SEINET.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones

En la entidad, el principal rasgo de la flora vascular radica en la cantidad de especies endémicas que se han desarrollado respondiendo a fuerzas evolutivas, particularmente al aislamiento geográfico. Cada una de estas contiene características únicas de estudio, así como potencialidades y oportunidades para realizar investigaciones científicas relativas a su desarrollo evolutivo y potencial utilitario.

En esta revisión se resalta que las comparaciones de los patrones filogeográficos son de utilidad, para determinar el efecto que han tenido los eventos geológicos y climáticos del pasado, así como permiten identificar sitios de alta diversidad, rutas históricas de colonización o de refugio, áreas de divergencia, o diferencias asociadas a factores que operan a menores escala tales como: rasgos de historia de vida, polinizadores, dispersores, competencia, entre otros. Sin embargo, la poca representatividad de los estudios a lo largo de las familias de plantas en el estado, así como la variedad de marcadores moleculares empleados, dificulta las comparaciones de patrones de diversidad y estructura genética, y podría llevar a formular inferencias distintas, causando problemas en la elaboración de planes de manejo, por lo que es importante seguir con este tipo de estudios en un mayor número de plantas.

Finalmente, el territorio sudcaliforniano posee variedades vegetales con potencial para la domesticación, uso e incorporación en el mercado. Por lo anterior, es fundamental cuantificar la diversidad existente en ellas, con el fin de desarrollar un correcto manejo y uso de estos recursos genéticos, y con ello asegurar su explotación responsable.

Referencias

Álvarez, I. y J.F. Wendel. 2006. Criptic interespecific introgression and genetic differentiation within *Gossypium aridum* (Malvaceae) and its relatives. *Evolution* 60(3):505-517.

Arévalo, R.A., I.E. Bertoncini, N. Guirado y S. Chaila. 2006. Los términos cultivar o variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista Chapingo* serie horticultura 12(1):5-9.

Cariño, O.M. y D.L. Castorena. 2007. *Sudcalifornia: de sus orígenes a nuestros días*. UABCS, Baja California Sur.

Casas, A., B. Pickersgill, J. Caballero y A. Valiente-Banuet. 1997. Ethnobotany and domestication in Xoconochtli *Stenocereus stellatus* (Cactaceae), in the Tehuacán Valley and La Mixteca Baja, México. *Economic Botany* 51(3):279-292.

Casas, A., J. Caballero, A. Valiente-Banuet *et al.* 1999. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central Mexico. *American Journal of Botany* 86(4):522-533.

Cavender-Bares, J., A. González-Rodríguez, D.A.R. Eaton *et al.* 2015. Phylogeny and biogeography of the American live oaks (*Quercus* subsection *Virentes*): a genomic and population genetics approach. *Molecular Ecology* 24:3668-3687.

Clark-Tapia, R. y F. Molina-Freaner. 2003. The genetic structure of a columnar cactus with a disjunct distribution: *Stenocereus gummosus* in the Sonoran Desert. *Heredity* 90:443-450.

Clark-Tapia, R., C. Alfonso-Corrado, L.E. Eguiarte y F. Molina-Freaner. 2005. Clonal diversity and distribution in *Stenocereus eruca* (Cactaceae), a narrow endemic cactus of the Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 92(2):272-278.

Encarnación-Dimayuga, R., L. Altamirano y K. Aoki. 1998. Screening of medicinal plants from Baja California Sur (Mexico) by their effects on smooth muscle contractility. *Pharmaceutical Biology* 36(2):124-130.

FAO. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. 2010. *The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture.* FAO, Roma.

Fehlberg, S.D. y T.A. Ranker. 2009. Evolutionary history and phylogeography of *Encelia farinosa* (Asteraceae) from the Sonoran, Mojave, and Peninsular Deserts. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 50:326-335.

Fleming, T.H., S. Maurice y J.L. Hamrick. 1998. Geographic variation in the breeding system and the evolutionary stability of trioecy in *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Evolutionary Ecology* 12:279-289.

Garrick, R.C., J.D. Nason, C.A. Meadows y R.J. Dyer. 2009. Not just vicariance: phylogeography of a Sonoran Desert euphorb indicates a major role of range expansion along the Baja Peninsula. *Molecular Ecology* 18:1916-1931.

Guerriero, G., R. Berni, J. Muñoz-Sánchez *et al.* 2018. Production of plant secondary metabolites: examples, tips and suggestions for biotechnologists. *Genes* 9(6):309.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Gutiérrez-Flores, C., F.J. García De León, J.L. León de la luz y J.H. Cota-Sánchez. 2016. Microsatellite genetic diversity and mating systems in the columnar cactus *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 22:1-10.

Gutiérrez-Flores, C., O.A. Lozano-Garza, J.L. León de la Luz y F.J. García De León. 2014. Development and characterization of 10 microsatellite loci in the giant cardon cactus, *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Applications in Plant Sciences* 2(2):1-3.

Hishida, M., F.J.V. Ascencio, H. Fujiyama *et al*. 2013. Response to salt stress in growth, water relations, and ion content of *Jatropha curcas* and *J. cinerea* seedlings. *Interciencia* 38(4):294-304.

Klimova, A., J.I. Hoffman, J.N. Gutiérrez-Rivera *et al*. 2017. Molecular genetic analysis of two native desert palm genera, *Washingtonia* and *Brahea*, from the Baja California Peninsula and Guadalupe Island. *Ecology and Evolution* 7:4919-4935.

Klimova, A., A. Ortega-Rubio, D.L.J. Vendrami y J.I. Hoffman. 2018. Genotyping by sequencing reveals contrasting patterns of population structure, ecologically mediated divergence, and long-distance dispersal in North American palms. *Ecology and Evolution* 8:5873-5890.

Kuester, A.P. y J.D. Nason. 2012. Microsatellite loci for *Gossypium davidsonii* (Malvaceae) and other D-Genome, Sonoran Desert endemic cotton species. *American Journal of Botany* 91(4):91-93.

León de la Luz, J.L., R.C. Domínguez, M.L. Domínguez y R.C.B. Coria. 2015. *Flora iconográfica de Baja California Sur*. CIBNOR, México.

León de la Luz, J.L., T.R. Van Devender, J.P. Rebman *et al*. 2018. El conocimiento florístico actual del Noroeste de México: desarrollo, recuento y análisis del endemismo. *Botanical Sciences* 96(3):555-568.

Lira-Noriega, A., O. Toro-Núñez, J.R. Oaks y M.E. Mort. 2015. The roles of history and ecology in chloroplast phylogeographic patterns of the bird-dispersed plant parasite *Phoradendron californicum* (Viscaceae) in the Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 102(1):149-164.

Lo, E.Y., N.C. Duke y M. Sun. 2014. Phylogeographic pattern of *Rhizophora* (Rhizophoraceae) reveals the importance of both vicariance and long-distance oceanic dispersal to modern mangrove distribution. *BMC Evolutionary Biology* 14(83):1-15.

Lozano-Garza, O.A., J.L. León de la Luz, S.L. Favela y F.J. García De León. 2015. New interpretations about clonal architecture for the Sour pitaya (*Stenocereus gummosus*, Cactaceae), arising from microsatellite markers of de novo isolation and characterization. *Open Journal of Genetics* 5:1-11.

Murillo-Álvarez, J.I., D.R. Encarnación y S.G. Franzblau. 2001a. Antimicrobial and cytotoxic activity of some medicinal plants from Baja California Sur (Mexico). *Pharmaceutical Biology* 39(6):445-449.

Murillo-Álvarez, B., A.H. Escobar, H.F. Fraga y R.L. Pargas. 2001b. Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24(2):145-153.

Nabhan, G.P. 2008. *Renewing America's food traditions: saving and savoring the continent's most endangered foods*. Chelsea Green Publishing, EUA.

Nason, J.D., J.L. Hamrick y T.H. Fleming. 2002. Historical vicariance and postglacial colonization effects on the evolution of genetic structure in *Lophocereus*, a Sonoran Desert columnar cactus. *Evolution* 56(11):2214-2226.

Navarro-Quezada, A., R. González-Chauvet, F. Molina-Freaner y L.E. Eguiarte. 2003. Genetic differentiation in the *Agave deserti* (Agavaceae) complex of the Sonoran Desert. *Heredity* 90:220-227.

Nicolaï, M., M. Cantet, V. Lefebvre *et al*. 2013. Genotyping a large collection of pepper (*Capsicum* spp.) with SSR *loci* brings new evidence for the wild origin of cultivated *C. annuum* and the structuring of genetic diversity by human selection of cultivar types. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60:2375-2390.

Nieto-Garibay, A., E. Troyo-Dieguez, J.L. García-Hernández *et al*. 2009. Efecto del estrés hídrico edáfico en emergencia y desarrollo de plántula en las especies de chile *Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annum* L. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:405-413.

Nieto-Garibay, A., E. Troyo-Dieguez, R.D. Valdez-Cepeda *et al*. 2011. Plant height and mineral content of *Opuntia tapona* growing along the coasts of Baja California Sur, Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 13:77-87.

Pérez, M.C., M.R.G. Tovar, Q.G. Obispo *et al*. 2016. Recursos genéticos del algodón en México: conservación *ex situ*, *in situ* y su utilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(1):5-16.

Pío-León, J.F., F. Delgado-Vargas, J.L. León de la Luz y A. Ortega-Rubio. 2017. Prioritizing wild edible plants for potential new crops based on deciduous forest traditional knowledge by a rancher community. *Botanical Sciences* 95(1):1-13.

Pío-León, J.F., A. Nieto-Garibay, J.L. León de la Luz *et al*. 2018. Plantas silvestres consumidas como tés recreativos por grupos de rancheros de Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 123:7-19.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Reyes-Pérez, J.J., B. Murillo-Amador, A. Nieto-Garibay *et al*. 2013. Salinity tolerance in varieties of basil (*Ocimum basilicum* L.) during the stages of germination, emergence an early growth. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 29(2):101-112.

Riddle, B.R., D.J. Hafner, L.F. Alexander y J.R. Jaeger. 2000. Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California Peninsular desert biota. *Proceedings of The National Academy of Sciences* 97:14438-14443.

Ruiz, E.F.H., G.L.R. Villalpando, B. Murillo-Amador *et al*. 2014. Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en primeras etapas fenológicas. *Terra Latinoamericana* 32:311-323.

SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. *Acuerdo por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz*. Publicado el 2 de noviembre de 2012 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Sandoval-Castro, E., R.S. Dodd, R. Riosmena-Rodríguez *et al*. 2014. Post-glacial expansion and population genetic divergence of mangrove species *Avicennia germinans* (L.) Stearn and *Rhizophora mangle* L. along the Mexican coast. *PLOS ONE* 9(4):1-12.

Sandoval-Castro, E., R. Muñiz-Salazar, L.M. Enríquez-Paredes *et al*. 2012. Genetic population structure of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) along the northwestern coast of Mexico. *Aquatic Botany* 99:20-26.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Tang, H., U. Sezen y A.H. Paterson. 2010. Domestication and plant genomes. *Current Opinion in Plant Biology* 13:160-166.

UICN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2019. *The UICN Red List of threatened species. Version 2019.1*. En: <http://www.iucnredlist.org>, última consulta: 22 de mayo de 2019.

Ulloa, M., I.Y. Abdurakhmonov, M.C. Pérez *et al*. 2013. Genetic diversity and population structure of cotton (*Gossypium* spp.) of the new world assessed by SSR Markers. *Botany* 91(4):251-259.

Van Devender, T.R., 1990. Late Quaternary vegetation and climate of the Sonoran desert, United States and Mexico. En: *Packrat middens: the last 40,000 years of biotic change*. J.L. Betancourt, T.R.V. Devender y P.S. Martin (eds.). University of Arizona Press, Tucson, pp. 134-165.

Villaseñor, J.L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3):559-902.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Estado de la diversidad genética de los recursos acuícolas

Ricardo Pérez Enríquez, Pedro Cruz Hernández y José Luis Ramírez Arce

Introducción

La acuicultura es la actividad de producción primaria de mayor desarrollo en los últimos años en México y en Baja California Sur, con tasas de crecimiento que superan 16 y 14% anual, respectivamente (Acuasesor 2019). De acuerdo con las previsiones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), la producción acuícola será un elemento clave para el suministro de alimentos a la población al 2030 (FAO 2018); para ello, el mejoramiento genético constituye un elemento esencial (Gjedrem 2012).

En este sentido, el objetivo principal de la selección genética es el desarrollo de organismos de mejor desempeño y que utilicen los recursos (p.e. alimento, agua, espacio) de manera más eficiente (Gjedrem 2012). El éxito a largo plazo de los programas de selección genética o de repoblación[1] depende en buena medida de los recursos genéticos disponibles tanto en las poblaciones naturales (silvestres) como en cautiverio (Gjedrem 2012, Pérez-Enríquez *et al.* 2013).

Las especies que dominan la producción acuícola en Baja California Sur son el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) y el ostión del Pacífico (*Crassostrea gigas*). Existen otras especies de crustáceos, moluscos y peces que se cultivan a pequeña escala o que tienen potencial de desarrollo, como langostinos (*Cherax quadricarinatus* y *Macrobrachium americanum*), ostras perleras (*Pteria sterna* y *Pinctada mazatlanica*), almejas (*Agropecten ventricosus*, *Nodipecten subnodosus* y *Panopea globosa*), ostiones (*Crassostrea corteziensis* y *Striostrea prismatica*), abulones (*Haliotis fulgens* y *H. corrugata*), peces marinos (*Seriola lalandi*, *S. rivoliana*, *Lutjanus peru*, *L. guttatus*, *Totoaba macdonaldi*) y peces dulceacuícolas (*Oreochromis* spp.).

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una descripción general de los estudios de caracterización genética de las principales especies con uso acuícola (activas o con potencial) en Baja California Sur (figura 1), con base en la aplicación de marcadores genéticos,[2] resaltando los resultados más relevantes (cuadro 1). El contenido se encuentra organizado por grupos taxonómicos: crustáceos, moluscos y peces.

1 Liberación de organismos al medio ambiente para incrementar el tamaño de la población silvestre.
2 Herramientas moleculares empleadas para conocer rasgos de interés a nivel genético. Los marcadores principales son los microsatélites y el ADN mitocondrial.

Perez-Enriquez, R., P. Cruz-Hernández y J.L. Ramírez-Arce. 2025. Estado de la diversidad genética de los recursos acuícolas. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado.* Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 69-80.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

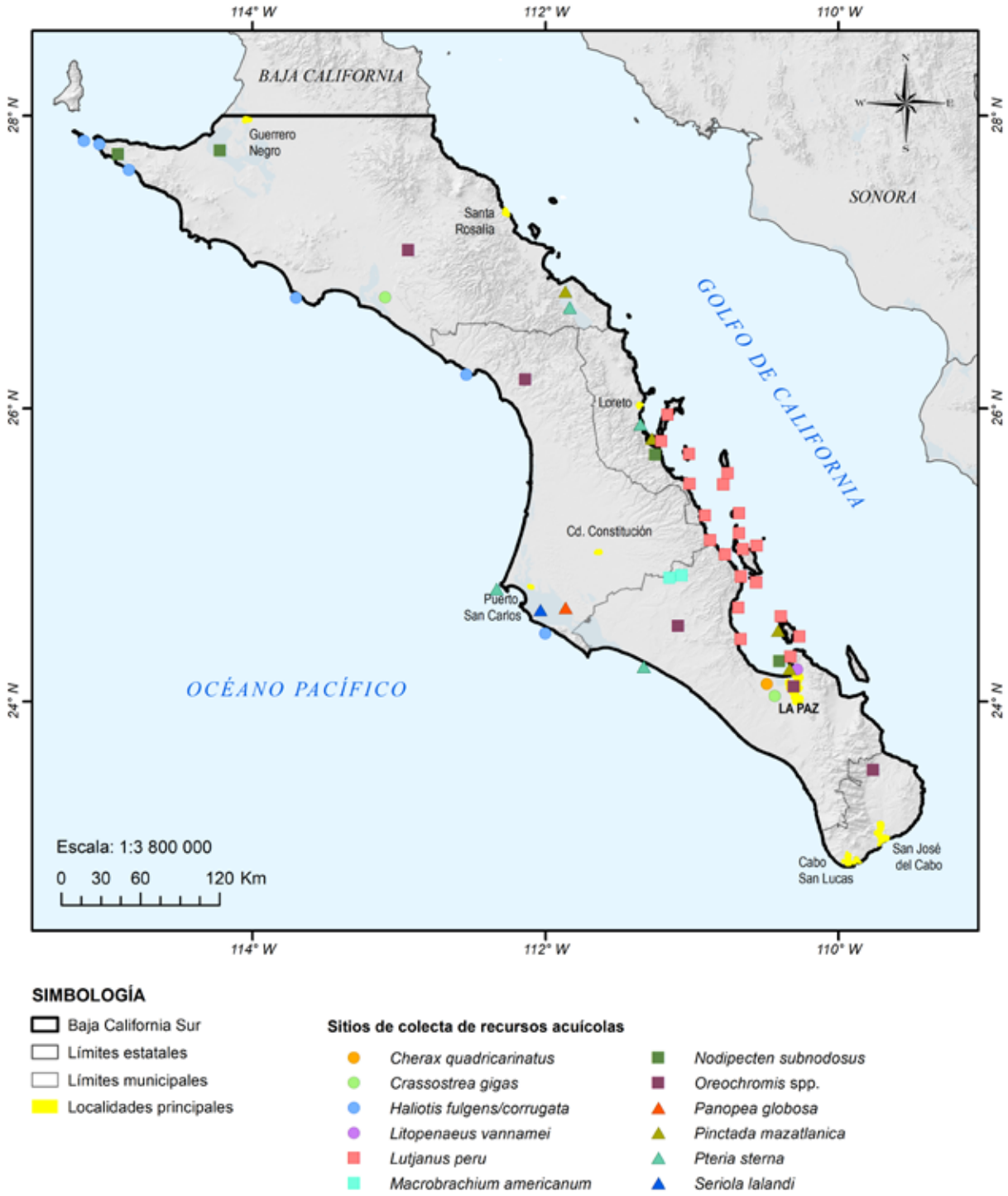


Figura 1. Localización aproximada de los sitios de colecta para la caracterización genética de recursos acuícolas en la entidad. Fuente: elaborado por Gil Ezequiel Ceseña Beltrán.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Caracterización genética de especies con importancia acuícola en el estado.

Técnicas moleculares	Tipo de información	Especie	Situación de la especie	Conclusiones
Microsatélites y ADN mitocondrial	Diversidad y diferenciación de poblaciones de cultivo	Camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*)	Especie nativa sin estatus de protección para el cultivo	Riqueza genética en poblaciones de cultivo por importaciones de diversos países
Microsatélites	Diversidad genética de lote de reproductores	Langosta australianna (*Cherax quadricarinatus*)	Especie introducida, no residente en cuerpos de agua	Baja diversidad genética, requiere enriquecimiento del banco genético
ADN mitocondrial	Composición genética de poblaciones silvestres	Langostino (*Macrobrachium americanum*)	Especie nativa con vedas temporales (SAGARPA 2010)	Niveles de diversidad genética comparables con poblaciones en Guerrero
Microsatélites	Composición genética de poblaciones de cultivo	Ostión del Pacífico (*Crassostrea gigas*)	Especie introducida sin estatus de protección	Niveles elevados de diversidad genética y alta diferenciación entre orígenes
Microsatélites y ADN mitocondrial	Composición genética de poblaciones silvestres y de cultivo	Mano de león (*Nodipecten subnodosus*)	Especie nativa sin estatus de protección	Niveles moderados a altos de diversidad genética y alta diferenciación entre localidades; baja diversidad en cultivo
Microsatélites y morfometría geométrica	Composición genética de poblaciones silvestres	Almeja generosa (*Panopea globosa*)	Especie nativa regulada por la NOM-014-SAG/PESC-2015	Diferencias significativas entre bahía Magdalena y localidades al del golfo de California
ADN mitocondrial	Composición genética de poblaciones silvestres	Concha nácar (*Pteria sterna*)	Especie nativa sin estatus de protección, pero con cultivo regulado bajo la NOM-058-SAG/PESC/SEMARNAT-2013	Niveles bajos de diversidad genética, no hay diferenciación entre localidades en el estado
ADN mitocondrial	Composición genética de poblaciones silvestres	Madreperla de Calafia (*Pinctada mazatlanica*)	Especie nativa, sujeta a protección especial por la NOM-059-SEMARNAT-2010	Niveles moderados a altos de diversidad genética, no hay diferenciación entre localidades del estado y el Pacífico mexicano
Microsatélites	Composición genética de poblaciones silvestres y de cultivo	Abulones (*Haliotis fulgens* y *H. corrugata*)	Especies nativas, reguladas por la NOM-005-PESC-1993	Niveles de diversidad apropiados para cultivo; éxito limitado en programas de repoblación
Microsatélites y ADN mitocondrial	Composición genética de poblaciones silvestres	Huachinango del Pacífico (*Lutjanus peru*)	Especie nativa sin estatus de protección	Alta diversidad genética y conectividad en el golfo de California; potencial de manejo genético en cultivo
ADN mitocondrial	Composición genética de poblaciones silvestres y de cultivo	Jurel de Castilla (*Seriola lalandi*)	Especie nativa sin estatus de protección	Alta diversidad genética; potencial de manejo genético en cultivo
ADN mitocondrial	Composición genética de poblaciones silvestres	Tilapia (*Oreochromis* spp.)	Especie invasora, sin estatus de protección	Poblaciones ferales de tres especies de *Oreochromis* con niveles de diversidad bajos
Citogenética	Crecimiento comparativo de triploides *versus* diploides	Ostión del Pacífico (*Crassostrea gigas*), almeja catarina (*Argopecten ventricosus*), mano de león (*Nodipecten subnodosus*)	*C. gigas* especie introducida; *A. ventricosus* y *N. subnodosus* especies nativas con períodos de veda regulados por COAPESCA	Mejores crecimientos de triploides en las tres especies

CONAPESCA: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca; ADN: ácido desoxirribonucleico. Fuente: elaboración propia con información de Secretaría de Pesca 1993, SAGARPA 2010, 2013b, 2015, SEMARNAT 2010.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Crustáceos

Camarón blanco del Pacífico

Por su valor económico, *Litopenaeus vannamei* (figura 2a) es la principal especie de cultivo en México. En 2017, la producción estatal tuvo un valor de 440 millones de pesos. Esta especie se distribuye en el Pacífico tropical y golfo de California, región donde se ha caracterizado la composición genética de organismos silvestres (Pérez-Enríquez *et al.* 2018a). En el ámbito de cultivo, en México hay dos etapas diferenciadas por el origen de las líneas genéticas de producción. La primera (periodo 1997-2013), dependió de una cepa de alto crecimiento; mientras que la segunda (2013 a la fecha), donde se está haciendo uso de cepas de origen ecuatoriano, con mejor sobrevivencia ante enfermedades y mayor diversidad genética que la de alto crecimiento (figura 2b; Pérez-Enríquez *et al.* 2018b).

Por otra parte, en los programas de selección genética destinados a mejorar características de interés comercial (p.e. crecimiento, fecundidad, tolerancia a factores ambientales o resistencia a enfermedades), es importante determinar la heredabilidad, es decir, qué proporción de la variabilidad de un carácter se debe a la genética (cuadro 2). Dentro del estado, las perspectivas para el cultivo de camarón son la caracterización de las nuevas líneas genéticas de las empresas productoras de larva, así como la implementación de programas de selección genética para la mejora del crecimiento o la resistencia a enfermedades, manteniendo niveles adecuados de diversidad genética.

Langostinos

En la entidad, existen dos especies de langostinos estudiados para su cultivo: la langosta australiana

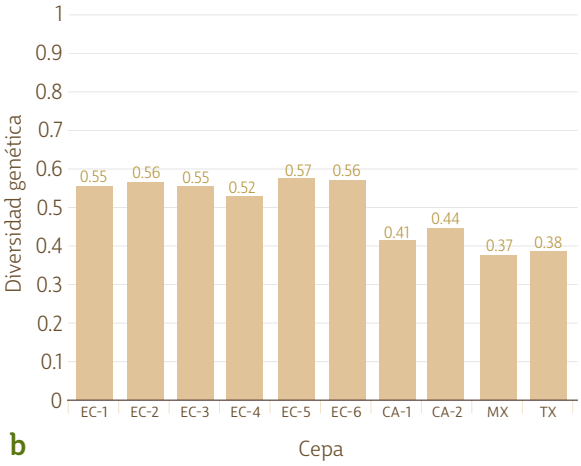


Figura 2. a) Camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*); b) diversidad genética de diferentes líneas de cultivo (cepas) de *L. vannamei* utilizadas en México, según su origen. Los valores indican el promedio de variantes genéticas presentes a lo largo del genoma, en un rango de cero a uno, donde los valores cercanos a cero refieren diversidad mínima, y los valores cercanos a uno, diversidad máxima. EC: Ecuador; CA: Centroamérica; MX: México; TX: Texas. Fuente/foto: Comité de Sanidad Acuícola de Baja California Sur (a); elaboración propia con datos de Pérez-Enríquez *et al.* 2018b (b).

Cuadro 2. Valores de heredabilidad de características de interés comercial dentro de la línea de crecimiento de *L. vannamei* empleada en el estado.

Característica	Valor de heredabilidad[a]	Referencias
Tasa de crecimiento	0.16 a 0.84	Pérez-Rostro e Ibarra 2003, Nolasco-Alzaga *et al.* 2018
Caracteres reproductivos[b]	0.03 a 0.57	Arcos *et al.* 2004, Ibarra *et al.* 2005, 2009
Contenido de ácidos grasos en hemolinfa	0.03 a 0.10	Nolasco-Alzaga *et al.* 2018

[a]El valor va de cero a uno, donde valores más altos indican un mayor potencial de selección genética; [b]composición del huevo, madurez ovárica, número de huevos y desoves. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

(*Cherax quadricarinatus*) y el langostino nativo (*Macrobrachium americanum*). La primera de ellas, es una especie exótica adaptada de manera adecuada a las condiciones de cultivo en el estado. Se cuenta con una evaluación sobre la diversidad genética de la única población en cautiverio, dentro del Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (CIBNOR; figura 1), cuyos resultados indicaron una variabilidad genética reducida comparativamente con otras poblaciones en cultivo y por debajo de los niveles recomendados (Valencia-Valdez 2012).

Por su parte, un estudio con poblaciones silvestres de *M. americanum* en el oasis San Pedro de la Presa, municipio de La Paz, reveló que su diversidad genética estuvo dentro del rango observado para otras especies del género, con valores relativamente altos (Raso-Ramírez 2019). La diversidad genética observada en algunos sitios del estado los identifica como lugares potenciales para la conservación y diseño de futuros planes de manejo genético para la especie, así como para el desarrollo de biotecnologías de cultivo, aspectos que se encuentran en experimentación (figura 1).

Moluscos

Ostiones

El ostión del Pacífico (*Crassostrea gigas*) es la principal especie de molusco bivalvo cultivado en el país (figura 3a). Se distribuye en aguas templadas del continente asiático y fue introducida a México hace varias décadas, aunque no existen poblaciones naturalizadas. Es un recurso de relevancia en el estado, con una producción de 4 876 t en 2017, valuadas en 129 millones de pesos (Acuasesor 2019).

En la entidad se cuenta con un pie de cría (lote de organismos domesticados) destinado al mejoramiento genético y desarrollado por el CIBNOR y la empresa Sol Azul S.A. Este pie de cría comenzó en 2006 con la combinación de líneas genéticas de diversos orígenes, dando como resultado lotes de cultivo de diversidad genética altamente enriquecida (Ibarra *et al.* 2017). Para 2019 se contó con un lote basado en 150 familias, seleccionado durante dos generaciones para la mejora del crecimiento y la resistencia a altas temperaturas (Ibarra *et al.* 2017). Un aspecto genético que se utiliza para incrementar la producción de *C. gigas* es la triploidía (ejemplares con tres juegos de cromosomas), debido a que organismos con esta característica presentan un incremento de hasta 40% en su biomasa húmeda (Ascencio-Michel 2008). Dada su esterilidad, esta tecnología de cultivo tiene la ventaja de no generar un impacto genético sobre las poblaciones silvestres (Triantafyllidis *et al.* 2007).

Otras especies de ostiones (nativas de la región) con potencial acuícola son el ostión del placer (*Crassostrea corteziensis*) y el ostión de piedra (*Striostrea prismatica*). Aunque para ambas especies se han realizado evaluaciones genéticas en el Pacífico tropical mexicano (Pérez-Enríquez *et al.* 2008, Aréchiga-Palomera 2018), aún no se tienen datos de diversidad genética en el estado. Sin embargo, se cuenta con herramientas moleculares para identificar éstas y otras especies de moluscos, lo que permite su trazabilidad, es decir, la posibilidad de determinar a nivel de especie aun cuando no se cuente con ejemplares con la concha incluida (Mazón-Suástegui *et al.* 2016).

Pectínidos

Existen otros bivalvos nativos como la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*, figura 3b) y la mano de león (*Nodipecten subnodosus*, figura 3c), los cuales se producen en laboratorios en la región. El cultivo de la almeja catarina es pionero en la zona; su desarrollo se basó en diversos estudios genéticos evaluando el efecto negativo de la endogamia (Ibarra *et al.* 1995), así como los efectos del cruzamiento interpoblacional (heterosis) sobre su desarrollo larval, supervivencia en dos diferentes ambientes y primera madurez sexual (Cruz-Hernández 1998). Asimismo, Ibarra y colaboradores (1999) determinaron que la heredabilidad del peso en *A. ventricosus* es adecuada para la selección genética, con lo que se favorece el potencial de cultivo de la especie.

La almeja mano de león (*N. subnodosus*) es el bivalvo más grande de la familia Pectinidae. Se distribuye en las costas del Pacífico mexicano, se considera una especie atractiva para la acuicultura, debido a su alta tasa de crecimiento, valor comercial y dominio de su reproducción. Estudios genéticos desarrollados para algunas poblaciones silvestres en la entidad (figura 1)

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

indican que la laguna Ojo de Liebre, municipio de Mulegé, *N. subnodosus* muestra niveles moderados a altos de diversidad genética; que las poblaciones del golfo de California (Loreto y bahía de La Paz) presentan una estructura genética diferente a la población de la laguna Ojo de Liebre; y que las poblaciones de cultivo en bahía Tortugas y laguna Guerrero Negro presentan niveles de diversidad inferiores a sus contrapartes silvestres (Petersen *et al.* 2010).

En la actualidad se desarrollan proyectos para el cultivo comercial de la especie, donde uno de los requerimientos básicos es conocer la composición y la diversidad genética de los lotes de producción, para definir las estrategias de selección genética más adecuadas. Por otra parte, trabajos en biotecnología demostraron ventajas en el crecimiento de triploides respecto a diploides tanto en *A. ventricosus* (Ruiz-Verdugo *et al.* 2000) como en *N. subnodosus* (Ramírez-Arce 2009).

Almeja generosa

La almeja generosa (*Panopea globosa*, figura 3d) se distribuye desde la costa occidental de Baja California Sur hasta la parte central y norteña del golfo de California (Leyva-Valencia *et al.* 2012), y es una especie con potencial de cultivo. Estudios genéticos (Leyva-Valencia *et al.* 2012, Munguia-Vega *et al.* 2015), evidenciaron diferencias entre los organismos de bahía Magdalena (figura 1) y las localidades al interior del golfo de California en de Sonora y Baja California, sugiriendo una respuesta adaptativa o fenotípica de *P. globosa* a las condiciones

Figura 3. a) Ostión del Pacífico (*Crassostrea gigas*); b) almeja catarina (*Argopecten ventricosus*); c) juveniles de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en cultivo; d) juvenil de almeja generosa (*Panopea globosa*) en cultivo. Fotos: IAES/Banco de imágenes CONABIO (a), Lorenzo Rosenzweig/Banco de imágenes CONABIO (b), José Luis Ramírez (c, d).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

ambientales de cada sitio. Los estudios indicaron posibilidades para desarrollar el cultivo de la especie a nivel comercial, mismo que podría potenciarse mediante la caracterización y selección genética.

Abulón

Los abulones azul (*Haliotis fulgens*, figura 4a) y amarillo (*H. corrugata*) son de las especies más importantes económicamente en el estado. Aun cuando el volumen de captura no es muy elevado, es de alto valor comercial. En el periodo de 2005-2017 se registró un promedio de 347 t y beneficios económicos por 44 millones de pesos anuales (Acuasesor 2019). La acuacultura de producción es aún incipiente (solo hay una granja de cultivo llevando a cabo la actividad en el estado), pero con un importante potencial.

En contraste, la acuacultura de repoblación del abulón (figura 4a) es una actividad rutinaria llevada a cabo por varias de las cooperativas pesqueras dedicadas a la extracción del producto. La caracterización de los recursos genéticos de las especies de abulón azul y amarillo se lleva a cabo en poblaciones silvestres y en algunos laboratorios productores de larva (figura 1). Los análisis indican que la diversidad genética es mayor en el abulón azul que en el amarillo y que, en ambas especies, hay homogeneidad genética entre localidades de los municipios de Mulegé (Isla Natividad, Punta Eugenia, bahía Tortugas, bahía Asunción y La Bocana) y Comondú (San Juanico e Isla Magdalena; Pérez-Enríquez *et al.* 2016). Por otra parte, la aplicación de marcadores genéticos es útil para determinar que la probabilidad de éxito de la repoblación es baja, por lo que este tipo de programa debe ser reestructurado para maximizar su efectividad (Gutiérrez-González y Pérez-Enríquez 2005).

Ostras perleras

Forman parte importante de la historia de Baja California Sur (Monteforte 2010).[3] Las especies principales en el estado son la concha nacar (*Pteria sterna*, figura 4b) y la madreperla de Calafia (*Pinctada mazatlanica*), ambas en cultivo y productoras de perlas de alta calidad. La madre perla se encuentra en la categoría de sujeta a protección especial por la NOM-059 (SEMARNAT 2010), y el cultivo de ambas se regula bajo la NOM-058-SAG/PESC/SEMARNAT-2013 (SAGARPA 2013b).

Estudios en las localidades bahía Concepción (municipio de Mulegé), Loreto (Loreto), Puerto San Carlos (Comondú) y Rancho Bueno (La Paz; figura 1), indican una diversidad genética mínima en *P. sterna* en los fragmentos del ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés) mitocondrial analizados, debido posiblemente a una colonización reciente de la especie en la región por parte de un número limitado de migrantes (Arnaud-Haond *et al.* 2005). En contraste, los niveles de diversidad genética de *P. mazatlanica* en bahía Concepción, Loreto, Isla Espíritu Santo y bahía Merito (estas dos últimas en el municipio de La Paz), variaron de moderados a altos, con elevado flujo genético entre localidades del estado y el Pacífico mexicano (Arnaud *et al.* 2000). La perspectiva para favorecer la conservación y aprovechamiento en estas especies es la realización de estudios de los perfiles genéticos en las poblaciones de cultivo, así como de los factores genéticos asociados a las características de las perlas.

Peces

Huachinango

El huachinango del Pacífico (*Lutjanus peru*, figura 5a) es el pez marino más emblemático de la pesca en el país, por lo que es de alto valor comercial. Aunado a ello, su resistencia al manejo, adecuada tasa de crecimiento y baja tasa de mortalidad natural, lo cual le otorga un elevado potencial de desarrollo acuícola (SAGARPA 2013a). El CIBNOR y el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), ambos en el estado, cuentan con la tecnología para su reproducción en cautiverio (SAGARPA 2013a). Por estar en una etapa temprana de desarrollo, no se cuenta con la caracterización genética de los lotes de cultivo; sin embargo, análisis realizados en poblaciones silvestres de la en-

3 El mayor emporio perlero que haya existido en el mundo con la madreperla de Calafia (*Pinctada mazatlanica*), operó en la bahía de La Paz entre 1902 y 1914, con la Compañía Criadora de Concha y Perla de Baja California.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

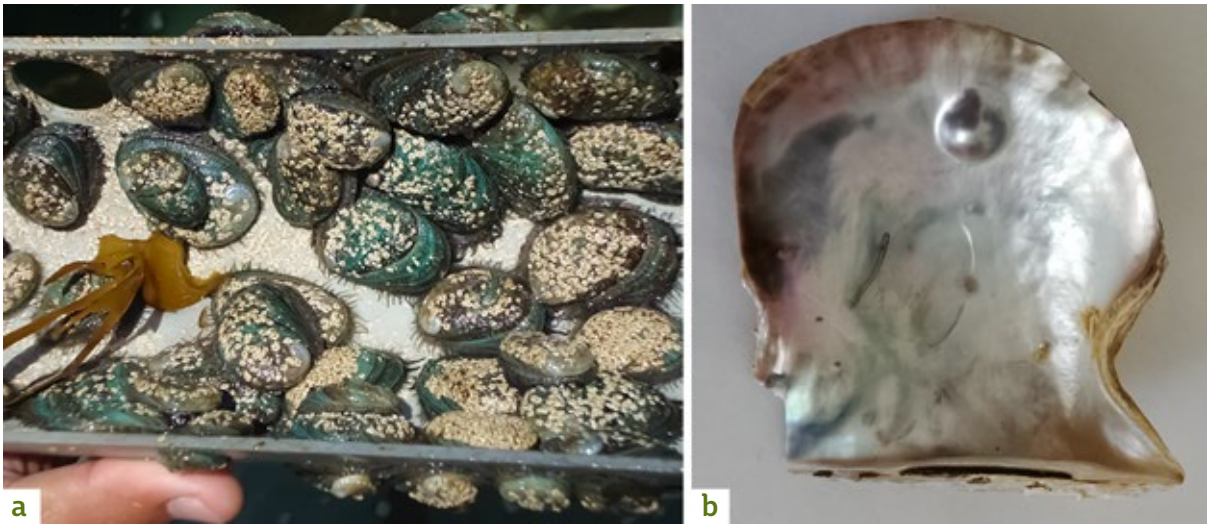


Figura 4. a) Juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) de cultivo; b) concha nácar (*Pteria sterna*) de cultivo. Fotos: Ricardo Pérez Enríquez.

tidad (12 sitios insulares y 8 costeros en los municipios de Loreto, Comondú y La Paz; figura 1), indican baja diferenciación genética entre localidades y niveles elevados de diversidad (Munguia-Vega *et al.* 2018).

Los marcadores genéticos específicos para esta especie (Munguia-Vega *et al.* 2018), tienen una potencial aplicación para la futura caracterización de la diversidad genética de los lotes de cultivo y el seguimiento generacional de las progenies (a través del pedigrí). Esto es particularmente relevante para los laboratorios de producción de alevines que se encuentran actualmente en el estado.

Jurel

Existen dos especies que se distribuyen en el estado: el jurel de Castilla (*Seriola lalandi*) y el pez fuerte (*S. rivoliana*, figura 5b). Ambas se encuentran en desarrollo temprano de su cultivo, con logros significativos para su reproducción en cautiverio. *S. lalandi* se desempeña de mejor manera en aguas templadas de la costa oeste de la península, razón por la cual se desarrollaron engordas en jaulas de cultivo en la región de bahía Magdalena, en Comondú (figura 1; Luening 2014). La diversidad genética de la población en dicha bahía presenta niveles de moderados a altos, siendo similares a lo observado en otras localidades del país y el extranjero. Sin embargo, cabe señalar que la diversidad genética de un lote de cultivo de primera generación, con padres originarios de este sitio, presentó una reducción de 46% respecto a la población silvestre, por lo que se debe implementar un manejo reproductivo adecuado (Martínez Matus 2016).

La caracterización genética de la especie hermana *Seriola rivoliana* que se mantiene en condiciones de cultivo en Baja California Sur, es un aspecto fundamental para el desarrollo de la acuicultura de la especie, debido a que sentará las bases para el manejo de la diversidad genética y las estrategias de entrecruzamiento que optimicen la producción.

Tilapia

La tilapia (*Oreochromis* spp.) es la principal especie de cultivo en México con una producción de casi 180 mil toneladas en 2017 (Téllez Castañeda 2019). En el estado, la tilapia es un conjunto de especies exóticas que, se estima, se introdujeron por primera vez en la década de los setenta (Ruiz-Campos *et al.* 2012), y que en la actualidad no se cultiva. Si bien dichas poblaciones representan una fuente importante de recursos genéticos debido a su sobrevivencia como poblaciones ferales por cuatro décadas en cuerpos de agua con una alta presión ambiental, su impacto en especies nativas se señala como un factor de riesgo (Ruiz-Campos *et al.* 2012).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 5. a) Huachinango del Pacífico (*Lutjanus peru*); b) juvenil de pez fuerte (*Seriola rivoliana*) de cultivo; c) tilapia (*Oreochromis niloticus*) colectada en Las Pocitas, municipio de Comondú. Fotos: Elaine Espino Barr/Banco de imágenes CONABIO (a), Minerva Maldonado García (b), Daniel Santibañez Márquez (c).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Un estudio del complejo de *Oreochromis* spp. basado en secuencias de ADN mitocondrial sugiere que, en las localidades de San Ignacio (municipio de Mulegé), La Purísima (Comondú), Las Pocitas, la presa de la Buena Mujer (La Paz) y Río Santiago (Los Cabos; figura 1), se encuentran poblaciones ferales de tres especies: *O. niloticus* (figura 5c), *O. aureus* y *O. urolepis*, con niveles de diversidad genética bajos a medios, consistente con lo esperado de poblaciones aisladas (Santibañez Márquez 2017). Actualmente, estos recursos genéticos se están explorando en el desarrollo de proyectos de acuaponia (es decir, cultivo integrado de especies acuícolas y especies vegetales) en el estado.

Conclusiones

La producción acuícola de mediano y largo plazo depende de mantener poblaciones de cultivo con niveles adecuados de diversidad genética, debido a que favorecen la conservación biológica, lo que permitirá contar con organismos que puedan ser seleccionados para mejorar las características del propio cultivo (p.e. crecimiento, resistencia a factores ambientales o enfermedades, entre otros). Por ello, el estudio de los aspectos genéticos en los recursos acuícolas aquí mencionados es un elemento de gran relevancia. Este conocimiento constituye una herramienta esencial para el aprovechamiento, el manejo y la conservación de los recursos genéticos, tanto de especies en cultivo como aquellas en el ámbito silvestre.

Referencias

Acuasesor. 2019. *Anuario estadístico*. En: <https://acuasesor.conapesca.gob.mx/anuario.php>, última consulta: mayo de 2019.

Arcos, F.G., I.S. Racotta y A.M. Ibarra. 2004. Genetics parameters for reproductive traits and egg composition in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 236:151-165.

Aréchiga-Palomera, M.A. 2018. *Diversidad y estructura genética de Striostrea prismatica Gray, 1825 (Bivalvia: Ostreidae) en el Pacífico oriental tropical*. Tesis de maestría. Universidad de Guadalajara, Guadalajara.

Arnaud, S., M. Monteforte, F. Galtier *et al.* 2000. Population structure and genetic variability of pearl oyster *Pinctada mazatlanica* along Pacific coasts from Mexico to Panama. *Conservation Genetics* 1:299-307.

Arnaud-Haond, S., F. Blanc, F. Bonhomme y M. Monteforte. 2005. Recent foundation of Mexican populations of pearl oysters (*Pteria sterna*) revealed by lack of genetic variation on two mitochondrial genes. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 85:363-366.

Ascencio-Michel, R. 2008. *Análisis comparativo del crecimiento y supervivencia del ostión Crassostrea gigas diploide y triploide en diferentes medios ambientes del noroeste mexicano*. Tesis de licenciatura. UABCS, Baja Califiornia Sur.

Cruz-Hernández, P. 1998. *Análisis comparativo del crecimiento y supervivencia de dos poblaciones de almeja catarina Argopecten ventricosus (Sowerby II, 1842) y sus cruzas recíprocas en Baja California Sur*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2018. *The state of world fisheries and aquaculture in brief*. FAO, Roma.

Gjedrem, T. 2012. *Selection and breeding programs in aquaculture*. Springer, Países Bajos.

Gutiérrez-González, J.L. y R. Pérez-Enríquez. 2005. A genetic evaluation of stock enhancement of blue abalone *Haliotis fulgens* in Baja California, Mexico. *Aquaculture* 247:233-242.

Ibarra, A.M., P. Cruz y B.A. Romero. 1995. Effects of inbreeding on growth and survival of self-fertilized catarina scallop larvae, *Argopecten circularis*. *Aquaculture* 134:37-47.

Ibarra, A.M., F.G. Arcos, T.R. Famula *et al.* 2005. Heritability of the categorical trait 'number of spawns' in Pacific white female shrimp *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei*. *Aquaculture* 250:95-101.

Ibarra, A.M., T.R. Famula y F.G. Arcos. 2009. Heritability of vitellogenin in haemolymph, a pre-spawning selectable trait in *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei*, has a large genetic correlation with ovary maturity measure as oocytes mean diameter. *Aquaculture* 297:64-69.

Ibarra, A.M., J.L. Ramirez, C.A. Ruiz *et al.* 1999. Realized heritabilities and genetic correlation after dual selection for total weight and shell width in catarina scallop (*Argopecten ventricosus*). *Aquaculture* 175:227-241.

Ibarra, A.M., J.L. Ramirez, C. Escobedo *et al.* 2017. Desarrollo de un núcleo genético para la selección del ostión japonés *Crassostrea gigas* en BCS. En: *Resúmenes del Latin America & Caribbean Aquaculture 2017*. Mazatlán.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Leyva-Valencia, I., S.T. Álvarez-Castañeda, D.B. Lluch-Cota *et al.* 2012. Shell shape differences between two *Panopea* species and phenotypic variation among *P. globosa* at different sites using two geometric morphometrics approaches. *Malacologia* 55:1-13.

Luening, E. 2014. Mexican yellowtail farm debuts first harvest at Boston seafood show an interview with Blue Goose turns its focus to fish distributing Yellowtail. *Aquaculture North America* 5:11-12.

Martínez Matus, E. 2016. *Diversidad genética y éxito reproductivo del Jurel de Castilla Seriola lalandi (Valenciennes, 1833) en cautiverio*. Tesis de maestría. CICESE, Ensenada.

Mazón-Suástegui, J.L., N. Trabal-Fernández, I. Leyva-Valencia *et al.* 2016. 28S rDNA as an alternative marker for commercially important oyster identification. *Food Control* 66:205-214.

Monteforte, M. 2010. Granjas perleras y perlicultura. *Biodiversitas* 89:12-15.

Munguia-Vega, A., I. Leyva-Valencia, D.B. Lluch-Cota y P. Cruz-Hernández. 2015. Genetic structure of Cortes Geoduck clam *Panopea globosa* Dall 1898 from the Mexican Northwest. *Journal of Shellfish Research* 34:153-161.

Munguia-Vega, A., S.G. Marinone, D.A. Paz-García *et al.* 2018. Anisotropic larval connectivity and metapopulation structure driven by directional oceanic currents in a marine fish targeted by small-scale fisheries. *Marine Biology* 165:16.

Nolasco-Alzaga, H.R., R. Pérez-Enríquez y F. Enez *et al.* 2018. Quantitative genetic parameters of growth and fatty acid content in the hemolymph of the whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 482:17-23.

Pérez-Enríquez, R., S. Avila y A.M. Ibarra. 2008. Population genetics of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 34:479-490.

Pérez-Enríquez, R., P. Cruz-Hernández y C.J. Saucedo-Barrón. 2013. Liberación de juveniles para la repoblación de cuerpos de agua, consideraciones y recomendaciones de manejo para minimizar los riesgos de impacto genético negativo. *Industria Acuícola* 9:18-23.

Pérez-Enríquez, R., N. Díaz-Viloria, P. Cruz-Hernández *et al.* 2016. Estudios de genética en poblaciones de abulón y sus aplicaciones en ordenamiento pesquero. *Recursos Naturales y Sociedad* 2:24-39.

Pérez-Enríquez, R., A.M. Millán-Márquez, P. Cruz-Hernández y C.J. Saucedo-Barrón. 2018a. Genética poblacional de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89:290-297.

Pérez-Enríquez, R., D. Robledo, R.D. Houston y R. Llera-Herrera. 2018b. SNP markers for the genetic characterization of Mexican shrimp broodstocks. *Genomics* 110:423-429.

Pérez-Rostro, C.I. y A.M. Ibarra. 2003. Quantitative genetic parameter estimates for size and growth rate traits in Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone 1931) when reared indoors. *Aquaculture Research* 34:543-553.

Petersen, J.L., A.M. Ibarra y B. May. 2010. Nuclear and mtDNA lineage diversity in wild and cultured Pacific lion-paw scallop, *Nodipecten subnodosus* (Baja California Peninsula, Mexico). *Marine Biology* 157:2751-2767.

Ramírez-Arce, J.L. 2009. *Evaluación de la ventaja productiva y grado de esterilidad en triploides de la almeja mano de león Nodipecten subnodosus (Sowerby 1835) como una alternativa para el cultivo en el Parque Nacional Bahía de Loreto, golfo de California*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

Raso-Ramírez, A. 2019. *Estudio genético poblacional de Macrobrachium americanum, en los sitios: oasis San Pedro de la Presa, Baja California Sur y el río Coyuca, Guerrero*. Tesis de maestría. CIBNOR, México.

Ruiz-Campos, G., S. Contreras-Balderas, A. Andreu-Soler *et al.* 2012. An annotated distributional checklist of exotic freshwater fishes from the Baja California Peninsula, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:216-234.

Ruiz-Verdugo, C.A., J.L. Ramírez, S.K. Allen y A.M. Ibarra. 2000. Triploid catarina scallop (*Argopecten ventricosus* Sowerby II, 1842): growth, gametogenesis, and suppression of functional hermaphroditism. *Aquaculture* 186:13-32.

SAGARPA. Secretaría de Ganadería, Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2010. *Acuerdo por el que se establecen épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas continentales de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos*. Publicado el 31 de marzo de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

—. 2013a. *Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola*. Publicado el 9 de septiembre de 2013 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

—. 2013b. *Norma Oficial Mexicana NOM-058-SAG/PESC/SEMARNAT-2013*. Publicada el 23 de diciembre de 2013 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

—. 2015. *Norma Oficial Mexicana NOM-014-SAG/PESC-2015*. Publicada el 25 de junio de 2015 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Santibañez Márquez, D. 2017. *Identificación del recurso genético en poblaciones de tilapia, mediante el análisis de la región*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

control del ADNmt *en Baja California Sur*. Tesis de maestría. CIBNOR, México.

Secretaría de Pesca. 1993. *Norma Oficial Mexicana* NOM-005-PESC-*1993*. Publicada el 21 de diciembre de 1993 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana* NOM-059-SEMARNAT-*2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Téllez Castañeda, M. 2019. *Perspectivas en la industria del cultivo de tilapia en México (II)*. En: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Perspectivas-en-la-industria-del-cultivo-de-tilapia-en-Mexico-II-20190312-0128.html>, última consulta: mayo de 2019.

Triantafyllidis, A., N. Karaiskou, F. Bonhomme *et al.* 2007. Management options to reduce genetic impacts of aquaculture activities. En: *Genetic impact of aquaculture activities on native populations*. T. Svåsand, D. Crosetti, E. García-Vázquez y E. Verspoor (eds.). European Commission, Unión Europea, pp. 161-168.

Valencia-Valdez, R. 2012. *Estimaciones temporales de variabilidad genética a partir de microsatélites en Cherax quadricarinatus cultivado en el Noroeste de México*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Diversidad genética de elasmobranquios

Carolina Galván Tirado y Felipe Galván Magaña

Introducción

Los elasmobranquios son un grupo de peces que se caracterizan por presentar un esqueleto de cartílago. Dentro de este grupo se encuentran los tiburones y los batoideos (rayas) que se distribuyen en los océanos de todo el mundo e incluso algunas especies viven en lagunas y ríos. Las investigaciones sobre ellos son importantes porque la mayoría de las especies son depredadores tope en las redes alimenticias y tienen un papel importante en la regulación de las poblaciones de otras especies (Cailliet *et al.* 2005).

Comúnmente, a los elasmobranquios se les captura por pesquería artesanal dirigida, pero también forman parte de la captura incidental en pesquerías de atunes y camarones (SAGARPA 2007). Se pescan principalmente porque sus aletas son altamente cotizadas en el mercado asiático para la preparación de sopa. En algunos lugares la carne se destina a consumo humano, los dientes o mandíbulas se venden como recuerdo, con la piel se fabrican zapatos y el resto es convertido en harina. Un problema a nivel mundial es que la captura y explotación de estos organismos no está regulada, con frecuencia las especies son mal identificadas (se reportan como tiburones, cazones o rayas) o les cortan las aletas y el resto se descarta al mar, por lo que no es posible contar con información específica de los desembarques y se dificulta el manejo de las pesquerías (Galván Magaña 2009).

En las últimas décadas se denota una reducción poblacional de muchos elasmobranquios, lo cual se explica como consecuencia de sus características biológicas: lenta tasa de crecimiento, alta longevidad, madurez sexual tardía y relativamente baja fecundidad (Cailliet *et al.* 2005). Estos aspectos, ligados a la extensa y poco regulada explotación pesquera a la que están sujetos, resaltan la importancia de entender las historias de vida y el comportamiento dentro de este grupo taxonómico.

Baja California Sur es una fuente importante de diversidad de elasmobranquios: a la fecha se reporta la presencia de alrededor de 100 especies (apéndice 48), de las cerca de 200 reportadas para México (SAGARPA 2007). A lo largo de todo el litoral sudcaliforniano hay numerosos campos pequeros que los capturan (figura 1) y, además, en municipios como La Paz y Loreto existe una creciente actividad turística para la observación y nado con tiburón ballena (*Rhincodon typus*, figura 2) y mobulas (*Mobula* spp.). No obstante, el conocimiento básico de su biología, así como de su nivel de diversidad y diferenciación genética es poco, habiéndose realizado estudios para menos de 20 de las especies que habitan la zona (apéndice 48).

Galván-Tirado, C. y F. Galván-Magaña. 2025. Diversidad genética de elasmobranquios. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado.* Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 81-90.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Estudios genéticos

Los estudios genéticos en elasmobranquios que se distribuyen en el estado se limitan al uso de pocos marcadores (región control del ácido desoxirribonucleico[1] mitocondrial o microsatélites) y se enfocan principalmente a la medición de la diversidad genética, el grado de diferenciación poblacional y flujo genético. Únicamente dos estudios son sobre reconstrucción filogenética, es decir, un árbol cuyas ramas tratan de inferir las relaciones de parentesco entre especies, ocupando miles de marcadores mediante la técnica denominada mitogenómica (apéndice 48).

Diversidad y diferenciación genética

La Península de Baja California y el golfo de California son regiones de gran interés, debido a que su actual configuración es resultado de complejos cambios geofísicos durante los últimos cinco millones de años, los cuales han producido distribuciones geográficas disjuntas en muchas especies de invertebrados y peces marinos, así como procesos de contacto y dispersión entre especies que habitan el Pacífico y el golfo de California (Bernardi *et al.* 2003, Riginos 2005). Para varias especies de elasmobranquios, la península también se ha documentado como una barrera biogeográfica, especialmente en batoideos (rayas y mantarayas), debido a que la dinámica del área como una zona de transición podría haber causado múltiples eventos de fragmentación poblacional y con ello la diferenciación genética en las poblaciones de este grupo.

Entre los estudios de batoideos sobre la extensión de su influencia en la región respecto a la diferenciación genética poblacional, están los realizados en el pez guitarra (*Pseudobatos productus*; Sandoval-Castillo *et al.* 2004), el gavilán dorado (*Rhinoptera steindachneri*; Sandoval-Castillo y Rocha-Olivares 2011), la raya mariposa californiana (*Gymnura marmorata*; Smith *et al.* 2009), y la guitarra rayada (*Zapteryx exasperata*; Castillo-Páez *et al.* 2014). En estas especies, la existencia de diferencia genética entre ambas costas de la Península de Baja California se atribuye a factores como el comportamiento filopátrico (las hembras regresan a parir a su lugar de nacimiento), la presencia de barreras geográficas, así como las condiciones oceanográficas (p.e. corrientes, temperatura, entre otros) que limitan la dispersión entre zonas y promueven el aislamiento entre poblaciones.

Para el caso de especies de tiburones que viven en el fondo cerca de la costa, también se observa este patrón de diferenciación, como el tiburón leopardo (*Triakis semifasciata*). Los resultados de Barker y colaboradores (2015) mostraron que este tiburón presenta una marcada diferenciación genética no solo entre norte y sur de California, Estados Unidos de América, sino también que los individuos de bahía Tortugas, municipio de Mulegé, están genéticamente aislados de las poblaciones de California, tornando a este sitio más susceptible al declive local de la especie.[2] Se sabe que este tiburón forma agregaciones estacionales, pero no está bien entendido su patrón de movimientos, haciendo difícil definir la conectividad entre estas poblaciones.

Una especie que presenta diferenciación entre el golfo de California y el Pacífico, así como dentro de estas áreas, es el tiburón angelito (*Squatina californica*). Esta especie está fuertemente asociada a sustratos arenosos y rocosos, y se desplaza en aguas someras, por lo que se considera que la profundidad limita su flujo génico entre zonas (Grijalva-Chon 2002, Ramírez-Amaro *et al.* 2017, Negroe-Álvarez 2018). Asimismo, se cuenta con reportes de que este tiburón utiliza determinadas áreas del golfo de California como sitios de crianza y reproducción (apéndice 48; Salomón-Aguilar *et al.* 2009), lo que podría contribuir también a la diferenciación genética entre sitios.

Para el tiburón martillo cruz (*Sphyrna zygaena*), que tiene una distribución antitropical,[3] se identificó diferenciación genética entre poblaciones a cada lado del ecuador del océano Pacífico oriental. Los datos

1 ADN o DNA por sus siglas en inglés.
2 La variabilidad genética puede proporcionar características útiles a los individuos, tales como la resistencia a nuevas enfermedades o la adaptabilidad a nuevas condiciones climáticas; entonces, mientras más diversidad genética tenga una población, mayor probabilidad existe de que haya un genotipo o variante genética que pueda lidiar mejor con el medio ambiente y sobrevivir para reproducirse. En el caso de poblaciones aisladas, los niveles de variabilidad genética pueden ir disminuyendo con el tiempo, lo cual aumenta la probabilidad de extinción.
3 Que no se encuentra en la franja que conforman los trópicos de Cáncer y Capricornio.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

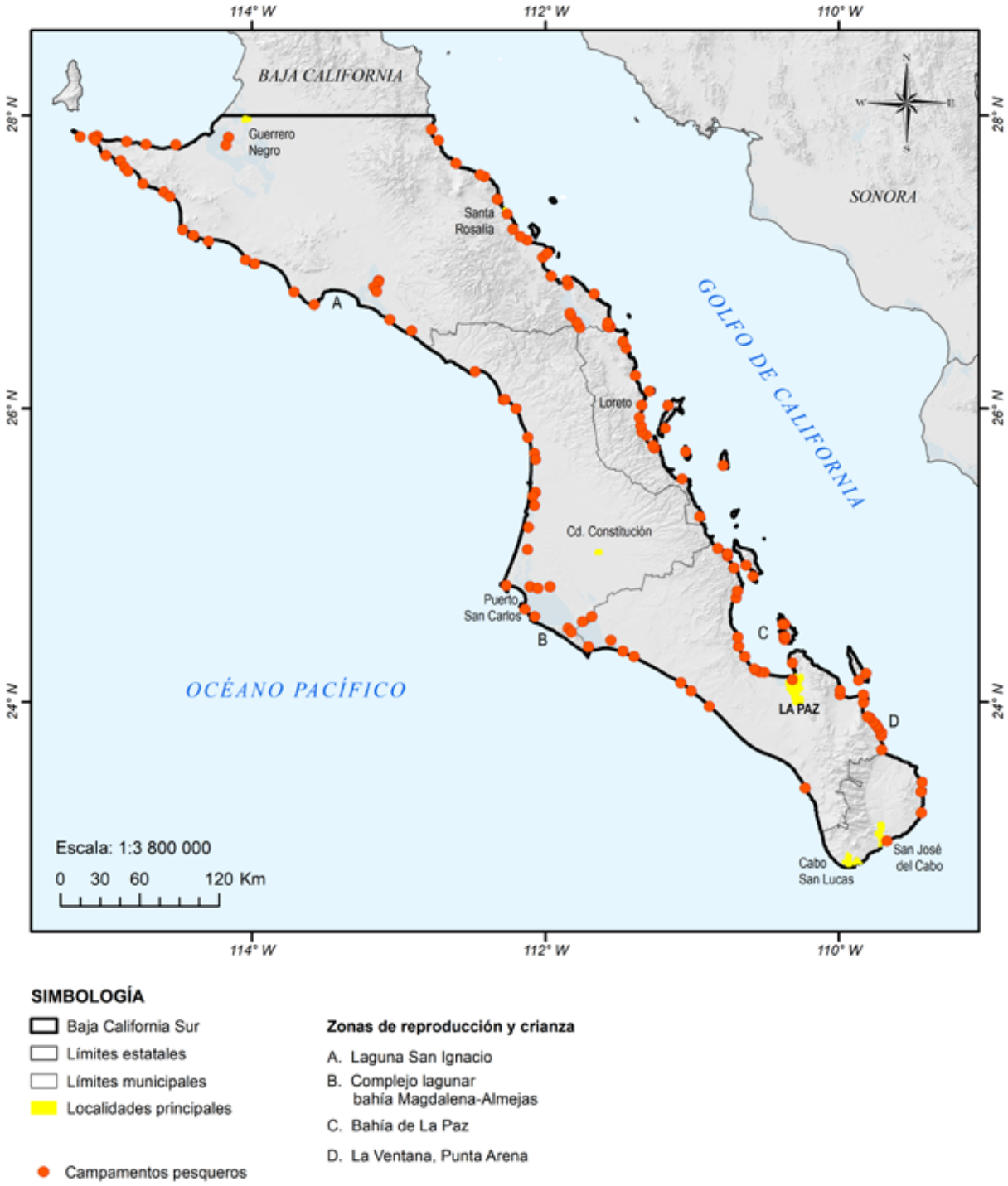


Figura 1. Ubicación de los campamentos pesqueros artesanales y principales zonas de reproducción y crianza en la entidad. Fuente: elaborado por Verónica Mendoza Portillo con datos de Bizzarro *et al.* 2007, Ramírez-Amaro *et al.* 2013, Salomón-Aguilar 2015.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

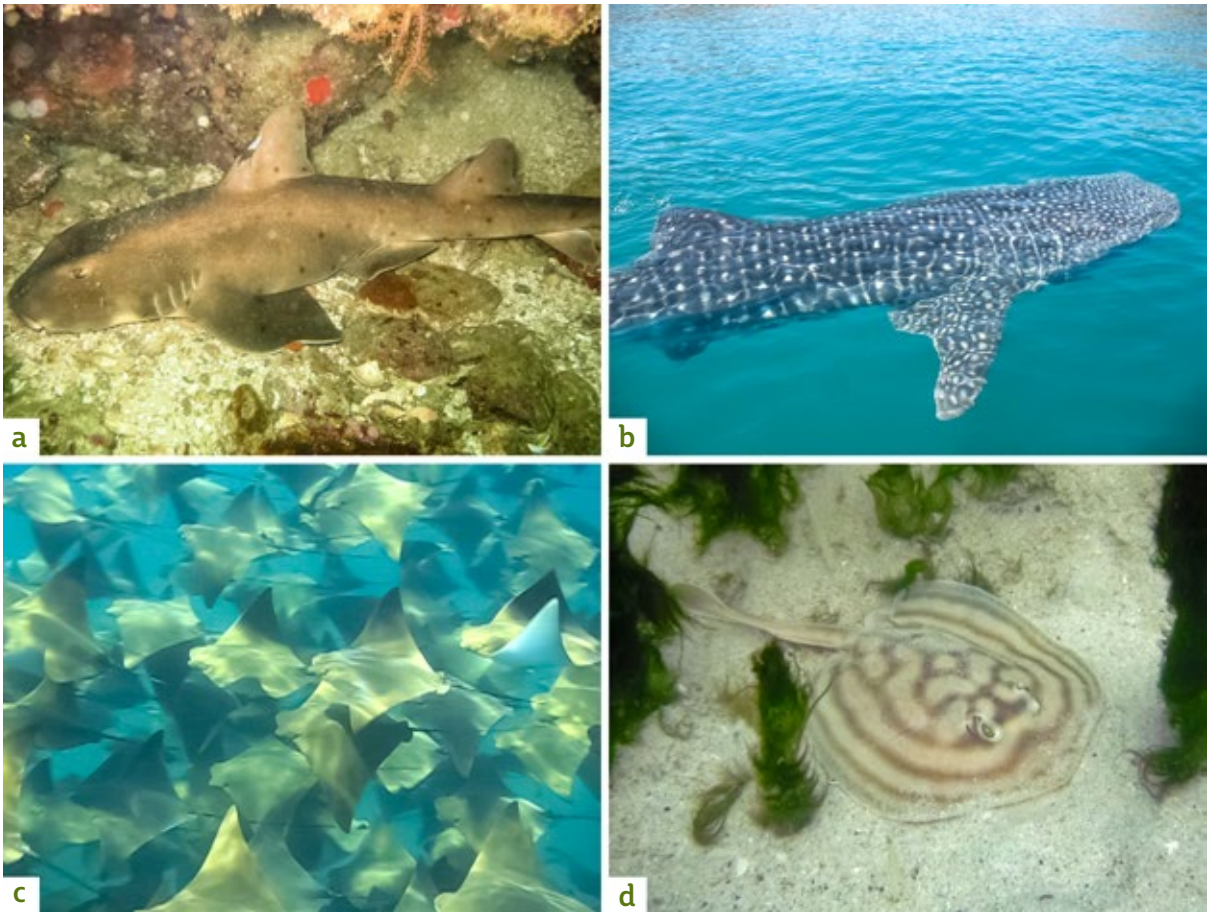


Figura 2. Especies de tiburones y rayas observadas en la entidad: a) tiburón dormilón cornudo (*Heterodontus francisci*); b) tiburón ballena (*Rhincodon typus*); c) gavilán dorado (*Rhinoptera steindachneri*); d) raya redonda de manchas (*Urobatis concentricus*). Fotos: Juan J. Ramírez-Rosas (a, b, c), Claudia J. Pérez-Estrada (d).

sugieren que hubo un evento de dispersión de la especie de sur a norte durante el último ciclo glaciar (hace aproximadamente 12 mil años), que indica que para *S. zygaena* las aguas cálidas ecuatoriales son una barrera que impide el flujo genético entre las poblaciones (Bolaño-Martínez *et al*. 2019).

Una especie que no presenta diferenciación genética y si flujo genético entre el Pacífico y el golfo de California es el tiburón musola parda (*Mustelus henlei*), lo que se asocia a su capacidad para nadar a profundidades por debajo de las corrientes cálidas que pueden ser barrera para otras especies (Chabot *et al*. 2015). Byrne y Avise (2012) reportaron la primera evidencia de paternidad múltiple (en una misma camada las crías son de distintos machos), en 13 de 14 camadas analizadas de Las Barrancas, en la costa occidental de la entidad, indicando que ésta es un área importante para la reproducción de *M. henlei*.

Una de las especies más estudiadas es el tiburón ballena (*Rhincodon typus*), el pez más grande del mundo y de gran importancia como atractivo turístico. Los individuos de esta especie se reúnen estacionalmente en tres áreas del golfo de California: bahía de Los Ángeles (Baja California), bahía de La Paz y Banco Gorda (Baja California Sur), pero aún falta conocer aspectos clave de sus poblaciones. Los estudios genéticos para intentar llenar los vacíos en la biología de la especie encontraron información interesante. Uno de los primeros trabajos fue el de Ramírez-Macías y colaboradores (2007), quienes encontraron homogeneidad genética dentro del golfo de California, indicando la gran capacidad de migración de la especie. Asimis-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

mo, sugirieron que las bahías de Los Ángeles y La Paz se ocupan como zonas de crianza por la especie. Posteriormente, Castro y colaboradores (2007), Schmidt y colaboradores (2009), así como Vignaud y colaboradores (2014) realizaron trabajos en diferentes partes del mundo con individuos de los océanos Pacífico, Índico y Atlántico, e indicaron que el tiburón ballena presenta dos poblaciones distintas con poca conectividad entre el Atlántico y el Indo-Pacífico. El alto flujo genético de este último se atribuye, principalmente, a las grandes distancias que migran los adultos entre sus áreas de reproducción y alimentación, lo que deriva en un alto grado de conectividad en la región. Este patrón observado mediante estudios genéticos provee un argumento sólido para el desarrollo de estrategias internacionales para su conservación.

Dos de las especies de tiburón ampliamente distribuidas y que por décadas han contribuido de manera sostenida a las capturas de las pesquerías (dirigidas y por captura incidental) a nivel mundial son el tiburón martillo (*Sphyrna lewini*) y el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*), por lo que se realizan esfuerzos para conocer sus niveles de diferenciación y flujo genético. El tiburón martillo es uno de los más estudiados; sin embargo, los resultados de los trabajos de Duncan y colaboradores (2006), Nance y colaboradores (2011), y Castillo-Olguín y colaboradores (2013) con la región control,[4] no revelaron diferencias genéticas entre las áreas de crianza conectadas en la zona costera, pero sí importantes diferencias entre océanos. En cambio, con microsatélites se observó una ligera divergencia reciente entre norte y sur del océano Pacífico oriental, sugiriendo la existencia de dos poblaciones de *S. lewini* (Duncan *et al.* 2006, Nance *et al.* 2011, Castillo-Olguín *et al.* 2013). Otro resultado importante es que esta especie parece haber sufrido una reciente reducción de los tamaños poblacionales, probablemente debido a la presión pesquera (Nance *et al.* 2011). Para el tiburón sedoso, un estudio reveló bajo nivel de subdivisión poblacional en el Pacífico, sugiriendo la existencia de al menos dos poblaciones, una a cada lado del océano (Galván-Tirado *et al.* 2013), aunque es posible que haya una sola en todo el Indo-Pacífico (Clarke *et al.* 2015).

Reconstrucción filogenética

Los miembros de la familia Mobulidae son un grupo de especies carismáticas dentro de los batoideos, por lo que son atractivo turístico, principalmente la mantarraya gigante (*Mobula birostris*); no obstante, existen muchas incertidumbres referentes a su clasificación. Estudios basados en datos morfológicos y moleculares reportaban que esta familia consistía en 11 especies pertenecientes a dos géneros: *Manta* y *Mobula*. Sin embargo, durante años se debatió la validez del género *Manta* y se cuestionó el número real de especies debido a similitudes morfológicas y moleculares; los estudios filogenéticos basados en uno o pocos genes no dieron suficiente resolución para resolver tales incertidumbres.

Recientemente, estudios basados en el ADN mitocondrial completo y el empleo de miles de regiones nucleares (secuenciación masiva), mostraron que el género *Manta* es inválido y todas las especies pertenecen ahora al género *Mobula* (Poortvliet *et al.* 2015, White *et al.* 2018, Hosegood *et al.* 2019). Actualmente, únicamente se reconocen nueve especies válidas, debido a que algunas son sinónimas (la misma especie), además de una posible nueva especie en el golfo de México (figura 3; Poortvliet *et al.* 2015, White *et al.* 2018, Hosegood *et al.* 2019). De estas especies, cinco tienen distribución en Baja California Sur, las cuales habían estado sujetas a intensa actividad pesquera hasta su inclusión en la NOM-029-PESC-2006 (SAGARPA 2007).

Zonas de reproducción y crianza en el estado

Las áreas de crianza son zonas discretas, donde las hembras preñadas liberan los embriones o huevos, y los juveniles pasan los primeros años de su vida. Se localizan en áreas costeras donde hay abundante alimento y escasa depredación, aunque para algunas especies se localizan en aguas oceánicas (Castro 1993).

En la entidad se encuentran varias áreas de reproducción y/o crianza de elasmobranquios costeros y

4 Región que controla la duplicación del ADN mitocondrial.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

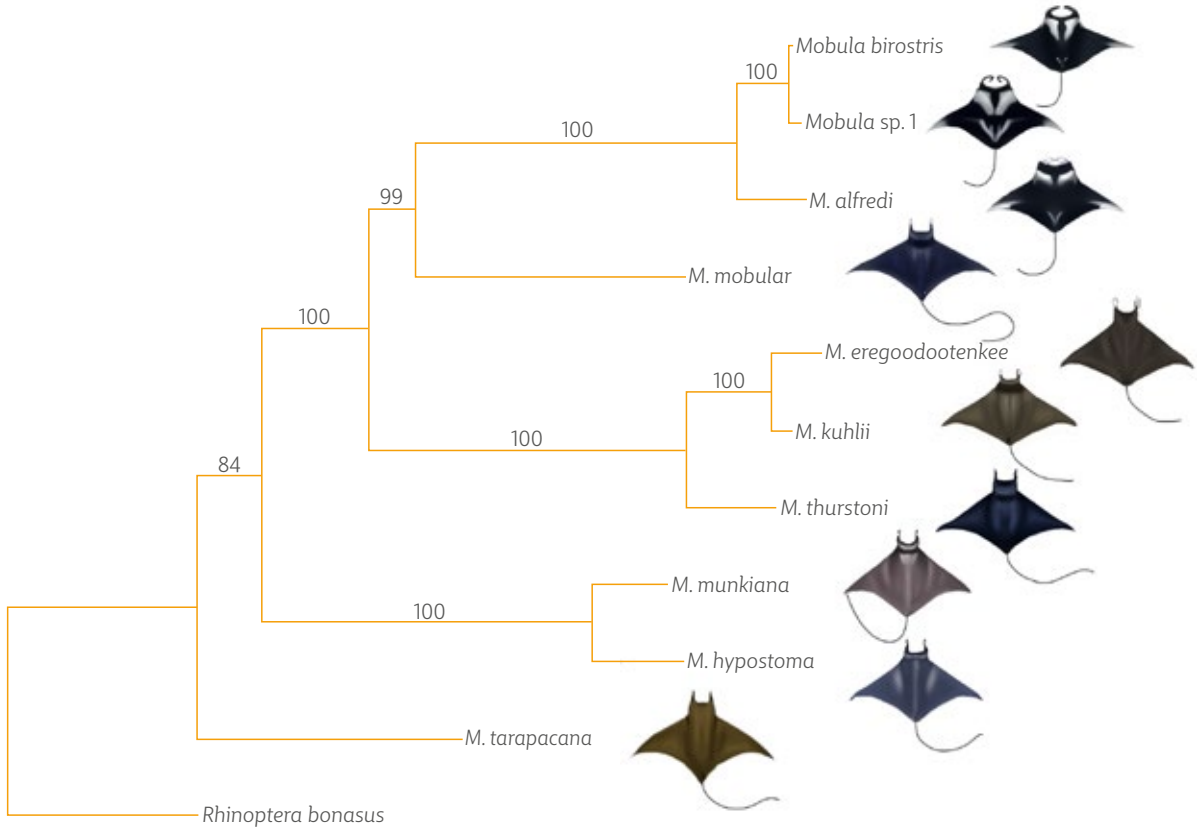


Figura 3. Árbol filogenético del género *Mobula*. Los números en cada rama del árbol indican el porcentaje de probabilidad de que la relación entre las dos especies represente la verdadera relación de parentesco. Fuente: modificado de Hosegood *et al.* 2019.

oceánicos: laguna San Ignacio, complejo lagunar bahía Magdalena-Almejas, bahía de La Paz, El Sargento, La Ventana, y Punta Arena (figura 1; Salomón-Aguilar 2015). De esas áreas, la única donde está prohibida la captura de elasmobranquios por la NOM-029-PESC-2006 es el complejo lagunar bahía Magdalena-Almejas (SAGARPA 2007). Entre los tiburones que ocupan estas zonas se encuentran organismos de los géneros *Alopias*, *Carcharhinus*, *Rhincodon*, *Squatina* y *Sphyrna*. En el caso de los batoideos, se tiene una idea más clara de los sitios que usan para reproducción y/o crianza (Salomón-Aguilar 2015), por lo que el estado podría ser considerado como fuente y reservorio de diversidad genética del grupo, debido a que los sitios de reproducción, crianza y alimentación aportan a la incorporación de nuevos individuos y fomentan la llegada de organismos provenientes de diferentes poblaciones.

Impacto de las pesquerías y estado de conservación del recurso

Las pesquerías artesanales explotan diversos recursos con múltiples artes de pesca y están compuestas de embarcaciones pequeñas, cuya reducida autonomía limita los viajes de pesca a la cercanía de la costa. En México, los elasmobranquios son un importante recurso pesquero explotado intensamente (figura 4), lo cual provoca serias disminuciones poblacionales que pueden resultar en pérdida de variabilidad genética, que a su vez tendría consecuencias en la capacidad de adaptación de las especies, elevando su riesgo de extinción ante cambios ambientales.

Varias especies de elasmobranquios están protegidas en los ámbitos nacional e internacional por la NOM-029-PESC-2006, la NOM-059-SEMARNAT-2010, el Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

México (PANMCT; CONAPESCA e INP 2014), la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

En el país, la NOM-029-PESC-2006 establece la prohibición de captura de algunas especies: *R. typus*, *Cetorhinus maximus*, *Carcharodon carcharias* y especies de los géneros *Pristis* y *Mobula* (SAGARPA 2007). En esta misma norma, se han propuesto períodos de veda para la captura de tiburones y rayas, que generalmente comprende de mayo a julio de cada año. Sin embargo, no todas las especies se reproducen durante este período, ni la presencia de neonatos se restringe a estas fechas (Salomón-Aguilar *et al*. 2009). Aunado a ello, la mayoría de las especies se distribuyen en costas de varios países o en aguas internacionales, por lo que la protección unilateral (en una sola jurisdicción política) es sin duda inadecuada para su manejo y conservación.

Oportunidades de investigación

A pesar de que en el estado se reporta la presencia de alrededor de 100 especies de elasmobranquios, los estudios relativos a su caracterización genética son sorprendentemente pocos, por lo que hay una urgente necesidad de ampliar el conocimiento básico en la diversidad genética, grado de diferenciación y flujo genético de estas especies. La mayoría de los datos de la presencia de elasmobranquios en la entidad proviene de las actividades pesqueras en la zona, por

Figura 4. Especies capturadas por la pesquería artesanal en la entidad: a) tiburón mako (*Isurus oxyrhincus*); b) carne salada de diversos elasmobranquios; c) manta de espina (*Mobula mobular*); d) gavilán dorado (*Rhinoptera steindachneri*) con crías. Fotos: M. Ruth Ochoa-Díaz.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

lo que los análisis con herramientas genéticas pueden contribuir al manejo de este recurso, así como al conocimiento de la biodiversidad, debido a que hay muchas especies que no son capturadas por las pesquerías pero que se sabe que habitan en la zona, sobre todo especies de profundidad que son inaccesibles para las pesquerías artesanales. Una de las herramientas genéticas de nueva generación y con alto potencial es el ADN ambiental, donde con una muestra de agua de un sitio particular se pueden conocer las especies que habitan o utilizan la zona, gracias a que los organismos dejan restos (p.e. piel, heces, mucus) que contienen su material genético (Bakker *et al.* 2017).

Como se reveló en el estudio de la filogenia del género *Mobula*, aún existen incertidumbres taxonómicas dentro de los elasmobranquios, e identificar especies crípticas (especies tan parecidas que no es posible distinguirlas) es un reto que puede solventarse con herramientas genéticas. La genética también se utiliza en varias partes del mundo para identificar especies del mercado ilegal de aletas de tiburón o de individuos de los que se desembarca únicamente el troncho. Para hacer una correcta identificación de las especies es necesario contar con una base de datos con secuencias de ADN especie-específicas que sirvan de referencia; sin embargo, de las más de 1 000 especies de elasmobranquios reportadas a nivel mundial, solo se cuenta con información para menos de la mitad de ellas, incluyendo muchas especies que se distribuyen en Baja California Sur.

Conclusiones

Actualmente, varias especies costeras y oceánicas alcanzan el estatus de especies amenazadas (vulnerables o en peligro de extinción) según los datos publicados por la UICN (apéndice 48). Por ello, evaluar el alcance de la diversidad genética a lo largo de su distribución es imperativo para evitar la erosión de la reserva genética local y conocer el alcance de la diferenciación existente, con la finalidad de identificar poblaciones diferentes y adoptar medidas de manejo a nivel local o en colaboración con otros países dependiendo de los requerimientos de las especies.

En general, de los estudios reportados se observa que las especies oceánicas con altas capacidades migratorias tienden a tener poblaciones más homogéneas (Schmidt *et al.* 2009, Galván-Tirado *et al.* 2013, Vignaud *et al.* 2014); mientras que las especies más pequeñas y costeras a menudo existen en poblaciones aisladas (Sandoval-Castillo *et al.* 2004, Castillo-Páez *et al.* 2014, Ramírez-Amaro *et al.* 2017). Esto es, la historia de vida de cada especie refleja una susceptibilidad variable a la explotación pesquera y la salud de sus poblaciones, por lo que se deben estudiar con una resolución diferente para determinar la estrategia de conservación más eficiente.

Referencias

Bakker, J., O. Wangensteen, D. Chapman *et al.* 2017. Environmental DNA reveals tropical shark diversity in contrasting levels of anthropogenic impact. *Scientific Reports* 7(1):16886.

Barker, A.M., A.P. Nosal, E.A. Lewallen *et al.* 2015. Genetic structure of leopard shark (*Triakis semifasciata*) populations along the Pacific coast of North America. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 472:151-57.

Bernardi, G., Ll. Findley y A. Rocha-Olivares. 2003. Vicariance and dispersal across Baja California in disjunct marine fish populations. *Evolution* 57(7):1599-1609.

Bizzarro, J.J., W.D. Smith, R.E. Hueter *et al.* 2007. *El estado actual de los tiburones y rayas sujetos a explotación comercial en el golfo de California: una investigación aplicada al mejoramiento de su manejo pesquero y conservación*. Moss Landing Marine Laboratories, EUA.

Bolaño-Martínez, N., S. Hernández-Muñoz, M. Uribe-Alcocer *et al.* 2019. Population genetic divergence as consequence of past range expansion of the smooth hammerhead shark *Sphyrna zygaena*. *Hydrobiologia* 837(1):31-46.

Byrne, R.J. y J.C. Avise. 2012. Genetic mating system of the brown smoothhound shark (*Mustelus henlei*), including a literature review of multiple paternity in other elasmobranch species. *Marine Biology* 159(4):749-56.

Cailliet, G.M., J.A. Musick, G.A. Simpfendorfer *et al.* 2005. Ecology and life history characteristics of chondrichthyan fish. En: *Sharks, rays and chimaeras: the status of the Chondrichthyan*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

fishes. J.A. Fowler, S.L. Cavanagh, R.D. Camhi *et al.* (eds.). IUCN SSC Shark Specialist Group, Suiza, pp. 12-16.

Castillo-Olguín, E., M. Uribe-Alcocer y P. Díaz-Jaimes. 2013. Assessment of the population genetic structure of *Sphyrna lewini* to identify conservation units in the Mexican Pacific. *Ciencias Marinas* 38(4):635-652.

Castillo-Páez, A., O. Sosa-Nishizaki, J. Sandoval-Castillo *et al*. 2014. Strong population structure and shallow mitochondrial phylogeny in the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata* (Jordan y Gilbert, 1880), from the Northern Mexican Pacific. *Journal of Heredity* 105(1):91-100.

Castro, J.I. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. *Environmental Biology of Fishes* 38(1-3):37-48.

Castro, A., B. Stewart, S. Wilson *et al*. 2007. Population genetic structure of Earth's largest fish, the whale shark (*Rhincodon typus*). *Molecular Ecology* 16(24):5183-5192.

Chabot, C.L., M. Espinoza, I. Mascareñas *et al*. 2015. The effect of biogeographic and phylogeographic barriers on gene flow in the brown smoothhound shark, *Mustelus henlei*, in the northeastern Pacific. *Ecology and Evolution* 5(8):1585-1600.

Clarke, C.R., S.A. Karl, R.L. Horn *et al*. 2015. Global mitochondrial DNA phylogeography and population structure of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*. *Marine Biology* 162(5):945-955.

CONAPESCA e INP. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de Pesca. 2004. *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México*. CONAPESCA/INP, México.

Duncan, K.M., A.P. Martin, B.W. Bowen *et al*. 2006. Global phylogeography of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*). *Molecular Ecology* 15(8):2239-2251.

Galván-Tirado, C., P. Díaz-Jaimes, F.J. García-de León *et al*. 2013. Historical demography and genetic differentiation inferred from the mitochondrial DNA of the silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in the Pacific Ocean. *Fisheries Research* 147:36-46.

Galván Magaña, F. 2009. Capítulo 10. La pesquería de tiburones en Baja California Sur. En: *Recursos marinos y servicios ambientales en el desarrollo regional*. J. Urciaga G., L.F. Beltrán M. y D. Lluch B. (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 227-244.

Grijalva-Chon, J. 2002. Homogeneidad genética en tiburón angelito (*Squatina californica*) del Golfo de California, evidenciada por análisis PCR-RFLP de la región control del ADN mitocondrial. *Ciencia y Mar* 6(17):37-42.

Hosegood, J., E. Humble, R. Ogden *et al*. 2019. *Genome-wide data for effective conservation of manta and devil ray species*. En: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/458141v2>, última consulta: marzo de 2020.

Nance, H.A., P. Klimley, F. Galván-Magaña *et al*. 2011. Demographic processes underlying subtle patterns of population structure in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *PLOS ONE* 6(7):e21459.

Negroe-Álvarez, J.C. 2018. Estructura genético-poblacional del tiburón ángel (*Squatina californica* Ayres, 1859) en aguas costeras de Baja California. Tesis de licenciatura. UABCS, Baja California Sur.

Poortvliet, M., J.L. Olsen, D.A. Croll *et al*. 2015. A dated molecular phylogeny of manta and devil rays (Mobulidae) based on mitogenome and nuclear sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 83:72-85.

Ramírez-Amaro, S.R., D. Cartamil, F. Galván-Magaña *et al*. 2013. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications. *Scientia Marina* 77(3):473-487.

Ramírez-Amaro, S., D. Ramírez, R. Vázquez *et al*. 2017. Population structure of the Pacific angel shark (*Squatina californica*) along the northwestern coast of Mexico based on the mitochondrial DNA control region. *Ciencias Marinas* 43(1):69-80.

Ramírez-Macías, D., R. Vázquez-Juárez, F. Galván-Magaña *et al*. 2007. Variations of the mitochondrial control region sequence in whale sharks (*Rhincodon typus*) from the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research* 84(1):87-95.

Riginos, C. 2005. Cryptic vicariance in Gulf of California fishes parallels vicariant patterns found in Baja California mammals and reptiles. *Evolution* 59(12):2678-2690.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2007. *Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006*. Publicada el 14 de febrero de 2007 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Salomón-Aguilar, C.A. 2015. Zonas prioritarias de conservación de rayas y mantarrayas en el noroeste del Pacífico mexicano. *Ciencia Pesquera* 23(2):77-99.

Salomón-Aguilar, C.A., C.J. Villavicencio-Garayzar y H. Reyes-Bonilla. 2009. Shark breeding grounds and seasons in the Gulf of California: Fishery management and conservation strategy. *Ciencias Marinas* 35(4):369-388.

Sandoval-Castillo, J. y A. Rocha-Olivares. 2011. Deep mitochondrial divergence in Baja California populations of an aquilopelagic elasmobranch: The golden cownose ray. *Journal of Heredity* 102(3):269-274.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Sandoval-Castillo, J., A. Rocha-Olivares, C. Villavicencio-Garayzar *et al*. 2004. Cryptic isolation of Gulf of California shovelnose guitarfish evidenced by mitochondrial DNA. *Marine Biology* 145(5):983-988.

Schmidt, J.V., C.L. Schmidt, F. Ozer *et al*. 2009. Low genetic differentiation across three major ocean populations of the whale shark, *Rhincodon typus*. *PLOS ONE* 4(4):e4988.

Smith, W.D., J.J. Bizzarro, V.P. Richards *et al*. 2009. Morphometric convergence and molecular divergence: The taxonomic status and evolutionary history of *Gymnura crebripunctata* and *Gymnura marmorata* in the eastern Pacific ocean. *Journal of Fish Biology* 75(4):761-783.

Vignaud, T.M., J.A. Maynard, R. Leblois *et al*. 2014. Genetic structure of populations of whale sharks among ocean basins and evidence for their historic rise and recent decline. *Molecular Ecology* 23(10):2590-2601.

White, W.T., S. Corrigan, L. Yang *et al*. 2018. Phylogeny of the manta and devilrays (Chondrichthyes: *Mobulidae*), with an updated taxonomic arrangement for the family. *Zoological Journal of the Linnean Society* 182:50-75.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Diversidad genética en peces marinos

Verónica Mendoza Portillo, Adonaji Madeleine Orozco Ruiz, Karen Berenice García López y Francisco Javier García De León

Introducción

Baja California Sur posee la mayor extensión de superficie litoral en México y está delimitado por el océano Pacífico y golfo de California. Debido a su posición geográfica, convergen aguas templadas y tropicales que dan origen a diversos ecosistemas que resguardan una alta biodiversidad marina, pues tan solo en la bahía de La Paz se reportan cerca de 467 especies de peces óseos (González-Acosta *et al.* 2018). La entidad también se caracteriza por ser uno de los estados con mayor producción pesquera en el país; se ubica en el cuarto lugar de la producción nacional en volumen y valor, lo que contribuye con 0.79% del producto interno bruto (CONAPESCA 2017).

Dentro del estado, existen nueve regiones marinas prioritarias para la conservación (Bahía Concepción, Bahía Magdalena, Barra de Malva-Cabo Falso, Boca del Golfo, Complejo Insular de Baja California Sur, Costa Oriental Vizcaíno, Los Cabos, San Ignacio y Vizcaíno), en las cuales se encuentran áreas naturales protegidas que corresponden a reservas de la biosfera, parques nacionales y áreas de protección de flora y fauna (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998). Los estudios de la diversidad genética son importantes porque se pueden hacer inferencias sobre del estado de las poblaciones naturales y bajo qué procesos evolutivos se originaron. Esta información también tiene sus aplicaciones en la gestión racional de los recursos y el impacto que generan las actividades humanas sobre ellos.

En este capítulo se reportan estudios de genética realizados en Baja California Sur y se revisan trabajos con implicaciones para el manejo de especies de importancia tanto en pesquerías como en sistemas de cultivo. Asimismo, se analiza el alcance de las nuevas tecnologías aplicadas en este sector productivo, y se resalta la desvinculación del conocimiento científico de la diversidad genética con el diseño de políticas de conservación y explotación.

Estudios de diversidad genética

A través de la consulta bibliográfica de estudios realizados en el estado, se identificaron 29 artículos que analizan la diversidad genética de peces óseos marinos (se excluye a los elasmobranquios; véase *Diversidad genética de elasmobranquios*, en esta obra). Estos estudios abarcan un periodo de 1995-2018. En ellos se incluyen 37 especies de peces, de las cuales 17 tienen importancia económica y dos se encuentran bajo la categoría de vulnerable de acuerdo con la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN; cuadro 1). Las principales temáticas abordadas en esas

Mendoza-Portillo, V., A.M. Orozco-Ruiz, K.B. García-López y F.J. García-De León. 2025. Diversidad genética en peces marinos. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado.* Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 91-103.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

investigaciones son: diseño de herramientas moleculares (principalmente microsatélites), estudios taxonómicos, aspectos históricos relacionados con filogenias, filogeografía y especies disyuntas, y estudios de genética poblacional a diferentes escalas espacio-temporales.

Cuadro 1. Listado de especies registradas en la literatura consultada.

Códigos de los artículos[a]	Especie (nombre común)	Temática de estudio	Referencias
131	*Abudefduf concolor*[b] (petaca)	Genética de poblaciones y taxonomía	Lessios *et al.* 1995
131	*A. declivifrons*[b] (petaca mexicana)	Genética de poblaciones y taxonomía	Lessios *et al.* 1995
132	*Acanthemblemaria crockeri* (tubícola cachetón)	Genética de poblaciones y taxonomía	Lin *et al.* 2009
155	*Albula gilberti* (macabí de Cortés)	Taxonomía	Díaz-Viloria *et al.* 2017
155	*A. esuncula* (macabí del Pacífico oriental)	Taxonomía	Díaz-Viloria *et al.* 2017
93 y 94	*Anisotremus davidsonii* (Sargo rayado)	Filogeografía	Bernardi *et al.* 2003, Bernardi y Lape 2005
93	*A. taeniatus* (burro bandera)	Filogeografía	Bernardi y Lape 2005
135	*Atractoscion nobilis*[b] (corvina cabaicucho)	Genética de poblaciones	Franklin *et al.* 2016
158	*Auxis rochei*[b] (melvera)	Taxonomía	Ochoa-Muñoz *et al.* 2018
158	*A. thazard*[b] (melva)	Taxonomía	Ochoa-Muñoz *et al.* 2018
104 y 105	*Axoclinus nigricaudus* (tres aletas colinegra)	Genética de poblaciones y filogeografía	Riginos y Victor 2001, Riginos 2005
94	*Chaenopsis alepidota* (tubícola lucio)	Filogeografía	Bernardi *et al.* 2003
104	*Coralliozetus micropes* (tubícola cara de cebra)	Filogeografía	Riginos 2005
118 y 148	*Coryphaena hippurus*[b] (dorado)	Genética de poblaciones y filogeografía	Díaz-Jaimes *et al.* 2006, Tripp-Valdez *et al.* 2010
91	*Embiotoca jacksoni* (mojarra negra)	Filogeografía	Bernardi y Talley 2000
130 y169	*Engraulis mordax*[b] (anchoveta norteña)	Genética de poblaciones y herramientas moleculares	Lecomte *et al.* 2004, Díaz-Viloria *et al.* 2005
158	*Euthynnus lineatus*[b] (barrilete negro)	Taxonomía	Ochoa-Muñoz *et al.* 2018
99	*Gillichthys mirabilis* (chupalodo grande)	Filogeografía	Huang y Bernardi 2001
104 y 111	*Girella nigricans* (chopa verde)	Filogeografía	Riginos 2005, Terry *et al.* 2000
106	*Hippocampus ingens*[b, c] (caballito del Pacífico)	Genética de poblaciones y filogeografía	Saarman *et al.* 2010
92	*Hypsoblennius gentilis* (borracho de bahía)	Filogeografía	Bernardi 2014

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Continuación.

Códigos de los artículos[a]	Especie (nombre común)	Temática de estudio	Referencias
92	*H. gilberti* (borracho de poza)	Filogeografía	Bernardi 2014
92	*H. jenkinsi* (borracho mejillonero)	Filogeografía	Bernardi 2014
108	*Pleuronichthys guttulatus* (platija diamante)	Filogeografía	Schinske *et al.* 2010
94	*Lythrypnus dalli* (gobio bonito)	Filogeografía	Bernardi *et al.* 2003
104 y 105	*Malacoctenus hubbsi* (blenia roja)	Genética de poblaciones y filogeografía	Riginos y Victor 2001, Riginos 2005
151	*Merluccius productus*[b] (merluza norteña)	Genética de poblaciones	García-De León *et al.* 2018
162	*Micropogonias altipinnis*[b] (corvina berrugata o chano sureño)	Taxonomía	Sánchez-Pinedo *et al.* 2017
162	*M. altipinnis*[b] (corvina berrugata o chano sureño)	Taxonomía	Sánchez-Pinedo *et al.* 2017
162	*M. megalops*[b] (corvina ojo grande o chano norteño)	Taxonomía	Sánchez-Pinedo *et al.* 2017
128	*Mycteroperca rosacea*[b] (cabrilla sardinera)	Genética de poblaciones y filogeografía	Jackson *et al.* 2015
105	*Ophioblennius steindachneri* (borracho mono)	Genética de poblaciones	Riginos y Victor 2001
94, 104, 110 y 147	*Paralabrax maculatofasciatus*[b] (cabrilla de roca)	Genética de poblaciones y filogeografía	Tranah y Allen 1999, Stepien *et al.* 2001, Bernardi *et al.* 2003, Riginos 2005
163	*P. nebulifer*[b] (cabrilla arenera)	Herramientas moleculares	Domínguez-Contreras *et al.* 2018
95, 120 y 130	*Sardinops sagax caeruleus*[b] (sardina Monterrey)	Genética de poblaciones y filogeografía	Bowen y Grant 1997, García-Rodríguez *et al.* 2011, Lecomte *et al.* 2004
94 y 144	*Sebastes macdonaldi* (rocote mexicano)	Genética de poblaciones y filogeografía	Bernardi *et al.* 2003, Rocha-Olivares *et al.* 2003
94 y 102	*Bodianus pulcher*[c] (vieja californiana)	Filogeografía	Bernardi *et al.*2003, Poortvliet *et al.* 2013

[a]El código de artículo corresponde a la numeración señalada en el apéndice 42; [b]especies de importancia económica; [c]especies que se encuentran bajo la categoría vulnerable, de acuerdo con la UICN. Fuente: elaboración propia.

Taxonomía

Los peces óseos presentan una amplia gama de morfologías, respuestas fisiológicas y de conducta, biología reproductiva y requerimientos ecológicos, incluso entre individuos de una misma especie. Toda esta variación fenotípica (caracteres visibles de un individuo) es impuesta por las condiciones ambientales, la cual ejerce una presión de selección que puede conducir a la especiación u origen de nuevas especies (Bickford *et al.* 2007). Por ello, la conservación y el manejo de recursos depende de la correcta delimitación de especies, pero en ocasiones, las relaciones evolutivas entre especies no son claras, como ocurre con las especies

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

cripticas (dos o más especies distintas, pero morfológicamente similares que se clasificaron como una sola especie; Pfenninger y Schwenk 2007).

El pez de arrecife endémico y críptico del golfo de California, *Acanthemblemaria crockeri*, es un ejemplo, el cual muestra dos morfotipos de color, uno con manchas laterales oscuras (habita en el golfo) y el otro con manchas de color naranja (habita en el cabo). Los análisis de secuencias del ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés) mitocondrial (ADNm) confirmaron que esos morfotipos son en realidad dos especies diferentes; sin embargo, aún no se cuenta con la descripción formal de la especie (figura 1; Lin *et al.* 2009). Este resultado destaca áreas de endemismo y de diversidad biológica aún desconocidas, que pueden justificar la reconsideración de hábitats para la conservación (Bickford *et al.* 2007).

La variación morfológica sin su consecuente variación genética se conoce como plasticidad morfológica, y representa otra complejidad para la identificación de especies. Las corvinas *Micropogonias altipinnis*, *M. ectenes* y *M. megalops* (figura 2) son sciánidos que la taxonomía tradicional consideraba como diferentes especies, pero el estudio de Sánchez-Pinedo y colaboradores (2017) con secuencias de ADNm y de ADN nuclear (ADNn) mostró que la variación genética entre ellas en mínima, por lo que deben reconocerse como una especie politípica (que presenta varias formas).

En el golfo de California y el océano Pacífico son importantes los estudios de la comunidad de especies en estados larvarios, relacionados con fenómenos oceanográficos (p.e. capa mínima de oxígeno). Dado que las larvas presentan escasa variación morfológica, el uso de las herramientas moleculares es una solución para esta problemática. En este sentido, las especies del género *Albula* son difíciles de identificar a partir de su morfología (*A. esuncula* y *A. gilberti*), pero los estudios de ADNm permitieron su identificación a nivel de especie, auxiliando con ello a los estudios de diversidad y abundancia de especies en regiones oceanográficas de interés (Díaz-Viloria *et al.* 2017). Los ejemplos anteriores, revelan la importancia de la perspectiva genética para abordar problemas de incertidumbre taxonómica con diferentes aplicaciones, tanto en ecología como en el aprovechamiento de recursos pesqueros.

Figura 1. Pez críptico *Acanthemblemaria crockeri*, a) morfotipo golfo (especie 1); b) morfotipo cabo (especie 2). Fotos: Gerald R. Allen/ Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

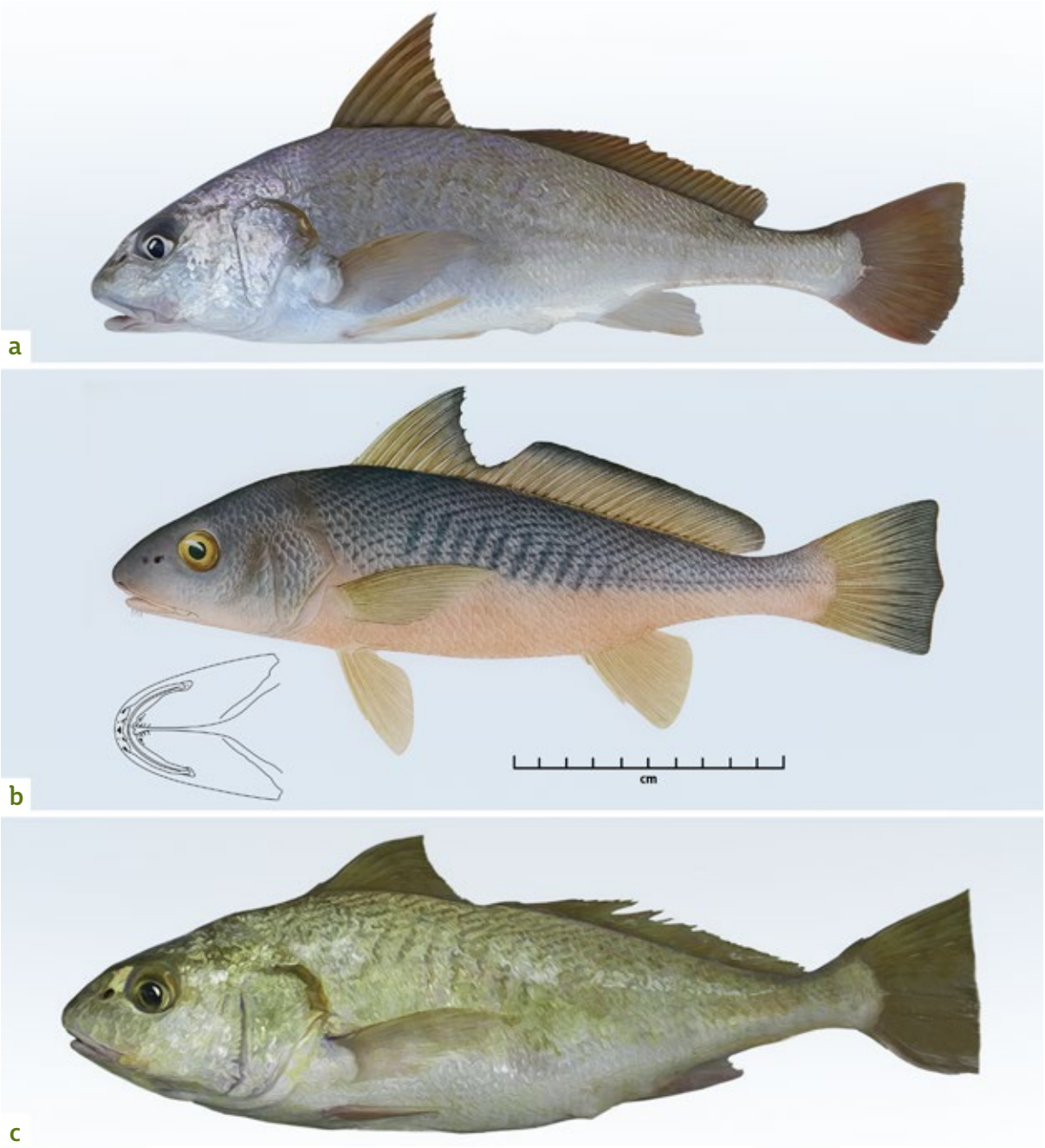


Figura 2. Plasticidad morfológica en *Micropogonias:* a) *M. altipinnis*; b) *M. ectenes*; c) *M. megalops*. Fotos: Sergio de la Rosa Martínez/ Banco de imágenes CONABIO (a, c), Tosio Kumada/Banco de imágenes CONABIO (b).

Filogeografía

Los estudios filogeográficos y filogenéticos son importantes porque representan una métrica distinta para priorizar áreas geográficas para la conservación; estos métodos aplican criterios como el potencial evolutivo de los grupos biológicos, lo cual demuestra ser práctico y eficiente para conservar especies ante el cambio climático. Un ejemplo de la aplicación de este enfoque es el estudio de Poortvliet y colaboradores (2013), donde

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

compararon dos especies de peces arrecifales con secuencias de ADNm y ADNn: *Semicossyphus pulcher* (actualmente *Bodianus pulcher*) que habita en el golfo de California y *S. darwini*, que se distribuye en Ecuador, Perú y Chile. A pesar de la distancia geográfica que las separa, la divergencia genética es escasa, sugiriendo que conforman una sola especie en lugar de dos; la estabilidad del ambiente (aguas profundas) puede ser el factor que explica la escasa divergencia genética. Casos como estos ofrecen una oportunidad para comprender los factores bióticos y abióticos que influyen en la configuración de la estructura genética de las poblaciones.

La Península de Baja California se caracteriza por una interesante y compleja historia geológica, que se refleja en la distribución y la diversificación actual de las especies en la región. En este contexto, no es de extrañarse que la mayoría de los esfuerzos de investigación en diversidad genética se centre en estudiar las causas que originaron las distribuciones geográficas de los linajes actuales. Los estudios bajo el enfoque filogeográfico se han realizado principalmente en especies de arrecife, como los trabajos de Bernardi con especies disyuntas (ver más adelante), o las investigaciones en la cabrilla sardinera (*Mycteroperca rosasea*; Jackson *et al.* 2015) y la cabrilla arenera (*Paralabrax maculatofasciatus;* Stepien *et al.* 2001). Asimismo, se cuenta con trabajos de algunas especies pelágicas (que viven en mar abierto) de importancia comercial como la sardina (*Sardinops* spp.; Bowen y Grant 1997) y el dorado (*Coryphaena hippurus*; Díaz-Jaimes *et al.* 2006). Estos estudios indican que el enfoque filogeográfico se aplica a especies tanto de importancia económica como científica, y su aporte es relevante debido a que permite generar información básica para la toma de decisiones para definir áreas de explotación y/o conservación.

Especies disyuntas

Una especie presenta una distribución disyunta cuando uno o más de sus grupos (que aún permanecen conectados genéticamente mediante flujo genético) se encuentran separados por alguna barrera, debido a algún evento geológico, o bien, por limitaciones en sus capacidades de dispersión (Llorente y Morrone 2001). Estudiar este tipo de fenómenos es importante debido a que ayuda a comprender el proceso de especiación en sus etapas iniciales, y se documenta tanto para especies de invertebrados como de vertebrados.

Para el caso de peces óseos, existen al menos 19 especies (Bernardi *et al.* 2003) cuyas poblaciones habitan el Pacífico y el golfo de California, pero están ausentes en la región Los Cabos con aguas más cálidas, aunque sin barreras físicas para la dispersión. Asimismo, sobre las costas de la Península de Baja California que limitan con el golfo, se reporta una separación genética entre poblaciones del norte y sur en algunas especies de peces, cuyo patrón genético también se observa en mamíferos y reptiles que habitan al interior del territorio peninsular (Riginos 2005).

El fenómeno de disyunción en la península se explica por dos factores causales. El primero es por la vicarianza (véase *Estudios filogeográficos: enseñanzas para el manejo y conservación de la biodiversidad*, en esta obra), ya sea por el canal medio peninsular formado en el Pleistoceno medio (acontecido hace más de 1.6 millones de años -Ma) y ejemplificado por las especies *Hypsoblennius jenkinsi*, *H. gentilis* (Bernardi 2014) y *Coralliozetus micropes* (Riginos 2005); o por el canal marítimo de la región La Paz surgido durante el Plioceno (hace 3 Ma, que separó a *Lythrypnus dalli* y *Paralabrax maculatofasciatus* (Bernardi *et al.* 2003). El segundo factor se debe a la dispersión hacia el sur de la península durante los eventos de glaciación ocurridos en el Pleistoceno (2.5 Ma a 11 mil años atrás), ejemplificado por el estudio del sargo rayado *Anisotremus davidsonii* (figuras 3 y 4), cuya presencia en la costa del Pacífico pudo deberse a una migración por individuos provenientes del golfo de California que rodearon el extremo sur de la península, o mediante un canal marítimo que la atravesó (Bernardi y Lape 2005).

Identificación de poblaciones y demografía poblacional

La caracterización de unidades poblacionales o *stocks* también son uno de los objetivos principales en los estudios de diversidad genética, y se realizan en especies pelágicas de importancia económica, como la sardina (*Sardinops sagax*; Bowen y Grant 1997, Lecomte *et al.* 2004, García-Rodríguez *et al.* 2011), el dorado

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

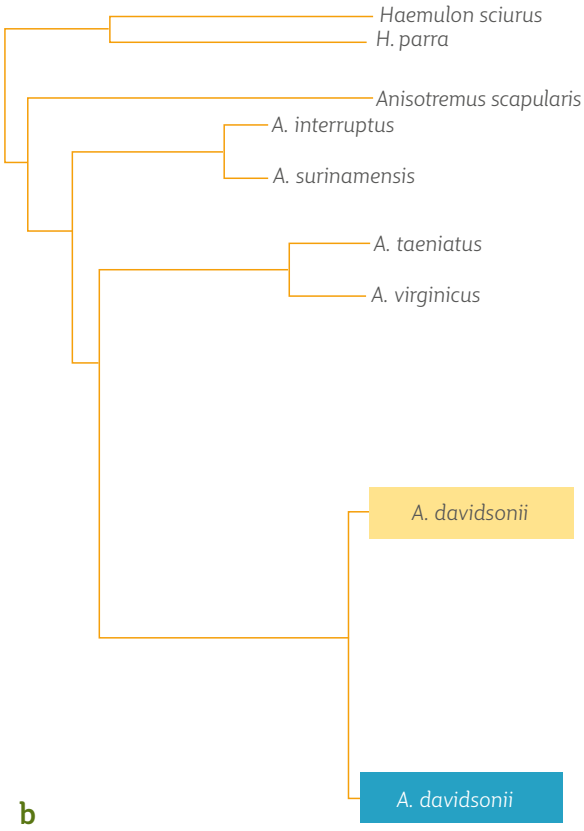


Figura 3. a) Ejemplar adulto del sargo rayado (*Anisotremus davidsonii*); b) filogenia del sargo rayado obtenida a partir del ADNm donde se muestra la separación de la especie en dos grupos monofiléticos (amarillo y azul), y su parentesco con otras especies de los géneros *Anisotremus* y *Haemulon*. Fuente/foto: Ross Robertson/Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (a), modificado de Bernardi y Lape 2005 (b).

(*Coryphaena hippurus*; Díaz-Jaimes *et al.* 2006, Tripp-Valdez *et al.* 2010), y la merluza (*Merluccius productus*; Silva-Segundo *et al.* 2011, García-de León *et al.* 2018). Todas estas especies tienen distribuciones amplias y representan un recurso compartido principalmente con Estados Unidos de América, por lo que además de lo valioso que es conocer la demografía histórica de las poblaciones naturales, la información de conectividad genética resulta útil para la gestión nacional e internacional de recursos pesqueros compartidos. Recientemente y gracias a estudios genéticos desarrollados para merluzas, se generó un proyecto de norma oficial mexicana para regular las pesquerías de esta especie (SADER 2019).

La sardina es una de las especies más explotadas, cuya población ha sufrido fluctuaciones extremas, caracterizada por el colapso de su pesquería a mediados de la década de los cincuenta. Bowen y Grant (1997) reconocen a *S. sagax ceruleus* como variante taxonómica que se distribuye desde Canadá hasta Baja California Sur. Se identificaron gradientes de diversidad genética con secuencias de ADNm, y se demostraron expansiones y reducciones poblacionales asociadas a fluctuaciones de la temperatura (Lecomte *et al.* 2004). Por su parte, García-Rodríguez y colaboradores (2011) mediante un análisis combinado de la diversidad genética con estudios morfométricos, sugirieron la existencia de diferentes morfotipos en función de la temperatura; sin embargo, los datos moleculares no apoyaron la separación de subpoblaciones.

Los resultados de estos trabajos resaltan la complejidad de los fenómenos que pueden determinar la estructura de las poblaciones naturales, y la necesidad de continuar con estudios a largo plazo para comprender los procesos microevolutivos, afectados por factores climáticos y antropogénicos. Cabe señalar que la participación de los científicos y administrativos mexicanos es mínima, comparada con los esfuerzos realizados por organizaciones internacionales; sin embargo, parte de la distribución de la especie está en aguas mexicanas, por lo que la evaluación genética de las poblaciones debe ser un ejercicio internacional conjunto, y con ello, establecer medidas adecuadas para el aprovechamiento y la conservación de la sardina.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

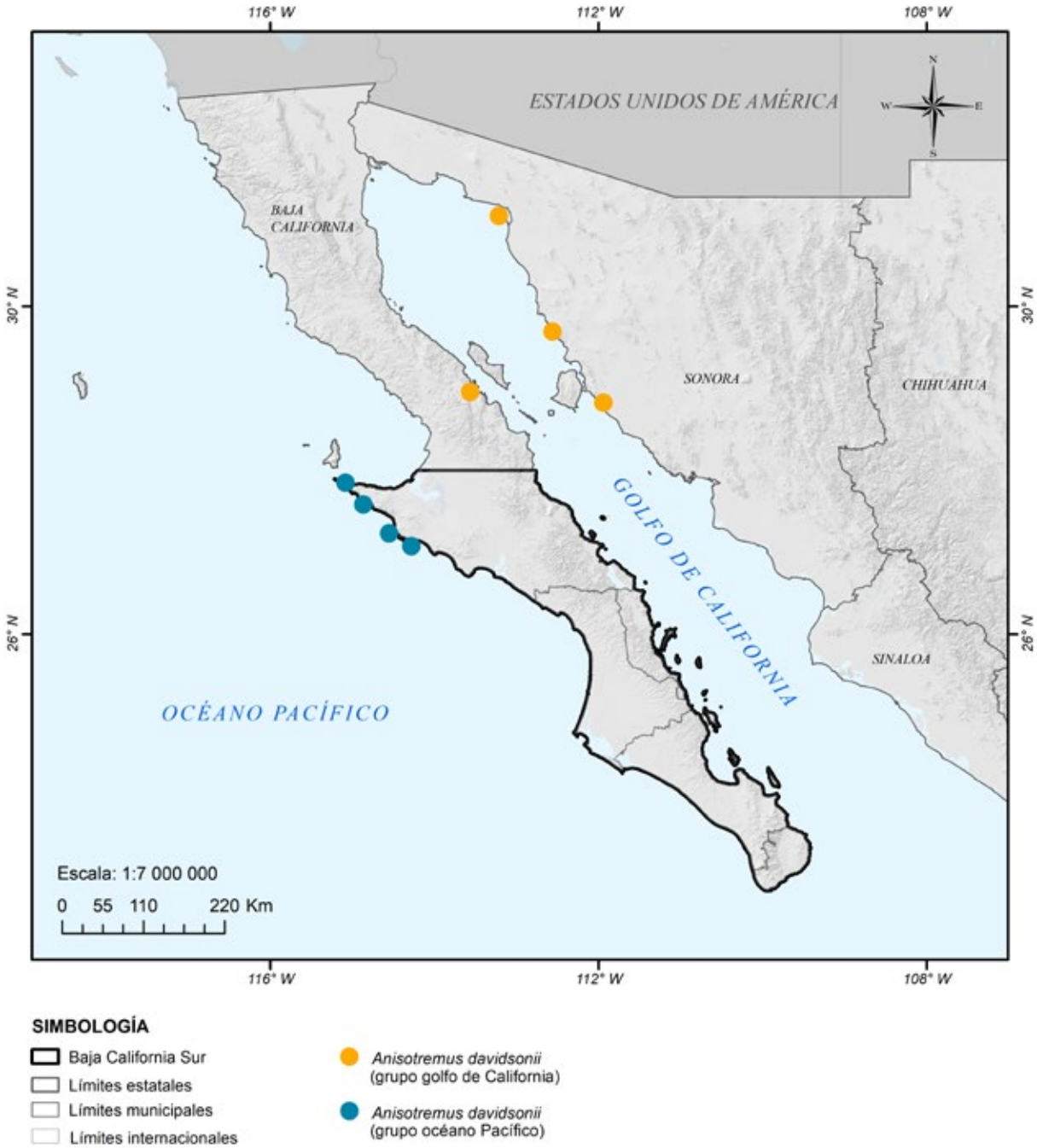


Figura 4. Separación geográfica del sargo rayado que refleja los resultados filogenéticos: un grupo habita en el Pacífico (azul) y otro en el golfo de California (amarillo). Fuente: modificado de Bernardi y Lape 2005.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Avances de investigación en el jurel pez fuerte (*Seriola rivoliana*)

La pesquería de jureles, particularmente del género *Seriola*, tiene gran demanda a nivel internacional. Es un recurso que genera aproximadamente 150 000 t/año con un costo de más de 10 dólares por kilogramo (Nakada 2002). En la entidad, se realizan estudios para promover el cultivo de la especie *S. rivoliana* (figura 5). En estos casos, los estudios de diversidad genética son importantes para: la identificación de los reproductores y sus descendientes; la trazabilidad de origen; la identificación de mutaciones; y la búsqueda de resistencia a enfermedades.

Los análisis genéticos en diferentes estadios y los estudios poblacionales representan puntos de partida para auxiliar las buenas prácticas, tanto para la pesca como para los sistemas de cultivo. El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) realiza esfuerzos para generar marcadores dentro del ADNm y el ADNn (microsatélites especie específicos y polimorfismos de nucleótido único o SNP por sus siglas en inglés) para abordar esta problemática.

Aplicaciones de secuenciación masiva de última generación en pesquerías y acuicultura

La secuenciación masiva de última generación (SMUG) es una técnica de alto rendimiento de secuenciación de ADN, donde se procesan de manera paralela millones de secuencias cortas (de 50 hasta 400 pares de bases) provenientes de varios individuos que pueden ser o no de la misma especie. Aproximadamente 58% de las publicaciones que emplean estas tecnologías corresponden a organismos marinos comerciales, en su mayoría peces (Valenzuela-Quiñonez 2016).

Con estos nuevos métodos se amplían las aplicaciones para el sector productivo de la pesca. Esto se ha logrado gracias a la incorporación de un mayor número de marcadores moleculares, lo que ofrece una mejor resolución para la identificación de estructura de las poblaciones, trazabilidad, filogenia, mapeo genético, aplicaciones ecotécnicas, entre otras. La SMUG ofrece la posibilidad de realizar estudios del genoma completo e identificar los genes asociados con rasgos de rendimiento y producción, como el crecimiento y la resistencia a enfermedades, entre otros (figura 6; Kumar y Kocour 2017).

Figura 5. Jurel pez fuerte (*Seriola rivoliana*) en sistemas de cultivo en el CIBNOR. Foto: Juan Carlos Pérez Urbiola.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

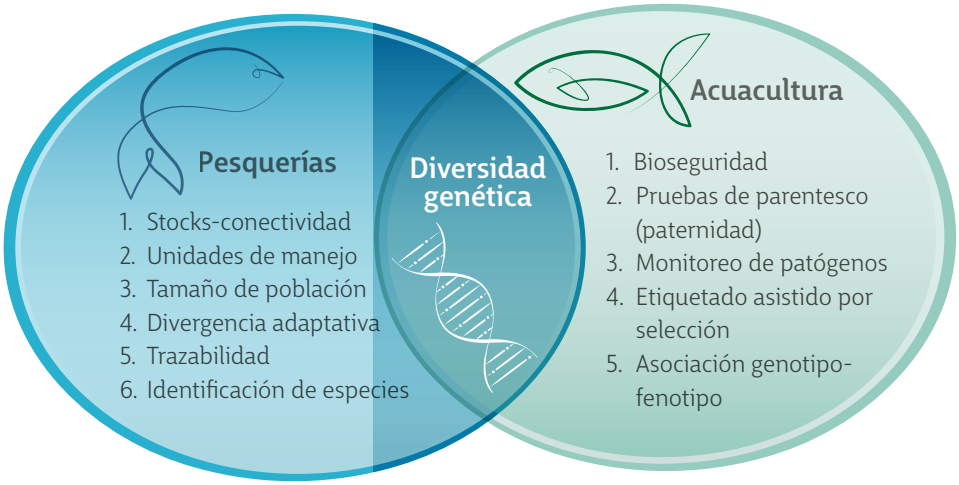


Figura 6. Principales aplicaciones de la SMUG en la pesca y la acuicultura. Fuente: modificado de Bernatchez *et al.* 2017.

Diversidad genética y decisiones políticas administrativas

Aunque los administradores y políticos reconocen las ventajas de los estudios genéticos para la gestión de la pesca, la acuicultura y las aplicaciones de bioseguridad, aún los consideran de poco uso práctico, a pesar de que existe un importante número de estudios que demuestran el valor de la información genética para asegurar el futuro de los productos del mar.[1] En este contexto, lo que realmente se requiere son esfuerzos de todos los interesados en el sector para eliminar los obstáculos estructurales y que se apoye el uso de métodos genéticos y genómicos en las prácticas de gestión y producción.

Los esfuerzos deben dirigirse a reducir las brechas entre los colegas de ciencia y administradores, mediante vías de comunicación con un lenguaje común y traduciendo los resultados de la investigación en soluciones prácticas; la adquisición de datos genéticos debe atender, sin lugar a duda, las necesidades reales de gestión. Una forma de facilitar la comunicación entre todos los usuarios es tener acceso a las publicaciones con rigor científico, las cuales deben ser comprendidas por todas las partes interesadas: profesionales de la gestión, responsables de formulación de políticas, científicos pesqueros y genetistas, para facilitar la interacción y promover actividades sinérgicas para la supervisión, predicción y gestión de las poblaciones, y con ello garantizar la sostenibilidad. Estos mismos problemas se observan en los planes de desarrollo de la pesca y la acuacultura en la entidad, y aunque existen algunas raras excepciones como el caso de la norma oficial mexicana mencionada para la merluza, es necesario un mayor esfuerzo si se desea una gestión a largo plazo.

Principales retos y conclusiones

Baja California Sur cuenta con un amplio litoral y mar patrimonial que contiene una alta biodiversidad marina, misma que contribuye con la economía nacional. Por ello, se deben incrementar los esfuerzos para estudios de ciencia básica con el fin de comprender el estado de las poblaciones naturales y su respuesta ante diferentes presiones ambientales naturales (p.e. fenómenos climáticos, oceanográficos) y antropogénicas (p.e. explotación, introducción de especies exóticas, contaminación, fragmentación de los ecosistemas, turismo). En el futuro, los estudios sobre la diversidad genética deben cumplir con dos objetivos fundamentales, por un lado (dada la amplia biodiversidad y el escaso número de especies hasta ahora analizadas) continuar con el conocimiento de los factores históricos y actuales que

1 Para más información consultar Bernatchez y colaboradores 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

han originado y modificado la diversidad genética; y por el otro, su aplicación inmediata en los modelos productivos regionales que permitan una conservación y explotación sostenible.

Es importante la colaboración multidisciplinaria entre los diferentes actores de la gestión de recursos marinos (políticos, administradores y científicos). El principal reto es sin duda, la incorporación del conocimiento genético a las políticas de desarrollo alimentario y de salud, sobre todo en un estado donde hay centros de investigación del más alto nivel para atender las problemáticas de los recursos marinos (véase *Diversidad genética*, en esta obra). Por ejemplo, la Carta Nacional Pesquera[2] no incluye información genética como parte del conocimiento de las especies, ni previsiones para la conservación, protección, restauración y aprovechamiento de los recursos pesqueros (INAPESCA 2018).

Es lamentable que, documentos de esta naturaleza no consideren la información sobre un componente importante de la biodiversidad. No menos significativo es el reto de establecer un programa de financiamiento continuo para dar seguimiento a los estudios de diversidad genética, esto debido a la complejidad de los procesos ecológicos y evolutivos que originaron la biodiversidad; solo así es posible lograr un aprovechamiento sostenible a corto, mediano y largo plazo. Finalmente, es necesario entender que el conocimiento de la biodiversidad en todas las escalas (genética, especies y ecosistemas) es fundamental para la conservación de la vida marina, atender casos de sobreexplotación y permitir la apropiación del capital natural, además de aportar a la resolución de problemas alimentarios, de salud, ambientales, económicos y sociales.

Referencias

Arriaga-Cabrera, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano *et al.* 1998. *Regiones marinas prioritarias de México*. CONABIO, México.

Bernardi, G. 2014. Baja California disjunctions and phylogeographic patterns in sympatric California blennies. *Frontiers in Ecology and Evolution* 53:1-9.

Bernardi, G. y J. Lape. 2005. Tempo and mode of speciation in the Baja California disjunct fish species *Anisotremus davidsonii*. *Molecular Ecology* 14:4085-4096.

Bernardi, G. y D. Talley. 2000. Genetic evidence for limited dispersal in the coastal California killifish, *Fundulus parvipinnis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 255: 187-199.

Bernardi, G., I. Findley y A. Rocha-Olivares. 2003. Vicariance and dispersal across Baja California in disjunct marine fish populations. *Evolution* 57:1599-1609.

Bernatchez, L., M. Wellenreuther, C. Araneda *et al.* 2017. Harnessing the power of genomics to secure the future of seafood. *Trends in Ecolgy & Evolution* 32:665-680.

Bickford, D., D.J. Lohman, N.S. Sodhi *et al.* 2007. Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 22:148-155.

Bowen, B.W. y W.S. Grant. 1997. Phylogeography of the sardines (*Sardinops* spp.): assessing biogeographic models and population histories in temperate upwelling zones. *Evolution* 51:1601-1610.

CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2017. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca*. CONAPESCA, México.

Díaz-Jaimes, P., M. Uribe Alcocer, S. Ortega García y J.D. Durand. 2006. Spatial and temporal mitochondrial DNA genetic homogeneity of dolphinfish populations (*Coryphaena hippurus*) in the eastern central Pacific. *Fisheries Research* 80:333-338.

Díaz-Viloria, N., L. Sánchez-Velasco y R. Pérez-Enríquez. 2005. Inhibition of DNA amplification in marine fish larvae preserved in formalin. *Journal of Plankton Research* 27:787-792.

Díaz-Viloria, N., L. Sánchez-Velasco, R. Pérez-Enríquez *et al.* 2017. Morphological description of genetically identified Cortez bonefish (*Albula gilberti*, Pfeiler and van der Heiden 2011) leptocephali from the southern Gulf of California. *Mitochondrial DNA Part A: DNA Mapping, Sequencing and Analysis* 28:717-724.

Domínguez-Contreras, J.F., A. Munguia-Vega, A. Castillo-Lopez *et al.* 2018. Characterization by next-generation sequencing

2 Documento oficial que auxilia al gobierno federal para la toma de decisiones en la administración de los recursos pesqueros.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

of 24 new microsatellite loci for the barred sand-bass, *Paralabrax nebulifer* (Girard, 1854), from the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Biodiversity* 48:2207-2210.

Franklin, M.P., C.L. Chabot y L.G. Allen. 2016. A baseline investigation into the population structure of white seabass, *Atractoscion nobilis*, in California and Mexican waters using microsatellite DNA analysis. *Bulletin, Southern California Academy of Sciences* 115:126-135.

García-De León, F.J., C. Galván-Tirado, L. Sánchez Velasco *et al.* 2018. Role of oceanography in shaping the genetic structure in the North Pacific hake *Merluccius productus*. PLOS ONE 13:e0194646.

García-Rodríguez, F.J., S.A. García-Gasca, J.D. De la Cruz-Agüero y V.M. Cota-Gómez. 2011. A study of the population structure of the Pacific sardine *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) in Mexico based on morphometric and genetic analyses. *Fisheries Research* 107:169-176.

González-Acosta, A.F., E.F. Balart, G. Ruiz-Campos *et al.* 2018. Diversidad y conservación de los peces de la bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89:705-740.

Huang, D. y G. Bernardi. 2001. Disjunct Sea of Cortez-Pacific ocean *Gillichthys mirabilis* populations and the evolutionary origin of their Sea of Cortez endemic relative, *Gillichthys seta*. *Marine Biology* 138:421-428.

INAPESCA. Instituto Nacional de Pesca. 2018. *Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera*. Publicada el 11 de junio de 2018 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Jackson, A.M., A. Munguía-Vega, R. Beldade *et al.* 2015. Incorporating historical and ecological genetic data for leopard grouper (*Mycteroperca rosacea*) into marine reserve design in the Gulf of California. *Conservation Genetics* 16:811-822.

Kumar, G. y M. Kocour. 2017. Applications of next-generation sequencing in fisheries research: a review. *Fisheries Research* 186:11-22.

Lecomte, F., W.S. Grant, J.J. Dodson *et al.* 2004. Living with uncertainty: genetic imprints of climate shifts in East Pacific anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*). *Molecular Ecology* 13:2169-2182.

Lessios, H.A., G.R. Allen, G.M. Wellington y E. Bermingham. 1995. Genetic and morphological evidence that the eastern Pacific damselfish *Abudefduf declivifrons* is distinct from *A. concolor* (Pomacentridae). *Copeia* 2:277-288.

Lin, H.C., C. Sánchez-Ortiz y P.A. Hastings. 2009. Colour variation is incongruent with mitochondrial lineages: Cryptic speciation and subsequent diversification in a Gulf of California reef fish (Teleostei: Blennioidei). *Molecular Ecology* 18:2476-2488.

Llorente, J. y J.J. Morrone. 2001. *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. UNAM, México.

Nakada, M. 2002. Yellowtail culture development and solutions for the future. *Reviews in Fisheries Science* 10:559-575.

Ochoa-Muñoz, M.J., N. Díaz-Viloria, L. Sánchez-Velasco *et al.* 2018. Molecular identification of *Auxis* spp. larvae (Pisces: Scombridae) from the Gulf of California: solving morphological identification limits. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 53:157-169.

Pfenninger, M. y K. Schwenk. 2007. Cryptic animal species are homogeneously distributed among taxa and biogeographical regions. BMC *Evolutionary Biology* 7:1-6.

Poortvliet, M., G.C. Longo, K. Selkoe *et al.* 2013. Phylogeography of the California sheephead, *Semicossyphus pulcher*: the role of deep reefs as stepping stones and pathways to antitropicality. *Ecology and Evolution* 3:4558-4571.

Riginos, C. 2005. Criptic Vicariance in Gulf of California fishes parallels vicariant patterns found in Baja California mammals and reptiles. *Evolution* 59:2678-2690.

Riginos, C. y B.C. Victor. 2001. Larval spatial distributions and other early life-history characteristics predict genetic differentiation in eastern Pacific blennioid fishes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268:1931-1936.

Rocha-Olivares, A., R.A. Leal-Navarro, C. Kimbrell *et al.* 2003. Microsatellite variation in the Mexican rockfish *Sebastes macdonaldi*. *Scientia Marina* 67:451-460.

Saarman, N.P., K.D. Louie y H. Hamilton. 2010. Genetic differentiation across eastern Pacific oceanographic barriers in the threatened seahorse *Hippocampus ingens*. *Conservation Genetics* 11:1989-2000.

SADER. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2019. *Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-020-SAG/PESC-2019*. Publicada el 23 de octubre de 2019 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Sánchez-Pinedo, G., N. Díaz-Viloria, J.L. Ortiz-Galindo *et al.* 2017. Proposed synonymy for *Micropogonias altipinnis* (Günther 1864), *Micropogonias ectenes* (Jordan & Gilbert 1882), and *Micropogonias megalops* (Gilbert 1890). *Mitochondrial DNA Part A: DNA Mapping, Sequencing and Analysis* 29:136-146.

Schinske, J.N., G. Bernardi, D.K. Jacobs y E.J. Routman. 2010. Phylogeography of the diamond turbot (*Hypsopsetta guttulata*) across the Baja California Peninsula. *Marine Biology* 157:123-134.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Silva-Segundo, C.A., M. Brito-Chavarria, E.F. Balart *et al.* 2011. Clarifying the taxonomic status of *Merluccius* spp. in the northeastern Pacific: a combined morphological and molecular approach. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 21:259-282.

Stepien, C.A., R.H. Rosenblatt y B.A. Bargmeyer. 2001. Phylogeography of the spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*: Divergence of Gulf of California and Pacific Coast populations. *Evolution* 55:937-942.

Terry, A., G. Bucciarelli y G. Bernardi. 2000. Restricted gene flow and incipient speciation in disjunct Pacific Ocean and Sea of Cortez populations of a reef fish species, *Girella nigricans*. *Evolution* 54:652-659.

Tranah, G.J. y L.G. Allen. 1999. Morphologic and genetic variation among six populations of the spotted sand bass, *Paralabrax maculatlifasciatus*, from southern California to the upper Sea of Cortez. *Bulletin of Southern California Academic of Sciences* 98:103-118.

Tripp-Valdez, M.A., F.J. García de León, S. Ortega-García *et al.* 2010. Population genetic structure of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the Gulf of California, using microsatellite loci. *Fisheries Research* 105:172-177.

Valenzuela-Quiñonez, F. 2016. How fisheries management can benefit from genomics? *Briefings in Functional Genomics* 15:352-357.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Diversidad genética en aves

José Luis Olivas Hernández, Georgina Morales Flores y Francisco Javier García De León

Introducción

Las aves son animales vertebrados que se caracterizan por sus adaptaciones al vuelo, aunque cabe aclarar que no todas las aves vuelan. Poseen huesos huecos y modificados, lo cual se refleja claramente en sus extremidades anteriores (alas; Solomon *et al*. 2011). Presentan el cuerpo cubierto por plumas, son endotérmicas (mantienen la temperatura corporal mediante el metabolismo), se caracterizan por tener un pico córneo carecen de dientes, y para reproducirse colocan huevos que incuban hasta su eclosión (Marshall 2013). En este capítulo se revisan los esfuerzos realizados por diferentes investigadores para estudiar la diversidad genética de las aves de Baja California Sur; con enfoque especial en investigaciones sobre la filogeografía y la genética de poblaciones.

Evolucionaron de un grupo conocido como maniraptores,[1] los cuales eran pequeños dinosaurios carnívoros que incluyen a los velociraptores (Hou *et al*. 1996). La historia de las aves comienza con *Archaeopteryx*, una criatura extinta con caracteres intermedios entre los dinosaurios con plumas y las aves modernas (Xu *et al*. 2011) y cuyo registro fósil data de aproximadamente 150 millones de años (Ma; Erickson *et al*. 2009). No fue sino hasta inicios del Cretácico (~145 Ma) cuando las aves desarrollaron una gran variedad de formas y tamaños. Al observar las rocas del período Cretácico más recientes (~65 Ma), el registro fósil incluye una gran cantidad de especies de aves con estilos de vida aún más diversos (Hackett *et al*. 2008).

Las aves son uno de los grupos de vertebrados que presenta mayor dificultad para analizar sus relaciones evolutivas profundas, esto es, conocer sus relaciones ancestro-descendencia, debido probablemente a la rápida divergencia (tasa de evolución) en su historia evolutiva (Hackett *et al*. 2008, Mayr 2016). Determinar las fechas de la separación de las aves es un tema de considerable debate entre los biólogos evolucionistas (Hackett *et al*. 2008), en gran medida por la necesidad de hacer conciliar las pruebas moleculares y fósiles (Brown *et al*. 2007).

Generalmente, la evolución sucede a una escala demasiado lenta para ser presenciada por el ser humano. Por ello, se recurre a métodos moleculares (p.e. los análisis de la diversidad genética) para estimar

1 Pertenecientes al grupo biológico Maniraptora, del que se tiene registro fósil de hace ~180 Ma.

Olivas-Hernández, J.L., G. Morales-Flores y F.J. García-De León. 2025. Diversidad genética en aves. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 105-116.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

divergencias evolutivas pasadas. En la actualidad, lamentablemente las aves se están extinguiendo a un ritmo apresurado (Mayr 2016). La desaparición de una población, subespecie o especie representa la pérdida permanente de una variedad de genes (Holdaway y Jacomb 2000) que nunca más se recuperará. Un proceso que exacerba esta pérdida es la hibridación,[2] la cual puede ser motivo de la alteración humana de los hábitats (Prager y Wilson 1975), lo que obliga a que las especies alopátricas (que se originaron por aislamiento geográfico) se rencuentren (Genovart 2009). Por ejemplo, la fragmentación del bosque puede crear áreas abiertas extensas, conectando hábitats previamente aislados (Moore *et al*. 2008). Las poblaciones que estuvieron aisladas durante un tiempo suficiente para divergir, pero no lo suficiente como para ser incapaces de producir descendientes fértiles, ahora se pueden cruzar de manera tan amplia que la integridad de la especie original puede verse comprometida; esto puede representar una amenaza para la conservación de las distintas especies involucradas (Blumstein y Daniel 2005, Genovart 2009).

Importancia

Las aves son importantes para el ser humano de múltiples maneras: cultural, artística, filosófica, científica y económica (Aplin 2019). A lo largo de la historia han sido símbolos culturales, como representaciones de dioses, al igual que como fuente de inspiración en el mundo de la pintura, la poesía y la música (BirdLife International 2018). Las aves han jugado un papel importante en muchos desarrollos científicos, como los estudios de Charles Darwin sobre los pinzones en las islas Galápagos que demostraron ser instrumentales para moldear sus pensamientos sobre la evolución a través de la selección natural (Greenberg y Marra 2005).

Las aves también proporcionan beneficios materiales. La domesticación de los gallos y gallinas silvestres (*Gallus gallus*) fue un evento fundamental para la seguridad alimentaria. El aviturismo o turismo de observación de aves constituye el sector de ecoturismo más grande: solo en Estados Unidos de América, la observación de aves suministra cerca de $36 millones de dólares anuales a la economía nacional (Steven *et al*. 2015); mientras que en México se reporta un ingreso anual[3] de $24 millones de dólares por esta causa (Cantú *et al*. 2011).

Las aves brindan una amplia variedad de servicios ecosistémicos; en Norteamérica, el papel que desempeñan en el control de plagas de insectos en cultivos de valor comercial se estima en varios millones de dólares (Steven *et al*. 2011). Por si fuera poco, las aves proveen beneficios significativos como polinización, dispersión de semillas, y algunas, como los buitres aportan un servicio crucial a través de la eliminación de cadáveres de animales, lo que representa una amenaza a la salud pública (Solomon *et al*. 2011).

Diversidad genética

A pesar de que México posee un lugar privilegiado al tener cerca de 1 150 especies de aves, existe poca información sobre su diversidad genética (Navarro-Sigüenza *et al*. 2014). Respecto a Baja California Sur, Erickson y colaboradores (2013) reportan 433 especies de aves nativas. En la entidad solo se han realizado 19 estudios que incorporan análisis de diversidad genética en 16 especies y subespecies de aves (cuadro 1). Del análisis de investigaciones en la materia, se identificó que 60 investigadores se han enfocado en desarrollar trabajos en este tópico; 20% de ellos son mexicanos y el resto, en su mayoría, tiene nacionalidad estadounidense.

El Dr. Robert M. Zink, ornitólogo estadounidense de la Universidad de Minnesota, ha realizado 52.6% de las investigaciones en Baja California Sur, siendo él, sus estudiantes, colegas e institución los que más información han generado sobre diversidad genética de aves en el estado. Cabe señalar que la Fundación Nacional de Pesca y Vida Silvestre es la agencia gubernamental estadounidense que más apoyo financiero ha brindado a dichas investigaciones.

2 Se refiere al entrecruzamiento de especies cercanamente emparentadas; los híbridos pueden o no ser fértiles y pueden generar nuevas especies.
3 Tasa de ingreso de 2006, 2008 y 2009.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Estudios genéticos de las aves en el estado.

Especie (nombre común)	Técnica	Temática	Conclusiones	Referencia
Callipepla californica (codorniz californiana)	Aloenzimas	Genética de poblaciones	Un sitio de muestreo de la entidad presenta alta similitud genética con Cataviñá, en Ensenada, Baja California	Zink *et al.* 1987
	ADNm	Filogeografía	La especie presenta un patrón filogeográfico; está genéticamente relacionada con especies hermanas del noroeste del territorio nacional	Zink *et al.* 2000b
Geothlypis beldingi (mascarita bajacaliforniana)	Aloenzimas	Genética de poblaciones e incertidumbre taxonómica	*G. beldingi* es taxonómica y genéticamente distinta a su especie hermana *G. trichas*	Zink y Klicka 1990
	ADNm	Filogenética	*G. beldingi* está genéticamente relacionado a *G. trichas* y presenta formas semejantes a los individuos del oeste de Norteamérica	Escalante *et al.* 2009
	ADNm y ADNn (intrones)	Filogenética	La especie se reconoce como endémica de la península, y su género forma un clado (agrupación con antepasado común) con los géneros *Oporornis* y *Leucopeza*	Lovette *et al.* 2010
	ADNn (microsatélites)	Desarrollo de marcadores moleculares	Obtención de 11 microsatélites para la especie	Munguía-Vega *et al.* 2011
Melozone crissalis (rascador californiano)	Aloenzimas y ADNm (RFLP)	Incertidumbre taxonómica	*M. crissalis* es la especie más sureña del grupo y su especie hermana es *M. fusca*	Zink y Dittmann 1991
	ADNm	Filogeografía	*M. crissalis* presenta un patrón filogeográfico; está genéticamente relacionada con especies hermanas del noroeste de México	Zink *et al.* 2000b
Toxostoma lecontei arenicola (cuitlacoche pálido)	ADNm y variación de color	Incertidumbre taxonómica y patrones filogeográficos	La subespecie *T. l. arenicola* presenta 3.5% de divergencia con respecto de *T. l. lecontei*, por lo que se sugiere reconocer a la primera como especie (aunque actualmente se sigue como subespecie)	Zink *et al.* 1997
	ADNm	Filogeografía	La subespecie presenta un patrón filogeográfico; está genéticamente relacionada con especies hermanas del noroeste del territorio nacional	Zink *et al.* 2000b
Toxostoma cinereum (cuitlacoche peninsular)	Aloenzimas, ADNm (secuencias y RFLP) y morfología del esqueleto	Filogenética	Se reconoce al grupo cinereum (*T. cinereum* de la Península de Baja California y *T. bendirei* de Arizona) como monofilético (que derivan de un mismo ancestro) y hermano al grupo lecontei	Zink *et al.* 1999

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Continuación.

Especie (nombre común)	Técnica	Temática	Conclusiones	Referencia
Toxostoma cinereum (cuitlacoche peninsular)	ADNm	Filogeografía	La especie presenta un patrón filogeográfico; está genéticamente relacionada con especies hermanas del noroeste del territorio nacional	Zink *et al.* 2000b
Polioptila californica (perlita californiana)	ADNm	Incertidumbre taxonómica	*P. california* es reconocida como especie, además existe una diferencia genética entre las poblaciones del estado y Baja California	Zink y Blackwell 1998
	ADNm	Incertidumbre taxonómica	La especie presenta una distribución continua a lo largo de la península hasta el sureste de California, y se sugiere un crecimiento y expansión poblacional reciente hacia el norte de la península, a partir de un refugio pleistocénico en el estado	Zink *et al.* 2000a
	ADNm	Filogeografía	La especie presenta un patrón filogeográfico; está genéticamente relacionada con especies hermanas del noroeste del territorio nacional	Zink *et al.* 2000b
	ADNm	Filogeografía	No presenta patrón filogeográfico y muestra una aparente expansión poblacional hacia el norte de la península	Zink *et al.* 2001
	ADNn y ADNm	Filogeografía	La especie no tiene un patrón filogeográfico; se demuestra que el estado fungió como refugio durante el Pleistoceno y presenta una expansión poblacional hacia el norte de la península; presenta mayor diversidad genética en el centro del estado	Zink *et al.* 2013
Campylorhynchus brunneicapillus purus (cucarachero desértico)	ADNm	Filogeografía	No presenta patrón filogeográfico en la entidad; sin embargo, muestra interrupciones filogeográficas con el canal medio transpeninsular	Zink *et al.* 2001
Campylorhynchus brunneicapillus affinis (cucarachero desértico)	ADNm	Filogeografía	No presenta patrón filogeográfico en la entidad; sin embargo, muestra interrupciones filogeográficas con el canal medio transpeninsular	Zink *et al.* 2001
Auriparus flaviceps (moscón baloncito)	ADNm	Filogeografía	No presenta patrón filogeográfico en la entidad; sin embargo, muestra interrupciones filogeográficas con el canal medio transpeninsular	Zink *et al.* 2001
Cardinalis cardinalis igneus (cardenal rojo)	ADNm	Filogeografía	No presenta patrón filogeográfico; el estado fungió como refugio durante el Pleistoceno	Smith *et al.* 2011

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Continuación.

Especie (nombre común)	Técnica	Temática	Conclusiones	Referencia
Egretta rufescens dickey (garza rojiza)	ADNn (microsatélites)	Genética de poblaciones e incertidumbre taxonómica	*E. rufescens dickeyi* es reconocida como subespecie de la entidad; y es genéticamente diferente de las subespecies de Texas y Bahamas; no muestra estructura dentro del estado	Hill *et al.* 2012
Passerculus sandwichensis rostratus (gorrión sabanero)	ADNm y patrón de color	Incertidumbre taxonómica y filogeografía	Para la Península de Baja California y Sonora, la subespecie *P. s. rostratus* debería reconocerse como especie (*P. rostratus*); y no muestra un patrón filogeográfico	Zink *et al.* 2005
Aphelocoma californica (chara californiana)	ADNm y ADNn (microsatélites)	Genética de poblaciones y filogeografía	No tiene un patrón filogeográfico en la entidad; la población se mantiene por aislamiento reproductivo	Gowen *et al.* 2014
Hylocharis xantusii (colibrí de Xantus)	ADNm	Filogeografía	Se identifica estructura genética de tres poblaciones: norte, centro y sur; el istmo de La Paz separa la población centro del sur; las poblaciones del norte y sur presentaron expansión poblacional hace 80 mil años, y la central, hace un millón de años; aislamiento por distancia entre oasis	González-Rubio *et al.* 2016
Hydrobates melania (paíño negro)	ADNm	Filogenética	*H. melania* es especie hermana de *H. markhami* de Perú	Wallace *et al.* 2017
Hydrobates microsoma (paíño menudo)	ADNm	Filogenética	*H. microsoma* es especie hermana de *H. tethys* de islas Galápagos	Wallace *et al.* 2017

ADNn: ADN nuclear, ADNm: ADN mitocondrial; RFLP: polimorfismos en la longitud de los fragmentos de restricción. Fuente: elaboración propia.

Principalmente, los estudios se enfocan sobre incertidumbres taxonómicas, filogenética, filogeografía y genética de poblaciones (cuadro 1). El uso de la genética para resolver incertidumbres taxonómicas es el tema principal en siete de los 19 estudios.[4] Entre ellos se encuentra el desarrollado para la garza rojiza (*Egretta rufescens dickeyi*, figura 1) propia de la entidad, que es taxonómicamente distinta a sus subespecies hermanas (Hill *et al.* 2012). Por su parte, cuatro trabajos se realizaron bajo el enfoque de filogenética, donde se evaluaron las relaciones de parentesco entre especies. De éstos, dos se enfocan en el género *Geothlypis*, otro estudia especies del género *Hydrobates* (Wallace *et al.* 2017) y otro el género *Toxostoma* (cuadro 1; Zink *et al.* 1999).

El enfoque de filogeografía también está representado en los trabajos. Existen dos hipótesis para explicar los patrones filogeográficos de los organismos que habitan la Península de Baja California: la vicarianza y el dispersionismo[5] (véase *Estudios filogeográficos:*

4 Cabe aclarar que la cantidad de estudios mencionados en este segmento no son exclusivos -salvo algunos- de un solo tópico, sino que son estudios multidisciplinarios. Por ello, sí un estudio cubre por ejemplo tres tópicos, se contabilizan por separado, esto con la finalidad de facilitar la comprensión del texto.

5 Vicarianza se refiere a la fragmentación del patrón de diversidad genética ancestral por la aparición de una barrera geográfica; mientras que el dispersionismo se refiere a la colonización de un área cruzando una barrera preexistente (Sanmartin 2012).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

enseñanzas para el manejo y conservación de la biodiversidad, en esta obra). Diversos estudios filogeográficos en aves parecen soportar la hipótesis de la vicarianza, siendo dos canales transpeninsulares los que determinan el patrón filogeográfico de monofilia recíproca[6] en el estado: el istmo de La Paz y el canal medio transpeninsular (cuadro 1). Uno de esos estudios es el de González-Rubio y colaboradores (2016) en el colibrí de Xantus (*Hylocharis xantusii*, figura 2) endémico de la península.

Por su parte, bajo la hipótesis de dispersionismo, algunos estudios sugieren que los cambios climáticos del Pleistoceno originaron los patrones filogeográficos en las especies analizadas (cuadro 1); únicamente para algunas se determinó que la entidad fungió como un refugio durante las fluctuaciones climáticas pasadas. Dos estudios indican un patrón de aislamiento por distancia, y muestran una expansión hacia el norte de la península, siendo más alta la diversidad genética en las poblaciones sureñas; como se observa en la perlita californiana (*Polioptila californica*, figura 3; Zink *et al*. 2013). Este conocimiento es importante para la conservación, debido a que aporta información para emitir un criterio en la priorización de zonas de interés a conservar.

Figura 1. Garza rojiza (*Egretta rufescens dickeyi*). Foto: L. Ernesto Pérez-Montes.

En lo que corresponde a genética de poblaciones (enfoque en cuatro estudios del total de las investigaciones), la estructura genética encontrada se explica por dispersión (Zink *et al*. 1987, Zink y Klicka 1990, Hill *et al*. 2012) y aislamiento reproductivo (Gowen *et al*. 2014). Adicionalmente, se encontró un estudio en el que se reporta leucismo[7] en tres especies de aves: aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*, figura 4), tórtola turca (*Streptopelia decaocto*) y tordo sargento (*Agelaius phoeniceus*; Ayala-Pérez *et al*. 2015). Este tipo de variantes puede ser un indicativo indirecto de problemas genéticos, como una variabilidad genética baja en la población (Bensch *et al*. 2000), o bien, representar una ventaja selectiva en algunos tipos de hábitat (Edelaar *et al*. 2011); esto es algo que deberá investigarse en el futuro.

Impacto de la actividad humana en las aves

Lamentablemente, no existen estudios que evalúen el impacto de las actividades humanas sobre la diversidad genética de las aves en el estado. No obstante, se sabe que las principales actividades humanas que fragmentan el hábitat donde ellas habitan son los asentamientos humanos, el turismo y la agricultura. Las alteraciones del hábitat generan barreras que disminuyen el flujo génico entre poblaciones modificando la diversidad genética, pero también puede conferir a las especies la capacidad de responder a distintas amenazas como depreda-

6 Condición de dos poblaciones que se diferenciaron genéticamente de su ancestro en común más cercano.
7 Aberración cromática que se caracteriza por la pérdida total o parcial de la coloración por melaninas.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Colibrí de Xantus (*Hylocharis xantusii*). Foto: L. Ernesto Pérez-Montes.

Figura 3. Perlita californiana (*Polioptila californica*). Foto: L. Ernesto Pérez-Montes.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 4. Aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*): a) individuo con leucismo; b) individuo sin leucismo. Fotos: Víctor Ayala (a), L. Ernesto Pérez-Montes (b).

dores, enfermedades y cambios ambientales (Reed y Frankham 2003). La pérdida de hábitats no influye en aves con alta dispersión (Rodríguez-Estrella 2007); sin embargo, afecta en mayor proporción a las especies que son especialistas, y que presentan baja capacidad dispersiva y/o densidades poblacionales bajas que pueden llevar a la endogamia,[8] provocando el declive de la diversidad genética (Charlesworth y Charlesworth 1987).

Los oasis del estado (figura 5) son los hábitats de mayor congregación de aves, por lo que deben ser una prioridad para la conservación de la diversidad genética (Martínez-Sarmiento 2015). Un ave que presenta características de alta vulnerabilidad en este tipo de hábitats es la mascarita peninsular (*Geothlypis beldingi*, figura 6), la cual tiene poblaciones que son las de menor abundancia dentro de la familia Parulidae (BirdLife International 2017) y con baja capacidad dispersiva (Rodríguez-Estrella *et al*. 1999), lo que la vuelve altamente sensible a la fragmentación y alteraciones del hábitat (Rodríguez-Estrella y Arriaga 1997). Además, es de gran interés para los observadores de aves por ser una especie endémica y carismática de la entidad (Rivas-Orilla 2018).

Conclusiones

Las aves de Baja California Sur han sido estudiadas bajo los enfoques de incertidumbres taxonómicas, filogenética, filogeografía y genética de poblaciones. Estos trabajos contemplan en su conjunto 3.4% de las aves de la entidad. Bajo la perspectiva de la conservación, el hecho que el estado haya funcionado como refugio pleistocénico y que muchas aves evaluadas muestran mayor diversidad genética en las regiones sureñas, aporta un conocimiento básico para priorizar áreas para la conservación.

Los canales inter-peninsulares como evidencias que explican los patrones filogeográficos de la fauna y flora de la península han sido ampliamente debatidos, y debido a que solo una parte de los estudios en aves han apoyado esta hipótesis, resalta la necesidad de continuar con investigaciones genéticas. Asimismo, con el conocimiento desarrollado hasta el momento, resulta difícil evaluar el impacto de las actividades humanas sobre la diversidad genética y el potencial evolutivo de las aves; por ello, es importante continuar con estudios en más especies con hábitos de vida y distribución geográfica diferente.

8 Entrecruzamiento entre individuos emparentados.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 5. Oasis La Purísima. Foto: Víctor E. García Jonapá.

Figura 6. Mascarita peninsular (*Geothlypis beldingi*), especie endémica del estado. Foto: L. Ernesto Pérez-Montes.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cabe señalar que existen nuevas tecnologías que aportarían a resolver estos vacíos de información. Este es el caso de los polimorfismos de simple nucleótido (SNP por sus siglas en inglés), los cuales permiten hacer comparaciones a nivel genómico entre los individuos y especies, y así determinar con mayor precisión la estructura y la diversidad genética de las poblaciones de aves bajo un enfoque de la genética del paisaje.[9] Otra herramienta de utilidad son los estudios de metagenómica, mediante los cuales se puede analizar el material genético de toda una comunidad mixta de organismos, y con ello determinar patrones de diversidad genética en un hábitat determinado, con la ventaja de utilizar técnicas no invasivas y partiendo de muestras ambientales como agua, aire o sustrato. Sin duda, el empleo de estas nuevas tecnologías permitirá generar conocimiento elemental para la conservación de las aves en la entidad.

Referencias

Aplin, L.M. 2019. Culture and cultural evolution in birds: a review of the evidence. *Animal Behaviour* 147:179-187.

Ayala-Pérez, V., N. Arce y R. Carmona. 2015. Registro de aves con leucismo en Baja California Sur, México. *Acta Zoológica Mexicana* 2:309-312.

Bensch, S., B. Hansson, D. Hasselquist *et al*. 2000. Partial albinism in a semi-isolated population of great reed warblers. *Hereditas* 133:167-170.

BirdLife International. 2017. *Geothlypis beldingi*. *The IUCN Red List of Threatened Species: Belding's Yellowthroat*. En: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T22721839A118502506.en>, última consulta: 18 de mayo de 2019.

—. 2018. *State of the World's Birds 2018*. En: <https://www.birdlife.org/sowb2018>, última consulta: 12 de mayo de 2019.

Blumstein, D.T. y J.C. Daniel. 2005. The loss of anti-predator behavior following isolation on islands. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272:1663-1668.

Brown, J.W., R.B. Payne y D.P. Mindell. 2007. Nuclear DNA does not reconcile 'rocks' and 'clocks' in Neoaves: a comment on Ericson *et al*. *Biology Letters* 3:257-260.

Cantú, J.C., H. Gómez de Silva y M.E. Sánchez. 2011. *El dinero vuela: el valor económico del ecoturismo de observación de aves*. Defenders of Wildlife, Washington.

Charlesworth, D. y B. Charlesworth. 1987. Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1:237-268.

Edelaar, P., J.A. Donázar, M. Soriano *et al*. 2011. Apparent selective advantage of leucism in a coastal population of Southern caracaras (Falconidae). *Evolutionary Ecology Research* 13:187-196.

Erickson, R.A., R. Carmona, G. Ruiz-Campos *et al*. 2013. Annotated checklist of the birds of Baja California and Baja California Sur. *North American Birds* 66:582-613.

Erickson, G.M., O.W. Rauhut, Z. Zhou *et al*. 2009. Was dinosaurian physiology inherited by birds? Reconciling slow growth in *Archaeopteryx*. *PLOS ONE* 4:e7390.

Escalante, P., L. Márquez-Valdelamar, P. De la Torre *et al*. 2009. Evolutionary history of a prominent North American warbler clade: The *Oporornis-Geothlypis* complex. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 3:668-678.

Genovart, M. 2009. Natural hybridization and conservation. *Biodiversity and Conservation* 18:1435.

González-Rubio, C., F.J. García-De León y R. Rodríguez-Estrella. 2016. Phylogeography of endemic Xantus' hummingbird (*Hylocharis xantusii*) shows a different history of vicariance in the Baja California Peninsula. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 102:265-277.

Gowen, F.C., J.M. Mayey, C. Cicero *et al*. 2014. Speciation in Western Scrub-Jays, Haldane's rule, and genetic clines in secondary contact. *BMC Evolutionary Biology* 14:135.

Greenberg, R. y P.P. Marra. 2005. *Birds of two worlds: the ecology and evolution of migration*. JHU Press, EUA.

Hackett, S.J., R.T. Kimball, S. Reddy *et al.* 2008. A phylogenomic study of birds reveals their evolutionary history. *Science* 320:1763-1768.

9 Este enfoque es de importancia para la conservación biológica, debido a que en él se puede relacionar la heterogeneidad ambiental con la variación genética para elucidar si los factores ecológicos, biológicos y/o climáticos (p.e. fragmentación del hábitat o gradientes de temperatura y precipitación) inciden en los patrones de diversidad genética adaptativa, es decir, en aquella relacionada con la expresión de genes que determinan la variación espacial de características morfológicas y fisiológicas en los individuos, y que conducen al aislamiento/reducción de las poblaciones.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Hill, A., C. Green y E. Palacios. 2012. Genetic diversity and population structure of North America's rarest heron, the reddish egret (*Egretta rufescens*). *Conservation Genetics* 2:535-543.

Holdaway, R.N. y C. Jacomb. 2000. Rapid extinction of the moas (Aves: Dinornithiformes): model, test, and implications. *Science* 287:2250-2254.

Hou, L., L.D. Martin, Z. Zhou *et al.* 1996. Early adaptive radiation of birds: evidence from fossils from northeastern China. *Science* 274:1164-1167.

Lovette, I.J., J.L. Pérez-Emán, J.P. Sullivan *et al.* 2010. A comprehensive multilocus phylogeny for the wood-warblers and a revised classification of the Parulidae (Aves). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 2:753-770.

Marshall, A.J. 2013. *Biology and comparative physiology of birds*. Vol. 1. Academic Press, EUA.

Martínez-Sarmiento, C.A. 2015. *Comparación de ecología trófica del búho cornudo (Bubo virginianus) en una zona natural y una fragmentada del matorral desértico de Baja California Sur*. Tesis de maestría. CIBNOR, La Paz.

Mayr, G. 2016. *Avian evolution: the fossil record of birds and its paleobiological significance*. John Wiley and Sons, EUA.

Moore, R., W. Robinson, I. Lovette *et al.* 2008. Experimental evidence for extreme dispersal limitation in tropical forest birds. *Ecology Letters* 11:960-968.

Munguía-Vega, A., R. Rodríguez-Estrella, G. Blanco *et al.* 2011. Microsatellite loci for assessing genetic diversity and population structure of the endemic Belding's yellowthroat *Geothlypis beldingi* from the Baja California Peninsula. *Conservation Genetics Resources* 3:433-435.

Navarro-Sigüenza, A.G., M.F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez *et al.* 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:476-495.

Prager, E.M. y A.C. Wilson. 1975. Slow evolutionary loss of the potential for interspecific hybridization in birds: a manifestation of slow regulatory evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 72:200-204.

Reed, D.H. y R. Frankham. 2003. Correlation between fitness and genetic diversity. *Conservation Biology* 1:230-237.

Rivas-Orilla, N.A. 2018. *El aviturismo como alternativa económica y de conservación en el humedal La Poza, Todos Santos, BCS, México*. Tesis de maestría. UABCS, Baja California Sur.

Rodríguez-Estrella, R. 2007. Land use change affect distributional patterns of dessert birds in the Baja California Peninsula, Mexico. *Diversity and Distribution* 6:877-889.

Rodríguez-Estrella, R. y L. Arriaga. 1997. Implicaciones ecológicas de las actividades humanas en la biota asociada a los oasis. En: *Los oasis de la Península de Baja California*. L. Arriaga y R. Rodríguez Estrella (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 285-291.

Rodríguez-Estrella, R., L. Rubio-Delgado, E. Diez de Bonilla *et al.* 1999. Belding's yellowthroat: current status, habitat preferences and threats in oases of Baja California, Mexico. *Animal Conservation* 2:77-84.

Sanmartin, I. 2012. Biogeografía. En: *El árbol de la vida: sistemática y evolución de seres vivos*. P. Vargas y R. Zardoya (eds.) Impulso Global Solutions S.A., Madrid, pp. 457-474.

Smith, B.T., P. Escalante, B.E. Hernández-Baños *et al.* 2011. The role of historical and contemporary processes on phylogeographic structure and genetic diversity in the Northern Cardinal, *Cardinalis cardinalis*. *BMC Evolutionary Biology* 11:136.

Solomon, E.P., L.R. Berg y D.W. Martin. 2011. *Biology*. Brooks/Cole, EUA.

Steven, R., C. Morrison y J.G. Castley. 2015. Birdwatching and avitourism: a global review of research into its participant markets, distribution and impacts, highlighting future research priorities to inform sustainable avitourism management. *Journal of Sustainable Tourism* 23:1257-1276.

Steven, R., C. Pickering y J.G. Castley. 2011. A review of the impacts of nature based recreation on birds. *Journal of Environmental Management* 92:2287-2294.

Xu, X., H. You, K. Du *et al.* 2011. An *Archaeopteryx*-like theropod from China and the origin of Avialae. *Nature* 475:465.

Wallace, S.J., J.A. Morris-Pocock, J. González-Solis *et al.* 2017. A phylogenetic test of sympatric speciation in the Hydrobatinae (Aves: Procellariiformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 107:39-47.

Zink, R.M. y R.C. Blackwell. 1998. Molecular systematics and biogeography of aridland gnatcatchers (genus *Polioptila*) and evidence supporting species status of the California gnatcatcher (*Polioptila californica*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 1:26-32.

Zink, R.M. y D.L. Dittmann. 1991. Evolution of brown towhees mitochondrial DNA evidence. *Condor* 1:98-105.

Zink, R.M. y J.T. Klicka. 1990. Variation in the common yellowthroat and some allies. *Wilson Ornithological Society* 3:514-520.

Zink, R.M., R.C. Blackwell y O. Rojas-Soto. 1997. Species limits in the Le Conte's Thrasher. *Condor* 1:132-138.

Zink, R.M., B.F. Barrowclogh, J.L. Atwood *et al.* 2000a. Genetics, taxonomy, and conservation of the threatened California Gnatcatcher. *Conservation Biology* 5:1394-1405.

Zink, R.M., R.C. Blackwell-Rago y F. Ronquist. 2000b. The shifting roles of dispersal and vicariance in biogeography. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 1442:497-503.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Zink, R.M., D.L. Dittmann, J. Klicka y R.C. Blackwell. 1999. Evolutionary patterns of morphometrics, allozymes, and mitochondrial DNA in thrashers (genus *Toxostoma*). *Auk* 4:1021-1038.

Zink, R.M., J.G. Groth, H. Vázquez-Miranda *et al*. 2013. Phylogeography of the California gnatcatcher (*Polioptila californica*) using multilocus DNA sequences and ecological niche modeling: Implications for conservation. *Auk* 3:449-458.

Zink, R.M., A.N. Kessen, T.V. Line *et al*. 2001. Comparative phylogeography of some aridland bird species. *Condor* 1:1-10.

Zink, R.M., D.F. Lott y D.W. Anderson. 1987. Genetic variation, population structure, and evolution of California quail. *Condor* 2:395-405.

Zink, R.M., J.D. Rising, S. Mockford *et al*. 2005. Mitochondrial DNA variation, species limits, and rapid evolution of plumage coloration and size in the Savannah Sparrow. *Condor* 1:21-28.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Diversidad genética en los mamíferos

Cristian Cornejo Latorre y Luis Fernando Rosas Pacheco

Introducción

La diversidad genética es un componente clave y una medida esencial de la biodiversidad (Millette *et al*. 2019), que en un sentido amplio se refiere a las variantes genéticas heredables que ocurren dentro de organismos individuales, entre los organismos de una población y entre las poblaciones de una especie (Hughes *et al*. 2008, Piñero *et al*. 2008, Frankham *et al*. 2010). La existencia de variantes genéticas en las poblaciones representa la materia prima para la evolución de adaptaciones por selección natural y brinda a los organismos la capacidad de respuesta para enfrentar los cambios ambientales derivados directa o indirectamente de las actividades humanas (p.e. la pérdida y fragmentación del hábitat; Frankham *et al*. 2010). La importancia de conocer y preservar la diversidad genética radica en el hecho de que la pérdida la variabilidad podría reducir el potencial evolutivo de las especies y la adecuación de las poblaciones, lo cual en última instancia se traduciría en la pérdida de biodiversidad y el deterioro de los servicios ambientales (Frankham *et al*. 2010, Cornejo-Latorre *et al*. 2014).

Particularmente, el estudio y conocimiento de la diversidad genética de los mamíferos de Baja California Sur es relevante para definir la identidad de las especies, la viabilidad de las poblaciones y el grado de divergencia entre ellas, así como para evaluar las relaciones evolutivas entre taxones. Este conocimiento puede contribuir significativamente a una mejor comprensión de los procesos que determinan la alta diversidad y la distribución de los mamíferos, cuyas especies en la Península de Baja California e islas adyacentes se caracteriza por un alto grado de endemismo (distribución exclusivamente en la región). Asimismo, la información derivada de los análisis de diversidad genética puede contribuir a mejorar los criterios y estrategias que se utilizan para el establecimiento de áreas naturales protegidas. La implementación de estrategias de conservación *in situ* donde se integre el componente de la diversidad genética puede favorecer la permanencia y el buen funcionamiento de los ecosistemas y sus servicios, incluidos aquellos relacionados con las actividades productivas y de recreación que se practican y que contribuyen al desarrollo del estado.

Por otra parte, por medio de algunas medidas de diversidad genética se pueden inferir las reducciones drásticas pasadas o actuales en el tamaño poblacional de una especie y determinar el potencial adaptativo de sus poblaciones (Millette *et al*. 2019). Esta información es importante para elaborar planes de recuperación de especies de mamíferos críticamente

Cornejo-Latorre, C. y F. Rosas. 2025. Diversidad genética en los mamíferos. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 117-123.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

amenazadas, como la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y el berrendo peninsular (*Antilocapra americana*), cuyas poblaciones se han reducido severamente y mantienen bajos niveles de diversidad genética (Rosel y Rojas-Bracho 1999, Klimova *et al*. 2014. Otro aspecto que bajo el enfoque genético ha cobrado mucha relevancia es entender las respuestas históricas de las especies a los cambios ambientales o estresores humanos (p.e. cacería excesiva o sobreexplotación), lo cual ha permitido establecer estrategias de manejo al nivel de poblaciones, una política de conservación conocida como unidades evolutivamente significativas (Cornejo-Latorre y Álvarez-Castañeda 2016). Este contexto, resalta la importancia de conocer y cuantificar la diversidad genética para establecer medidas adecuadas de conservación, así como para la comprensión de diferentes fenómenos ecológicos, evolutivos y biogeográficos.

El objetivo de este trabajo es proporcionar una síntesis del conocimiento de la diversidad genética de los mamíferos de la entidad, indicar el contexto o enfoques bajo los cuales se analiza este componente de la biodiversidad, así como discutir la contribución y la relevancia de estudios genéticos al conocimiento de la diversidad biológica en la región.

Mamíferos

A nivel global se reconocen 6 495 especies de este grupo, de las cuales 96 se consideran recientemente extintas (Burgin *et al*. 2018). Con relación a esta diversidad de mamíferos, México ocupa el tercer lugar a nivel mundial con aproximadamente 530 especies (Ceballos 2014, Sánchez-Cordero *et al*. 2014), destacando la presencia de un alto número de especies endémicas al territorio nacional.

En Baja California Sur, se agrupan en 7 órdenes, 29 familias, 69 géneros y 104 especies (Cortés-Calva *et al*. 2016); es decir, en la región se distribuye cerca de 20% de especies de mamíferos del país. Los estudios de la biota de la región indican que en su mayoría se trata de linajes que tienen su origen en el norte del continente americano (Hafner y Riddle 1997, 2005). Los grupos (órdenes) de mamíferos mejor representados en términos de riqueza de especies son los roedores y los murciélagos (Cortés-Calva *et al*. 2016).

Península de Baja California

Se ubica en el noroeste de México y se extiende a lo largo de 9 grados de la latitud (22º 52' N y 32º 42' N), presenta una forma alargada latitudinalmente (~1 300 km) y estrecha longitudinalmente (~80 km). Esta península es la segunda más extensa y es geográficamente la más aislada del mundo (Savage 1960, Álvarez y Lachica 1974); tiene una superficie aproximada de 145 359 km^2 (González-Abraham *et al*. 2010) y una línea de costa de 33 624 km (equivalente a 33% de la costa de México; INEGI 2010).

La región experimentó cambios ambientales abruptos como consecuencia de intensos procesos geológicos y climáticos (Riddle y Hafner 2006), lo que propició una historia geológica y paleo-climática muy peculiar (Carreño y Helenes 2002, Dolby *et al*. 2015). Estos eventos geológicos y paleo-climáticos han tenido un efecto profundo sobre los patrones de distribución geográfica de la biota peninsular (Álvarez-Castañeda y Murphy 2014), así como influencia en la divergencia de linajes de mamíferos por la formación de barreras físicas que impiden el flujo de genes entre poblaciones y que han originado la división de la distribución geográfica de los organismos en tres intervalos de tiempo: 1) Neógeno (ocurrido hace 23 millones de años -Ma- y hasta 5.33 Ma atrás), 2) Pleistoceno temprano (2.58 - 0.77 Ma), y 3) Pleistoceno tardío (126 000 - 11 700 años; Hafner y Riddle 2005).

Recopilación y análisis de la información

Con la finalidad de recopilar la información disponible sobre la variación genética de los mamíferos en la entidad, se realizó una búsqueda de la literatura especializada a través de plataformas electrónicas: Web of Science, Scopus y Google Académico. En esta búsqueda se empleó una combinación de palabras: *genetic diversity*, *mammals* y Baja California Sur; el periodo de búsqueda fue de 1974 a 2019. Esta información se cotejó y complementó con otros dos estudios donde se han analizado publicaciones sobre estudios genéticos de mamíferos en la entidad (Segura-Trujillo *et al*. 2012, Dolby *et al*. 2015). Con base en ello, se generó una lista de especies cotejada y actualizada de acuerdo con la nomenclatura taxonómica propuesta

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

por Ramírez-Pulido y colaboradores (2014). Posteriormente, se elaboró una base de datos donde se recabó información sobre los grupos taxonómicos estudiados (a nivel de órdenes, familias, géneros y especies). Se recopiló información sobre los tópicos o temas de estudio, los genes empleados, el número de localidades y región de la entidad donde se llevaron a cabo las diferentes investigaciones (apéndice 49).

Resultados

La primera publicación científica sobre aspectos genéticos en mamíferos en el territorio sudcaliforniano data de 1974. En el periodo 1974-2019 se recopilaron 60 estudios publicados en revistas (58), libros (1) y capítulos de libros (1), donde se abordan diferentes aspectos relacionados con la diversidad genética. Los marcadores genéticos empleados en estos trabajos son diversos e incluyen alozimas, cromosomas, secuencias de ADN mitocondrial, genes nucleares, *loci* de microsatélites y polimorfismos de nucleótido simple (SNP por sus siglas en inglés; apéndice 49).

Los siete órdenes taxonómicos reconocidos para la entidad se encuentran representados con al menos una publicación científica. La amplia mayoría de los trabajos se realizaron en mamíferos terrestres (78.33%) en comparación con los estudios genéticos sobre mamíferos marinos (21.67%). De acuerdo con esta revisión, los órdenes mejor representados en los estudios genéticos son Rodentia (roedores) y Lagomorpha (liebres y conejos; figura 1). Es evidente que existen sesgos y falta de información para las especies medianas y grandes, así como para el grupo de los murciélagos (Chiroptera). En el caso de los mamíferos marinos, las especies estudiadas pertenecen a los órdenes Cetacea (ballenas, delfines y parientes) y Carnivora (felinos, cánidos, osos y parientes; figura 1). Respecto a la temporalidad en el número de publicaciones científicas es evidente que éstas se han incrementado de a partir del 2000 (figura 2).

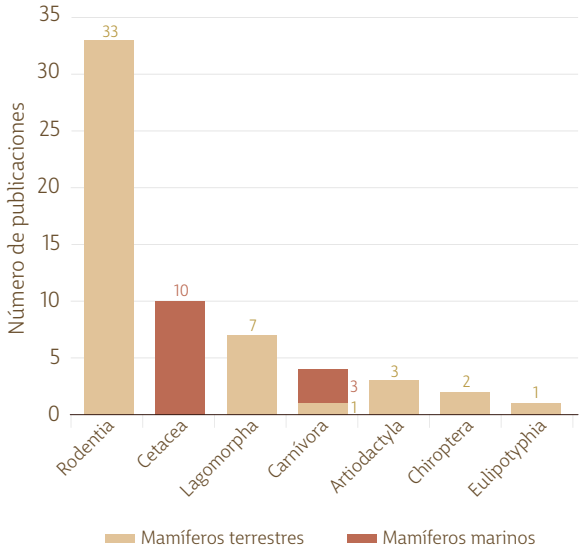


Figura 1. Publicaciones científicas sobre aspectos genéticos en siete órdenes de mamíferos terrestres y marinos presentes en Baja California Sur. Fuente: elaboración propia.

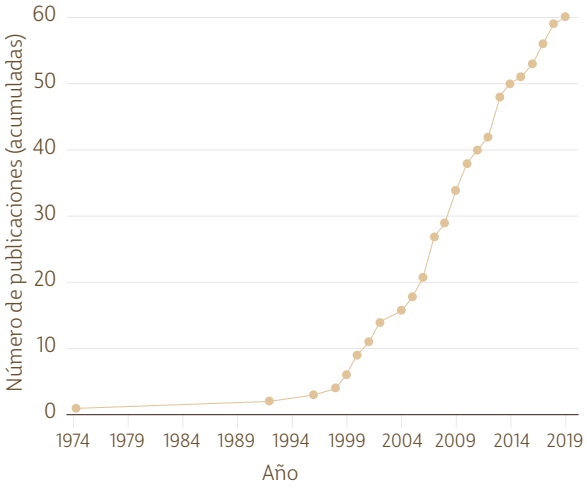


Figura 2. Acumulado de publicaciones (en un periodo de 45 años) sobre aspectos genéticos de mamíferos que habitan en la entidad. Fuente: elaboración propia.

Discusión

Los mamíferos representan uno de los grupos de vertebrados mejor estudiados con respecto a su diversidad, distribución e importancia ecológica. Sin embargo, el componente genético históricamente ha sido el menos estudiado, debido a que las políticas de conservación de la biodiversidad tradicionalmente se centran en el número de especies en una región o localidad. Por lo anterior, se carece de una evaluación integral de la diversidad genética de las especies a nivel regional y global (Garner *et al.* 2005), además de que existen grupos taxonómicos pobremente representados (Vázquez-Domínguez y Hafner 2006).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Mamíferos terrestres

En esta revisión se observaron sesgos a favor de los órdenes Rodentia y Lagomorpha, al ser los grupos mejor representados. Si bien, esta situación puede representar limitaciones por la disparidad entre el número de especies estudiadas y el número de especies presentes en la región, es importante señalar que estos trabajos han aportado información importante para establecer las bases del conocimiento biogeográfico y evolutivo en la península (Hafner y Riddle 2005).

Dentro de los roedores, las familias Cricetidae, Heteromyidae y Sciuridae, destacan como modelos de estudio para poner a prueba hipótesis biogeográficas y evolutivas en la península. Estos roedores tienen poca capacidad de movimiento, presentan marcadas diferencias ecológicas y de comportamiento, además de que a nivel de especies exhiben distintos patrones de distribución por la presencia de endemismos en la península en distintas escalas geográficas (Álvarez-Castañeda y Patton 1999, Cortés-Calva *et al.* 2016). Empleando como modelo de estudio los roedores, se identificaron al menos tres áreas donde se ha segregado la distribución de los organismos a lo largo de la península en diferentes periodos de tiempo (Riddle *et al.* 2000c). Los eventos que han separado la distribución de los organismos corresponden a: 1) la formación del río Colorado, que separó a las poblaciones continentales del este con respecto a las poblaciones del oeste de la península; 2) la formación del pasaje marino del Vizcaíno, que fragmentó la distribución de la biota en la parte media de la península; y 3) el istmo de La Paz que restringió la distribución de especies en la región Los Cabos (Riddle y Hafner 2006). En diferentes análisis filogenéticos con especies de pequeños mamíferos de la Península de Baja California, se ha recobrado esta historia biogeográfica a través de la conformación de linajes concordantes con los eventos que fragmentaron su distribución (Riddle *et al.* 2000a, b, Cornejo-Latorre *et al.* 2017).

Adicionalmente, los análisis genéticos comparativos que emplearon como modelos de estudio a roedores (*Peromycus fraterculus*, *P. eva*, *Chaetodipus arenarius*, *C. rudinoris*, *Dipodomys merriami* y *Ammospermophilus leucurus*) aportan información que ayuda a comprender cómo los cambios geológicos y/o climáticos afectaron profundamente la diversidad y la estructura genética de sus poblaciones, además de revelar patrones evolutivos similares en organismos que presentan requerimientos ecológicos dispares (Riddle *et al.* 2000a, b, c, Zink 2002, Leaché *et al.* 2007). Estos trabajos contribuyen a lograr un mejor entendimiento de la historia biogeográfica de la península, al considerarla como un desierto regional único y con una historia evolutiva independiente, lo cual le confiere una gran importancia para su conservación (Riddle *et al.* 2000c Riddle y Hafner 2006).

Por otra parte, en diferentes estudios evolutivos se han identificado al menos tres patrones genéticos para las especies de mamíferos terrestres de la península. Estos patrones representan discordancias genéticas, inferidas generalmente con secuencias de ADN mitocondrial, en la región El Vizcaíno, el istmo de La Paz y en el norte de la península (Riddle *et al.* 2000c). Las discontinuidades genéticas se manifiestan en: 1) la presencia de especies de mamíferos restringidas a la región Los Cabos (*Peromyscus truei*, *Sylvilagus bachmani* y *Thomomys nigricans*; Álvarez Castañeda y Patton 2004, Trujano-Alvarez y Álvarez-Castañeda 2013); 2) la separación de los grupos genéticos del norte de la península con respecto a los del sur; y 3) la subdivisión de las poblaciones continentales y las poblaciones peninsulares en grupos genéticos independientes (Riddle *et al.* 2000c).

Otra de las implicaciones en los estudios genéticos de los mamíferos en la entidad es la identificación de especies cripticas (aquellas especies que son morfológicamente muy similares, pero que son genéticamente diferentes) con base en el uso de herramientas moleculares, particularmente el código de barras (Álvarez-Castañeda *et al.* 2012, Cortés-Calva 2017). La identificación taxonómica de las especies de mamíferos en el territorio sudcaliforniano inicialmente se basó exclusivamente en el uso de caracteres morfológicos (p.e. coloración del pelaje, medidas cráneodentales y otras medidas corporales). Sin embargo, es importante considerar que el proceso de formación de especies no siempre se manifiesta a través de cambios morfológicos, por lo que el uso exclusivo de estos caracteres puede conllevar a una subestimación del número real de especies en una región (Bickford *et al.* 2007). Por ejemplo, en los roedores del complejo *Chaetodipus* de la península, empleando secuencias de ADN mitocodrial del gen COI, se identificaron linajes

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

genéticamente divergentes (de entre 5.8 y15.8%), los cuales corresponden a especies distintas (Álvarez-Castañeda *et al*. 2012). Estas mediciones se infieren por medio de la distancia genética entre especies o poblaciones con base en la acumulación de las diferencias o mutaciones de los nucleótidos entre las secuencias de ADN estudiadas.

Por otra parte, los trabajos genéticos de los mamíferos insulares presentes en Baja California Sur se enfocan en evaluar las afinidades evolutivas y el estatus taxonómico de las poblaciones de las islas respecto a sus contrapartes continentales (Hafner *et al*. 2001, Walker *et al*. 2006). Estudios ponen a prueba hipótesis biogeográficas con respecto al origen histórico de los mamíferos insulares (Álvarez-Castañeda y Murphy 2014, Álvarez-Castañeda y Lorenzo 2017). De manera general, se reconoce que los mamíferos insulares se aislaron recientemente, hace 11 000 a 5 000 años (Álvarez-Castañeda y Murphy 2014), como consecuencia del aumento en el nivel medio del mar durante el último máximo glacial (hace 26 500 años) y el inicio del proceso de desertificación en la península. La distribución actual de los mamíferos insulares, así como su variación y diferenciación genética probablemente se relaciona con la manera en que las poblaciones arribaron a las islas continentales y oceánicas, ya sea por medio de eventos de dispersión, o bien, por la fragmentación de su distribución histórica a partir de poblaciones ancestrales ampliamente distribuidas en la península (Hafner *et al*. 2001, Cornejo-Latorre *et al*. 2017).

Mamíferos marinos

Las investigaciones genéticas reflejan la gran diversidad de formas, funciones ecológicas, comportamiento y patrones de distribución del grupo. En el caso de los pinnípedos (incluye a las morsas, focas y lobos marinos) se evalúa a los cuellos de botella genéticos (la reducción drástica del tamaño poblacional de una especie) como consecuencia de la sobreexplotación histórica que los ha llevado al borde la extinción durante los últimos 200 años (Piñero *et al*. 2008). Sin embargo, la histórica sobreexplotación durante los siglos XIX y XX aparentemente no causó un cuello de botella genético en la población del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en el golfo de California (González-Suárez *et al*. 2010).

Por otra parte, la mayoría de las investigaciones en cetáceos (ballenas, delfines y vaquita marina) en la entidad corresponden a análisis sobre genética de poblaciones en los cuales se evalúan genes relacionados con la respuesta inmune de los organismos (Doherty y Zinkernagel 1975). En la ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*) los bajos niveles de polimorfismo de dichos genes sugieren que la población del golfo de California es muy pequeña, de aproximadamente 400 individuos (Bérubé *et al*. 2002), y que permanece aislada genéticamente con respecto a otras (Nigenda-Morales *et al*. 2008).

Conclusiones

De manera general, se puede considerar que el conocimiento actual sobre aspectos de diversidad genética de los mamíferos en Baja California Sur es relevante. La información generada es el resultado de distintos esfuerzos de instituciones académicas e investigadores interesados en la mastofauna y la historia biogeográfica de la península desde hace 45 años, cuando aparece la primera publicación científica formal.

Entre los retos a resolver en el ámbito de los análisis de la diversidad genética de los mamíferos se encuentran el evitar los sesgos con respecto a los grupos taxonómicos tradicionalmente estudiados. Es necesario diseñar trabajos genéticos para aquellas especies de talla grande y para aquellas consideradas como raras, que permanecen en alguna categoría de riesgo, como la zorrita del desierto (*Vulpes macrotis*) clasificada como amenazada conforme a la NOM-059 (SEMARNAT 2010). Es deseable, además, explorar hipótesis biológicas sobre la variabilidad genética relacionada con el estado de salud de las especies de mamíferos, como recientemente se ha comenzado a realizar en poblaciones de la ballena piloto (*Globicephala macrorhynchus*) en la entidad (Van-Cise *et al*. 2019).

El conocimiento detallado y actualizado sobre la diversidad genética de los mamíferos sudcalifornianos podría mejorar la comprensión de las consecuencias ecológicas y evolutivas sobre este componente de la biodiversidad, además de contribuir en la implementación de estrategias de conservación más adecuadas, lo que incide en el mantenimiento de los servicios y beneficios que se derivan del correcto funcionamiento de los ecosistemas.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Álvarez, T. y F. Lachica. 1974. Zoogeografía de los vertebrados de México. En: *El escenario geográfico*. Vol. II. T.A. González, T. Álvarez y F. Lachica (eds.). SEP/INAH, México, pp. 219-302.

Álvarez-Castañeda, S.T. y C. Lorenzo. 2017. Phylogeography and phylogeny of *Lepus californicus* (Lagomorpha: Leporidae) from Baja California Peninsula and adjacent islands. *Biological Journal of the Linnean Society* 121:15-27.

Álvarez-Castañeda, S.T. y R.W. Murphy. 2014. The endemic insular and peninsular species *Chaetodipus spinatus* (Mammalia, Heteromyidae) breaks patterns for Baja California. *PLOS ONE* 9:e116146.

Álvarez-Castañeda, S.T. y J.L. Patton. 1999. *Mamíferos del noroeste de México*. CIBNOR, La Paz.

—. 2004. Geographic genetic architecture of pocket gopher (*Thomomys bottae*) populations in Baja California, Mexico. *Molecular Ecology* 13:2287-2301.

Álvarez-Castañeda, S.T., C. Lorenzo, E. Rios *et al*. 2012. DNA Barcoding of mammals in Mexico: implications for biodiversity. *The Open Zoology Journal* 5:18-26.

Bérubé, M., J. Urbán-R., A.E. Dizon *et al*. 2002. Genetic identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, México. *Conservation Genetics* 3:183-190.

Bickford, D., D.J. Lohman, N.S. Sodhi *et al*. 2007. Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 22:148-155.

Burgin, C.J., J.P. Colella, P.L. Kahn y N.S. Upham. 2018. How many species of mammals are there? *Journal of Mammalogy* 99:1-14.

Carreño, A.L. y J. Helenes. 2002. Geology and ages of the islands. En: *A new island biogeography in the Sea of Cortés*. T.J. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra (eds.). Oxford University Press, Oxford, pp. 14-40.

Ceballos, G. 2014. *Mammals of Mexico*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Cornejo-Latorre, C. y S.T. Álvarez-Castañeda. 2016. Sistemática filogenética, filogeografía y ecología molecular: su importancia para el estudio actual de la biodiversidad. *Ciencias* 120-121:128-137.

Cornejo-Latorre, C., J.M. Calderón-Patrón y L. Suárez-Ramírez. 2014. Los servicios ambientales y la biodiversidad. *Investigación Ambiental* 6:53-60.

Cornejo-Latorre, C., P. Cortés-Calva y S.T. Álvarez-Castañeda. 2017. The evolutionary history of the subgenus *Haplomylomys* (Cricetidae: *Peromyscus*). *Journal of Mammalogy* 98:1627-1640.

Cortés-Calva, P. 2017. Molecular ecology and phylogenetic systematics: approaches to the conservation genetics of mammals. *Therya* 8:1-2.

Cortés-Calva P., A. Gutiérrez-Ramos, M. de La Paz-Cuevas *et al*. 2016. Mamíferos de Baja California Sur: actualidad y perspectivas. *En: Riqueza y conservación de los mamíferos en México a nivel estatal*. M. Briones-Salas, Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota *et al*. (eds.). Instituto de Biología-UNAM/Asociación Mexicana de Mastozoología A.C./Universidad de Guanajuato, México, pp. 91-128.

Doherty, P.C. y R.M. Zinkernagel. 1975. A biological role for the major histocompatibility antigens. *Lancet* 1:1406-1409.

Dolby, G.A., S.E.K. Bennett, A. Lira-Noriega *et al*. 2015. Assessing the geological and climatic forcing of biodiversity and evolution surrounding the Gulf of California. *Journal of the Southwest* 57:391-455.

Frankham, R., J.D. Balou y D.A. Briscoe. 2010. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press, Nueva York.

Garner, A., J.L. Rachlow y J.F. Hicks. 2005. Patterns of genetic diversity and its loss in mammalian populations. *Conservation Biology* 19:1215-1221.

González-Abraham, C.E., P. Garcillán, E. Ezcurra y El Grupo de Trabajo de Ecorregiones. 2010. Ecorregiones de la Península de Baja California: una síntesis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 87:69-82.

González-Suárez, M., D. Aurioles-Gamboa y L.R. Gerber. 2010. La explotación histórica del lobo marino de California no causó un cuello de botella genético en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 36:199-211.

Hafner, D.J. y B.R. Riddle. 1997. Biogeography of Baja California Peninsula Desert mammals. En: *Life among the muses: papers in honor of James S. Findley*. T.L. Yates, W.L. Gannon y D.E. Wilson (eds.). The University of New Mexico, Albuquerque, pp. 39-68.

—. 2005. Mammalian phylogeography and evolutionary history of northern Mexico's deserts. En: *Biodiversity, ecosystems, and conservation in northern Mexico*. J.L. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger (eds.). Oxford University Press, Nueva York, pp. 225-245.

Hafner, D.J., B.R. Riddle y S.T. Álvarez-Castañeda. 2001. Evolutionary relationships of white-footed mice (*Peromyscus*) on the islands in the Sea of Cortéz, Mexico. *Journal of Mammalogy* 82:775-790.

Hughes, A.R., B.D. Inouye, M.T.J. Johnson *et al*. 2008. Ecological consequences of genetic diversity. *Ecology Letters* 11:609-623.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. *Estadísticas históricas de México 2009*. INEGI, Aguascalientes.

Klimova, A., A. Munguia-Vega, J.I. Hoffman *et al*. 2014. Genetic diversity and demography of two endangered captive pronghorn subspecies from the Sonoran Desert. *Journal of Mammalogy* 95:1263-1277.

Leaché, A.D., S.C. Crews y M.J. Hickerson. 2007. Two waves of diversification in mammals and reptiles of Baja California revealed by hierarchical Bayesian analysis. *Biology Letter* 3:646-650.

Millette, K.T., V. Fugère, C. Debyser *et al*. 2019. No consistent effects of humans on animal genetic diversity. *Ecology Letters* 23:55-67.

Nigenda-Morales, S., S. Flores-Ramírez, J. Urbán-R. *et al*. 2008. MHC DQB-1 polymorphism in the Gulf of California fin whale (*Balaenoptera physalus*) population. *Journal of Heredity* 99:14-21.

Piñero, D., J. Caballero-Mellado, D. Cabrera-Toledo *et al*. 2008. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En: *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, pp. 437-494.

Ramírez-Pulido, J., N. González-Ruiz, A.L. Gardner y J. Arroyo-Cabrales. 2014. *List of recent land mammals of Mexico, 2014*. Texas Tech University Natural Science Research Laboratory, Texas.

Riddle, B.R. y D.J. Hafner. 2006. Biogeografía histórica de los desiertos cálidos de Norteamérica. En: *Genética y mamíferos mexicanos: presente y futuro*. E. Vázquez-Domínguez y D.J. Hafner (eds.). New Mexico Museum of Natural History and Science, Albuquerque, pp. 57-65.

Riddle, B.R., D.J. Hafner y L.F. Alexander. 2000a. Comparative phylogeography of Baileys' pocket mouse (*Chaetodipus baileyi*) and the *Peromyscus eremicus* species group: historical vicariance of the Baja California Peninsular Desert. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 17:161-172.

Riddle, B.R., D.J. Hafner y L.F. Alexander. 2000b. Phylogeography and systematics of the *Peromyscus eremicus* species group and the historical biogeography of North American warm regional deserts. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 17:145-160.

Riddle, B.R., D.J. Hafner, L.F. Alexander y J.R. Jaeger. 2000c. Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California peninsula desert biota. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97:14438-14443.

Rosel, P. y L. Rojas-Bracho. 1999. Mitochondrial DNA variation in the critically endangered vaquita, *Phocoena sinus*. *Marine Mammal Science* 15:990-1003.

Sánchez-Cordero, V., F. Botello, J.J. Flores-Martínez *et al*. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:496-504.

Savage, J.M. 1960. Evolution of a peninsular herpetofauna. *Systematic Zoology* 9:184-212.

Segura-Trujillo, C.A., E.F. Aguilera Miller y S.T. Álvarez Castañeda. 2012. Diversidad genética en Sierra La Laguna, Baja California Sur, México. En: *Evaluación de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: avances y retos*. A. Ortega-Rubio, M. Lagunas-Vázques y L.F. Beltrán-Morales (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 221-248.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Trujano-Alvarez, A.L. y S.T. Álvarez-Castañeda. 2013. Phylogenetic structure among pocket gopher populations, genus *Thomomys* (Rodentia: Geomyidae), on the Baja California Peninsula. *Zoological Journal of the Linean Society* 168:873-891.

Van-Cise, A.M., R.W. Baird, C.S. Baker *et al*. 2019. Oceanographic barriers, divergence, and admixture: phylogeography and taxonomy of two putative subspecies of short-finned pilot whale. *Molecular Ecology* 28(11):2886-2902.

Vázquez-Domínguez, E. y D.J. Hafner. 2006. *Genética y mamíferos mexicanos: presente y futuro*. New Mexico Museum of Natural History and Science, Albuquerque.

Walker, M.L., S.E. Chirhart, A.F. Moore *et al*. 2006. Genealogical concordance and the specific status of *Peromyscus sejugis*. *Journal of Heredity* 97:340-345.

Zink, R.M. 2002. Methods in comparative phylogeography, and their application to studying evolution in the North American aridlands. *Integrative and Comparative Biology* 42:953-959.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Diversidad genética de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el golfo de California

Fausto Valenzuela Quiñonez, Juan Antonio De Anda Montañez y Francisco Javier García De León

Introducción

La totoaba (*Totoaba macdonaldi*) es una especie endémica y mítica del golfo de California (figura 1). Es un pez que puede llegar a medir dos metros y vivir más de 25 años, su madurez sexual la alcanza aproximadamente a los siete años (Cisneros-Mata *et al.* 1995, Román-Rodríguez y Hammann 1997, De Anda Montañez *et al.* 2013). La distribución es desde el delta del río Colorado hasta el río Fuerte en Sinaloa, por el lado continental del golfo de California, y hasta bahía Concepción, Baja California Sur, por la costa de la península (figura 2; Arvizu y Chávez 1972, Cisneros-Mata *et al.* 1995).

Figura 1. Organismo adulto de totoaba (*T. macdonaldi*). Foto: Fausto Valenzuela Quiñonez.

Valenzuela-Quiñonez, F., J.A. De Anda-Montañez y F.J. García-De León. 2025. Diversidad genética de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el golfo de California. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 124-133.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

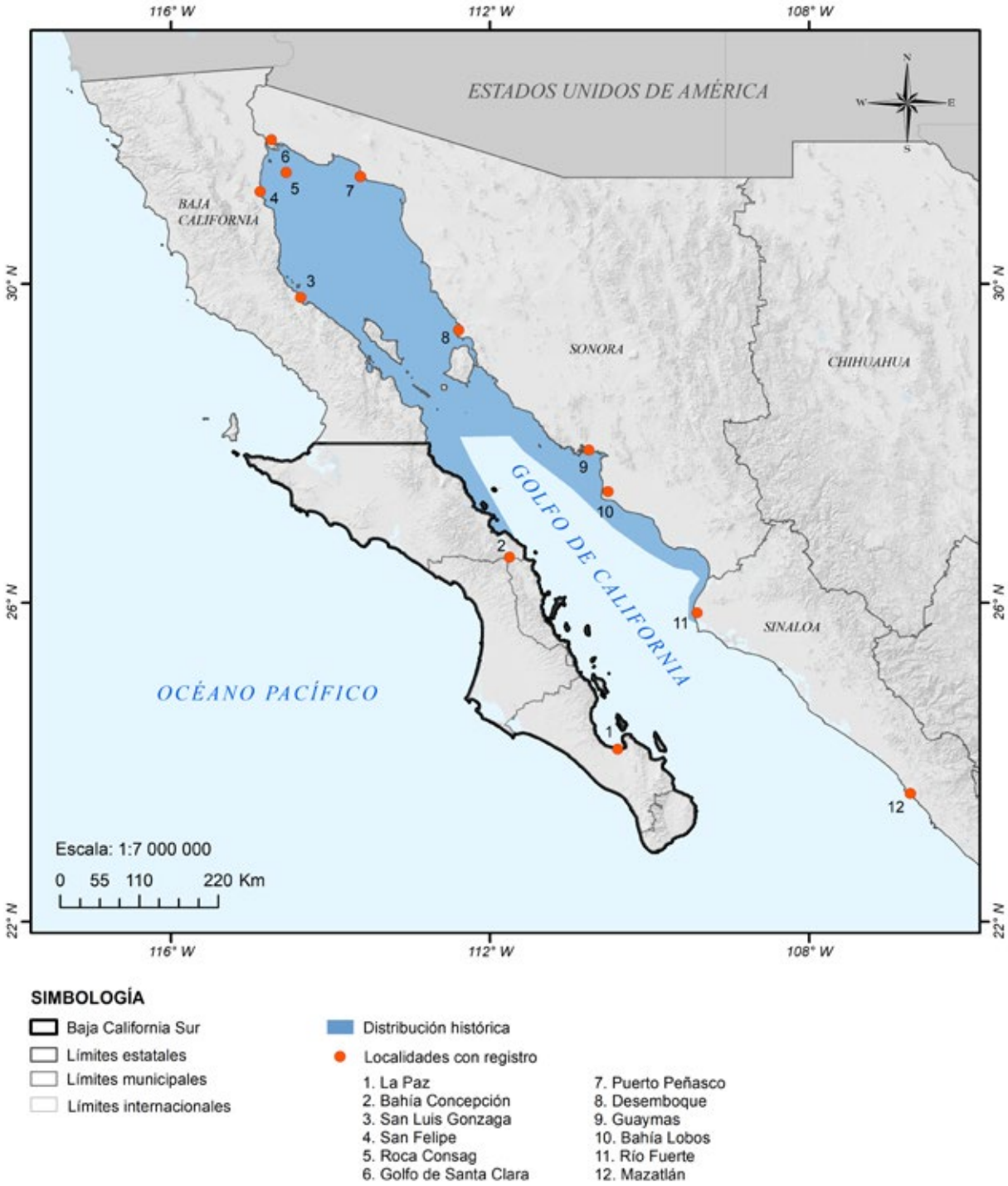


Figura 2. Distribución histórica de la totoaba (*T. macdonaldi*) en el golfo de California. Fuente: modificado de Cisneros-Mata *et al.* 1995.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Sin embargo, investigaciones recientes demuestran nuevos registros hasta Mazatlán (Sinaloa), y bahía de la Paz (Baja California Sur; Rodríguez-García *et al*. 2019). La confirmación de la especie en bahía de la Paz se basa en la corroboración genética con el gen 16S del ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés) mitocondrial; el grado de similitud de las secuencias de 16S de los organismos colectados es de 100% con *T. macdonaldi* de acuerdo con la base de datos genómicos del National Center for Biotechnology Information (NCBI). Asimismo, del análisis que se realizó para identificar la relación entre las diferentes especies de la familia Sciaenidae del golfo de California con las secuencias de los individuos recolectados en La Paz, se observó que estas últimas se agrupan con las secuencias previamente reportadas para totoaba, confirmando así la identidad de la especie (figura 3). El trabajo que analiza la ampliación de su distribución geográfica de totoaba se encuentra en proceso de publicación.

La totoaba presenta un patrón migratorio a lo largo del golfo de California. Desde finales de invierno y hasta inicios de primavera (enero-abril), los organismos adultos llegan para formar agregaciones reproductivas al Alto Golfo de California en aguas someras e incluso en los esteros remanentes de lo que fue el delta de río Colorado; posterior a la etapa reproductiva, los adultos migran al sur aparentemente por la

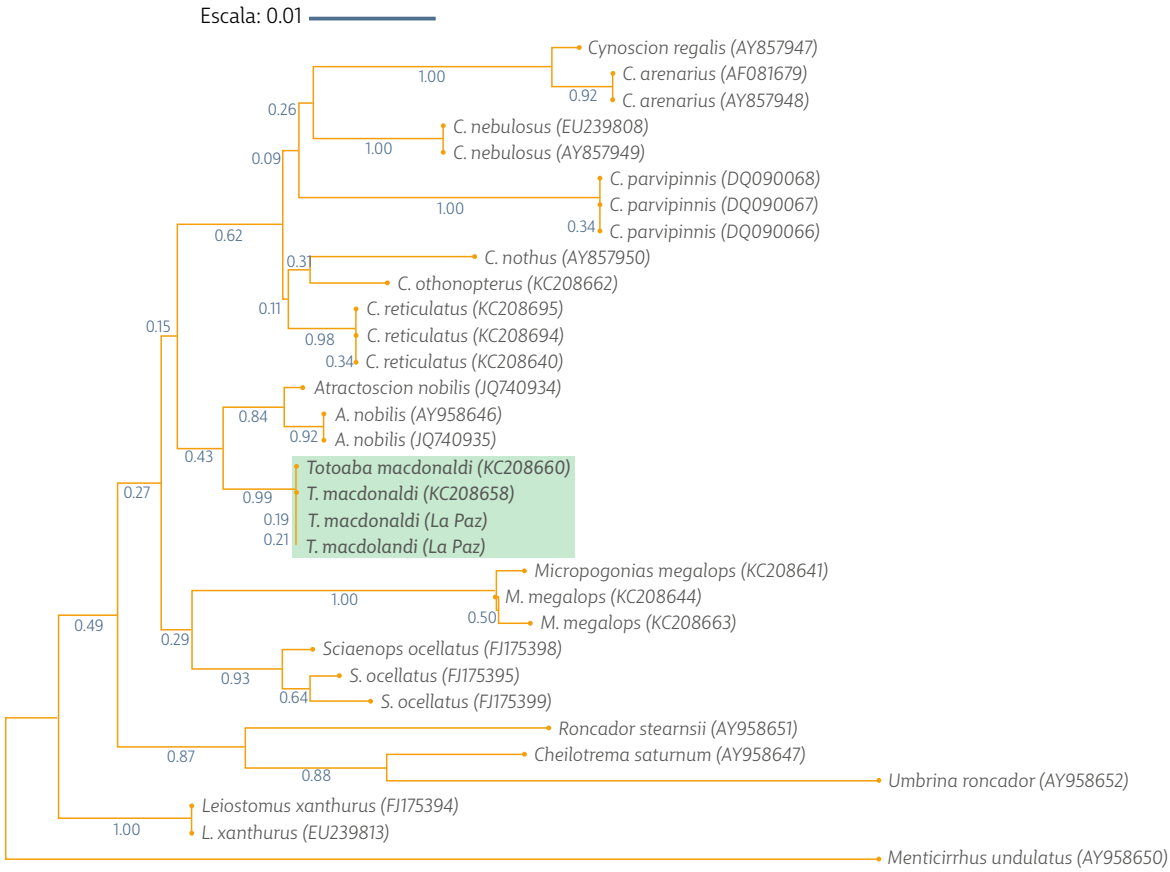


Figura 3. Árbol reconstruido por el método del vecino más cercano (*Neighbor-Joining*) y usando el gen 16S del ADN mitocondrial para especies de peces de la familia Sciaenidae. Los números en la base de las ramificaciones (que van de 0 a 1) indican la proporción de soporte estadístico de la bifurcación, donde los valores altos denotan mayor certeza en la configuración de rama. El área verde indica secuencias de las totoabas previamente reportadas y las correspondientes a bahía de la Paz. Entre paréntesis se encuentra el número de acceso de secuencias de la base GenBank-NCBI. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

costa peninsular hasta la región de las grandes islas, donde encuentran condiciones ideales de alimento y temperatura para subsistir el resto del año. Cabe señalar que, los hallazgos reportados en la bahía de La Paz, sugieren que este patrón de migración hacia el sur es más amplio de lo que se tenía pensado. Por su parte, en otoño (finales de octubre a diciembre), los juveniles presentan una migración costera por el sur y norte de Sinaloa (Cisneros-Mata *et al.* 1995, 1997, Valenzuela-Quiñonez *et al.* 2015). Asimismo, se tienen reportes de que la especie presenta migraciones verticales asociadas a la búsqueda de dos elementos: masas de agua entre 21 y 23ºC, y la potencial distribución de presas en la columna de agua (Hernández-Tlapale *et al.* 2020).

Su pesquería inició a principios del siglo XX y promovió el desarrollo de diversas comunidades pesqueras en el Alto Golfo de California como en las localidades de Puerto Peñasco y el Golfo de Santa Clara, Sonora, así como en San Felipe, Baja California (Chute 1928). Las capturas de totoaba alcanzaron un máximo de ~2 000 t en la década de los cuarenta y posteriormente cayeron a ~52 t en 1975 tras declararse una veda permanente en ese año, la cual permanece vigente hasta la actualidad (figura 4; Flanagan y Hendrickson 1976). Debido a la fuerte disminución de las capturas, fue el primer pez mexicano en ingresar como en peligro de extinción en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) en 1976 y posteriormente, también se incorporó como en peligro de extinción en el Acta de Especies en Peligro de Extinción (ESA) de Estados Unidos de América en 1979 (Barrera-Guevara 1990). Desde 1996, se cataloga como en peligro crítico, dentro de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN; Findley 2010) y actualmente, se encuentra como especie en peligro de extinción por la NOM-059 (SEMARNAT 2010).

Hipótesis de colapso poblacional

Existen diversas hipótesis asociadas a la fuerte disminución poblacional de la especie. Por un lado, se atribuye que la principal causa fue la sobrepesca, aunque no se cuentan con registros confiables del esfuerzo pesquero de la época para poder dar una aproximación precisa de su contribución al colapso (Flanagan y Hendrickson 1976, Lercari y Chávez 2007). Otro factor fue la degradación de hábitat por el represamiento del Río Colorado, al construir la presa Hoover en la década de los treinta. Esto provocó un profundo cambio de las condiciones del delta del río Colorado, pasando de una condición estuarina a condiciones anti-estuarinas; de hecho, se aprecia una relación desfasada donde las capturas siguen un patrón similar a la disminución del flujo de agua dulce del río (Cisneros-Mata *et al.* 1995, Lercari y Chávez 2007).

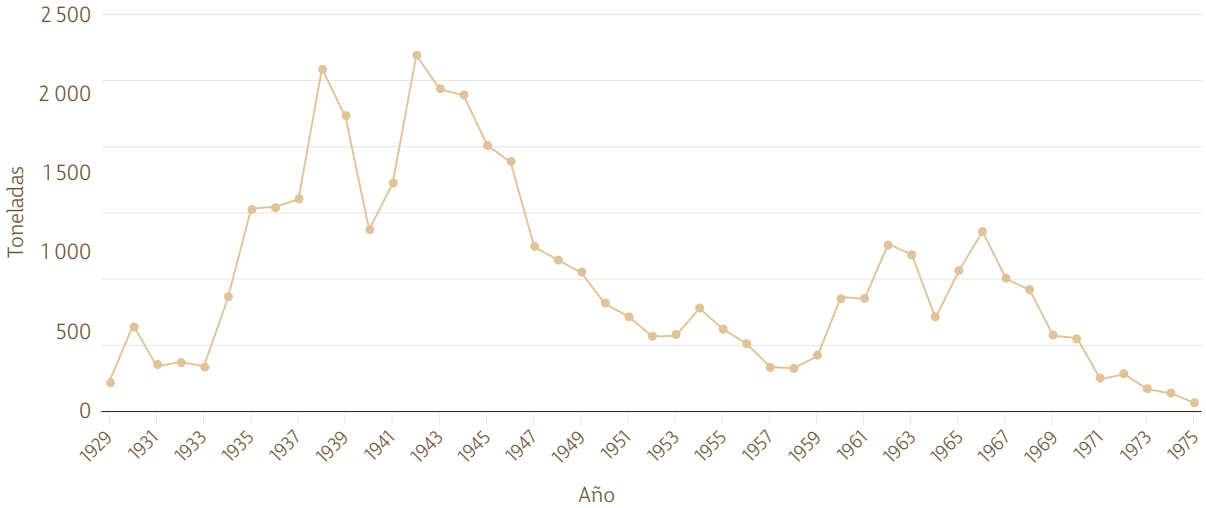


Figura 4. Registro histórico de las capturas de totoaba (*T. macdonaldi*). Fuente: Arvizu y Chávez 1972.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Aunado a esto, existe evidencia de que la totoaba crecía a una mayor tasa en hábitats estuarinos (antes del represamiento) que los organismos contemporáneos (Rowell *et al*. 2008a, b). Finalmente, otro factor que incidió fue el inicio de la pesca de arrastre de camarón, afectando a los juveniles (Cisneros-Mata *et al*. 1995). Algunas estimaciones recientes muestran que la mortalidad es de alrededor de 80 mil a 120 mil organismos juveniles al año por esta causa (García-Caudillo *et al*. 2000, INAPESCA y SAGARPA 2018).

Con la información histórica y actual no es posible discernir el porcentaje de contribución de cada factor a la disminución de la población, pero sí permite deducir que la interacción entre sobrepesca, degradación de hábitat y pesca incidental contribuyeron al colapso de la población (Valenzuela-Quiñonez *et al*. 2011). Ante este escenario, algunos estudios recientes se enfocan en evaluar los efectos más profundos que implicaron el colapso de la población, como lo es la pérdida de diversidad genética y por ende la viabilidad de la especie. A continuación, se describen los resultados más relevantes.

Estudios de genética poblacional

Los estudios genéticos empiezan a dar luz sobre la condición de la población de totoaba. Al momento, para la especie se desarrollaron marcadores moleculares tipo microsatélites (García-De León *et al*. 2010), los cuales son secuencias repetidas de ADN en sitios específicos del genoma (*locus*), así como estudios de genética de poblaciones silvestres empleando diversos marcadores moleculares (microsatélites, genes 16S, COI y la región control del ADN mitocondrial; Valenzuela-Quiñonez *et al*. 2014, 2016). Estos trabajos brindan indicios relevantes para la conservación y el manejo de *T. macdonaldi*. La investigación generada hasta el momento aborda básicamente cuatro preguntas: ¿cuál es la diversidad genética de la totoaba?; ¿cuántas poblaciones hay en el golfo de California?; ¿existen evidencias de que la disminución poblacional de *T. macdonaldi* durante el siglo pasado impactó en su diversidad genética?; y ¿el tamaño efectivo poblacional[1] actual (y por ende su diversidad genética) es suficientemente grande para evitar el efecto de la deriva genética y permanecer en el largo plazo?

Diversidad

La diversidad genética es un indicativo del estado de salud de las poblaciones, debido a que se relaciona íntimamente al tamaño efectivo poblacional. En especies que se encuentran en peligro crítico de extinción, cuyas poblaciones han sido severamente disminuidas, se esperan niveles de diversidad genética bajos. En el caso de la totoaba se analizaron 16 *loci* microsatelites, los cuales arrojaron en promedio 8.31 alelos por *locus* y valores de heterocigocidad observada y esperada de 0.65 (cuadro 1).

Estos valores resultaron similares a otras especies de la familia con importancia comercial y que cuentan con poblaciones abundantes; es decir, la diversidad contenida en la población de totoaba es similar a poblaciones saludables con características de historia de vida similares. Asimismo, la diversidad genética de la especie se encuentra por arriba del promedio reportado para peces de agua dulce, en un rango similar al obtenido para especies de peces anadrómos (que migran de aguas saladas a aguas dulces para reproducirse) y solo por debajo del de peces marinos (cuadro 1).

La elevada diversidad genética nuclear también se corroboró a nivel de ADN mitocondrial basado en un fragmento concatenado de los genes 16S, COI y región control (quienes en conjunto formaron un fragmento de 1846 pb). Mediante diferentes mediciones de diversidad genética (p.e. número de haplotipos y sitios segregantes, diversidad haplotípica y nucleotídica), se observaron niveles altos de diversidad en todas las localidades muestreadas (cuadro 2, figura 2). Estos valores de diversidad en el ADN mitocondrial fueron inesperados, debido a que suelen presentarse en poblaciones en procesos de expansión demográfica reciente, lo cual es alentador para la población presuntamente crítica.

1 El tamaño efectivo poblacional (Ne) se refiere a un número teórico de individuos en una población ideal (Fisher-Wright), es decir, es el número de reproductores que dejan descendencia (se reproducen) generación tras generación y explica el nivel de diversidad genética contenida en una población. Poblaciones con tamaños efectivos grandes (p.e. mayores a 500) cuentan con una mayor diversidad genética que poblaciones con tamaños efectivos pequeños (p.e. menores a 100).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Diversidad genética de totoaba (*T. macdonaldi*) para 16 *loci* microsatélites y diversidad genética promedio con *loci* microsatélites para la familia Sciaenidae, peces de agua dulce, anádromos y marinos.

Taxa	Número de *loci* microsatélites	Promedio de alelos	Heterocigocidad observada (H_o)	Heterocigocidad esperada (H_e)
Totoaba macdonaldi	16	8.31	0.65	0.65
Promedio Sciaenidae		10.70	0.71	0.72
Peces de agua dulce	75	9.1		0.54
Peces anádromos	43	10.8		0.68
Peces marinos	66	19.9		0.77

Fuente: modificado de DeWoody y Avise 2000, Valenzuela-Quiñonez *et al.* 2016.

Cuadro 2. Diversidad genética de totoaba (*T. macdonaldi*) para el fragmento concatenado (16S, COI, región control) de ADN mitocondrial por localidad.

Localidad	Número de haplotipos	Número de sitios segregantes	h ± SD	π ± SD
Delta del río Colorado	12	25	1.000 ± 0.034	0.00370 ± 0.00053
San Luis Gonzaga	8	21	1.000 ± 0.063	0.00383 ± 0.00059
Desemboque	4	14	1.000 ± 0.177	0.00424 ± 0.00089
Bahía de Lobos	13	29	0.981 ± 0.031	0.00394 ± 0.00031
Todas las localidades	32	49	0.989 ± 0.009	0.00384 ± 0.00025

h: Diversidad haplotípica, SD: desviación estándar. π: diversidad nucleotídica. Fuente: modificado de Valenzuela-Quiñonez *et al.* 2016.

Estructura poblacional

La estructura poblacional es uno de los elementos clave para la conservación de los recursos naturales, ya que las medidas de manejo deben ser específicas para cada unidad poblacional. Ignorar la heterogeneidad genética de poblaciones puede derivar en pérdida de diversidad de una especie (p.e. si se eliminan poblaciones o extirpación local por sobreexplotación). Por su parte, en una estructura poblacional del tipo panmixia (donde todos los individuos conforman una sola población), todos los procesos naturales y antropogénicos inciden directamente sobre un único pool genético, por lo que el manejo de dicha especie debiera hacerse como una misma unidad.

En la totoaba se evaluó la estructura genética mediante 16 *loci* microsatélites y el fragmento concatenado de los genes mitocondriales descritos anteriormente. Ambos marcadores no detectaron señales de heterogeneidad poblacional entre las localidades analizadas. Lo anterior lleva a pensar que la especie en el golfo de California se encuentra constituida como una unidad panmíctica. Cabe señalar que actualmente *T. macdonaldi* se captura de manera ilegal en el golfo de California; esto sugiere que el impacto de la pesca ilegal, independientemente de donde se lleve a cabo, incide en toda la población.

Demografía histórica

Una de las grandes interrogantes de investigación en esta especie tiene que ver con evaluar si su sobreexplotación (a mediados del siglo pasado) generó pérdidas de diversidad genética, y por ende de la viabilidad poblacional en el largo plazo (figura 4). Para ello, se probó si la especie había sufrido un fenómeno conocido como cuello de botella (una dis-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

minución de la población que genere una pérdida de diversidad genética), utilizando diversas metodologías con escalas temporales diferentes. La primera (escala contemporánea, decenas de años) se utilizó para evaluar si la sobrepesca y la degradación de hábitat generaron un cuello de botella. El segundo método (de largo plazo, miles de años) se empleó para evaluar si eventos naturales (climáticos) generaron tal cuello de botella.

Los métodos contemporáneos (Cornuet y Luikart 1996, Luikart *et al*. 1998, Garza y Williamson 2001), no detectaron evidencias de pérdida de diversidad genética de totoaba y por ende no se aprecia alguna reducción significativa en el tamaño efectivo poblacional. Por su parte, el método de largo plazo MsVar (Beaumont 1999, Storz y Beaumont 2002) identificó una reducción de cuatro veces el tamaño efectivo ancestral teórico hace 7 413 años, sugiriendo que cambios poblacionales se relacionan con eventos climáticos de gran escala y que la reducción en la población a mediados del siglo pasado no impactó de manera significativa su pool genético. Las estimaciones de tamaño efectivo poblacional (N_e= 1 803-2 759) en la actualidad se encuentran en el rango esperado para que la población no tenga problemas de deriva genética en el largo plazo (cuadro 3).

Estas evidencias son muy alentadoras porque la totoaba padeció una fuerte disminución poblacional por sobrepesca, degradación de hábitat, pesca incidental y pesca furtiva. A pesar de ello, su información genética no se afectó de manera significativa por la disminución poblacional a mediados del siglo pasado e inclusive, aún cuenta con un tamaño efectivo poblacional grande con elevada diversidad para permanecer en el largo plazo. Este escenario (permanencia en el largo plazo) implica indudablemente que la actual pesca ilegal sea controlada.

Cuadro 3. Estimaciones del tamaño efectivo poblacional (N_e) y su intervalo de confianza (IC) para la población de totoaba (*T. macdonaldi*) usando diferentes métodos estadísticos.

Programa estadístico	Estimator	N_e	IC
	Nei (μ=0.00054)	1 894	
	Nei (μ=0.0005)	2 046	
NeEstimator	LD	2 759	697 - ∞
OneSamp	Bayesian	1 803	1 094 - 4 932
DIYABC	Bayesian	2 680	1 540 - 3 900
MsVar	Actual (N0)	2 669	603 - 11 625
	Ancestral (N1)	10 840	2 303 - 51 701

Nei: Tamaño efectivo poblacional de largo plazo con diferentes tasas mutacionales. Fuente: modificado de Valenzuela-Quiñonez *et al*. 2014.

Implicaciones de conservación

Los resultados de los estudios genético-poblacionales tienen profundas implicaciones para el manejo y la conservación de la especie, en especial para poder distinguir entre los factores contemporáneos (antropogénicos) y de largo plazo (ambientales) que impactan en el tamaño efectivo poblacional (Valenzuela-Quiñonez *et al*. 2014). La población de totoaba, al haber pasado por una importante reducción (medido como volúmenes de captura) se catalogó en peligro de extinción (SEMARNAT 2010). Esta circunstancia preveía que la especie debía mostrar bajos valores de diversidad genética ligado a una señal de cuello de botella; no obstante, este efecto no se observó y afortunadamente, la reducción poblacional no impactó el fondo genético de la especie (Valenzuela-Quiñonez *et al*. 2014, 2015).

Las especies en peligro de extinción se caracterizan por contar con valores de diversidad genética bajos, por lo tanto, son más vulnerables ante cambios ambientales drásticos y/o sobreexplotación; en cambio las especies que no se encuentran en peligro de extinción presentan niveles de diversidad mayores y, por ende, una mayor capacidad para hacer frente a cualquier adversidad (Spielman *et al*. 2004). Afortunadamente, la totoaba presentó elevados niveles de diversidad genética tanto en ADN nuclear como mitocondrial.

El tamaño efectivo poblacional es un parámetro clave en biología evolutiva y genética para la conservación, debido a que a partir de este valor se pueden hacer inferencias del potencial evolutivo, además de contar una perspectiva de la vulnerabilidad de las poblaciones para su viabilidad en el largo plazo, por su íntima relación con la cantidad de diversidad genética contenida en una población (Palstra y Ruzzante 2008, Hare *et al*. 2011). Las especies en peligro

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

de extinción se caracterizan por presentar tamaños efectivos poblacionales pequeños, una condición donde se magnifican los efectos de la deriva genética (el azar que acentúa la pérdida de diversidad) y los niveles de endogamia (Frankham 2005, O'Grady *et al*. 2008), lo que hace vulnerable a la especie ante cambios del ecosistema. Sin embargo, esto es poco probable para la totoaba, debido a que su tamaño efectivo poblacional actual está por arriba del valor umbral para evitar los efectos adversos de la deriva genética en poblaciones pequeñas (Frankham 2007). Además, las estimaciones se encuentran en el rango de valores establecidos para medidas de conservación en el largo plazo (N_e= 1 000-5 000), considerando los efectos en conjunto de diversas fuerzas evolutivas combinadas como mutación, selección y deriva (Franklin y Frankham 1998, Lynch y Lande 1998). Esto permite establecer que la población puede perdurar en el largo plazo si no es perturbada; es decir, la probabilidad de extinción por causas intrínsecas de ésta es prácticamente nula. Sin embargo, bajo un escenario con explotación, será necesario considerar el tamaño censal (número de individuos) y la productividad (biomasa explotable) de su población.

Las evidencias genéticas son alentadoras para la conservación de la especie, así como el conjunto de otros indicadores indirectos como expansión del área de distribución, estructura de tallas no truncada, un patrón de migración estable y la pesca furtiva moderada que en el pasado no afectó a la población (Valenzuela-Quiñonez *et al*. 2015, Brusca *et al*. 2017). Todo este escenario era positivo hasta antes de 2013, cuando inició un crecimiento descontrolado en la pesca furtiva de totoaba en la región Alto Golfo de California, debido al resurgimiento del mercado negro de su vejiga gaseosa (localmente conocida como buche), producto que puede alcanzar precios entre los 5 mil y 10 mil dólares por kilogramo fresco (precio de playa; Valenzuela-Quiñonez *et al*. 2015, Rodríguez-García *et al*. 2019). Parte de la sobrevaloración de este producto es porque se considera una comida gourmet en el mercado asiático a la cual solo pueden acceder los estratos sociales de mayor ingreso económico, aunado a atributos sobrenaturales.

La totoaba es vulnerable a la sobrepesca porque forma agregaciones reproductivas en un área relativamente pequeña y de aguas someras; asimismo, presenta lento crecimiento y madurez tardía, de tal forma que cualquier efecto negativo requiere de varias generaciones para su recuperación. La pesca furtiva descontrolada (y aún no bien evaluada) que existe desde 2013, representa potencialmente la principal amenaza para la viabilidad de la población, debido a que el poder de pesca actual es superior al pasado, cuando colapsó la población (Rodríguez-García *et al*. 2019). Este problema posiblemente haya traído efectos negativos e irreversibles para la población los cuales aún no son cuantificados, paradójicamente, su estado de conservación impide un monitoreo constante para generar información científica para la toma de decisiones.

Las estimaciones recientes llevadas a cabo entre 2016 y 2017 por parte del Instituto Nacional de la Pesca[2] (INAPESCA y SAGARPA 2018) son prometedoras e indican un tamaño de la población (censal) suficientemente grande como para ser explotada; sin embargo, aún no es posible estimar de manera precisa la magnitud del efecto de la pesca furtiva y el tamaño real de la población. La situación actual de la totoaba es extremadamente compleja, debido a que ninguna medida administrativa ha sido efectiva para la conservación de la especie (Bobadilla *et al*. 2011). El futuro es incierto, pero se requiere de un programa que integre a la comunidad y potenciales usuarios de este recurso, sin que sean medias que respondan a políticas de corto plazo y sin consenso social local.

Finalmente, el contar con nuevos registros de la presencia de la especie en Baja California Sur es alentador por la implicación de expansión de su rango de distribución, el cual posiblemente no había sido bien establecido. Esto también es indicativo de la falta de información biológica básica de totoaba y de la gran necesidad de seguir estudiando y generando conocimiento de este mítico pez del golfo de California. En este sentido, se deben conjuntar esfuerzos con autoridades gubernamentales, academia y sociedad civil para lograr su conservación en el largo plazo.

2 Actualmente Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentables (IMIPAS).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Arvizu, J. y H. Chávez. 1972. *Sinopsis sobre la biología de la totoaba Cynoscion macdonaldi Gilbert, 1891*. Fisheries synopsis No. 108. FAO, México.

Barrera-Guevara, J.C. 1990. The conservation of *Totoaba macdonaldi* (Gilbert), (Pisces: Sciaenidae), in the Gulf of California, México. *Journal of Fish Biology* 37(sA):201-202.

Beaumont, M.A. 1999. Detecting population expansion and decline using microsatellites. *Genetics* 4:2013-2029.

Bobadilla, M., S. Alvarez-Borrego, S. Avila-Foucat *et al*. 2011. Evolution of environmental policy instruments implemented for the protection of totoaba and the vaquita porpoise in the Upper Gulf of California. *Environmental Science and Policy* 14(8):998-1007.

Brusca, R.C., S. Álvarez-Borrego, P.A. Hastings *et al*. 2017. Colorado River flow and biological productivity in the Northern Gulf of California, Mexico. *Earth-Science Reviews* 164:1-30.

Cisneros-Mata, M.A., L.W. Botsford y J.F. Quinn. 1997. Projecting viability of *Totoaba macdonaldi*, a population with unknown age-dependent variability. *Ecological Applications* 3:968-980.

Cisneros-Mata, M.A., G. Montemayor-López y M.J. Román-Rodríguez. 1995. Life history and conservation of *Totoaba macdonaldi*. *Conservation Biology* 4:806-814.

Cornuet, J.M. y G. Luikart. 1996. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics* 4:2001-2014.

Chute, R. 1928. The totuava fishery at the California Gulf. *California Fish and Game* 4:275-281.

De Anda Montañez, J., F. García De León, T. Zenteno Savín *et al*. 2013. *Estado de salud y estatus de conservación de la(s) poblacion(es) de totoaba (Totoaba macdonaldi) en el golfo de California: una especie en peligro de extinción*. Proyecto HK050. CONABIO, México.

DeWoody, J.A. y J.C. Avise. 2000. Microsatellite variation in marine, freshwater and anadromous fishes compared with other animals. *Journal of Fish Biology* 3:461-473.

Findley, L. 2010. *Totoaba macdonaldi. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2*. En: <www.iucnredlist.org>, última consulta: abril de 2014.

Flanagan, C.A. y R. Hendrickson. 1976. Observations on the commercial fishery and reproductive biology of the Totoaba *Cynoscion macdonaldi* in the northern Gulf of California. *Fishery Bulletin* 74(3):531-544.

Frankham, R. 2005. Genetics and extinction. *Biological Conservation* 2:131-140.

—. 2007. Effective population size/adult population size ratios in wildlife: a review. *Genetics Research* 89(5-6):491-503.

Franklin, I.R. y R. Frankham. 1998. How large must populations be to retain evolutionary potential? *Animal Conservation* 1:69-70.

García-Caudillo, J.M., M.A. Cisneros-Mata y A. Balmori. 2000. Performance of a bycatch reduction device in the shrimp fishery of the Gulf of California, México. *Biological Conservation* 92(2):199-205.

García-De León, F.J., R. Valles-Jimenez, K. Shaw *et al*. 2010. Characterization of fourteen microsatellite loci in the endemic and threatened totoaba (*Totoaba macdonaldi*) from the Gulf of California. *Conservation Genetics Resources* 2(1):219-221.

Garza, J.C. y E.G. Williamson. 2001. Detection of reduction in population size using data from microsatellite loci. *Molecular Ecology* 10(2):305-318.

Hare, M.P., L. Nunney, M.K. Schwartz *et al*. 2011. Understanding and estimating effective population size for practical application in marine species management. *Conservation Biology* 3:438-449.

Hernández-Tlapale, C., J.A. De Anda-Montañez, A. Trasviña-Castro *et al*. 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* 100(1):143-151.

INAPESCA y SAGARPA. Instituto Nacional de Pesca, y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2018. *Evaluación de la población de totoaba en el Golfo de California*. INAPESCA/SAGARPA, México.

Lercari, D. y E.A. Chávez. 2007. Possible causes related to historic stock depletion of the totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Perciformes: Sciaenidae), endemic to the Gulf of California. *Fisheries Research* 86(2):136-142.

Luikart, G., F.W. Allendorf, J.M. Cornuet *et al*. 1998. Distortion of allele frequency distributions provides a test for recent population bottlenecks. *Journal of Heredity* 89(3):238-247.

Lynch, M. y R. Lande. 1998. The critical effective size for a genetically secure population. *Animal Conservation* 1:70-72.

O'Grady, J.J., D.H. Reed, B.W. Brook *et al*. 2008. Extinction risk scales better to generations than to years. *Animal Conservation* 5:442-451.

Palstra, F.P. y D.E. Ruzzante. 2008. Genetic estimates of contemporary effective population size: what can they tell us about the importance of genetic stochasticity for wild population persistence? *Molecular Ecology* 15:3428-3447.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Rodríguez-García, O.U., M. Román-Rodriguez, E. Morales-Bojórquez *et al*. 2019. New features on spatial distribution, age and growth of the protected species *Totoaba macdonaldi* in the Gulf of California. *Biotecnia* 22(3):61-72.

Rodríguez-García, O.U., J.C. Seijo, J.A. De Anda-Montañez *et al*. 2019. Recovery timelines of vulnerable high value species under moratoria: Dealing with uncertain levels of illegal fishing. *Fisheries Research* 220:1-8.

Román-Rodríguez, M. y G.M. Hammann. 1997. Age and growth of totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Sciaenidae), in the upper Gulf of California. *Fishery Bulletin* 95(3):620-628.

Rowell, K., K.W. Flessa, D.L. Dettman *et al*. 2008a. Diverting the Colorado River leads to a dramatic life history shift in an endangered marine fish. *Biological Conservation* 4:1138-1148.

Rowell, K., C. True, K.W. Flessa *et al*. 2008b. Fish without water: Validation and application of delta O-18 in *Totoaba macdonaldi* otoliths. *Ciencias Marinas* 34(1):55-68.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Spielman, D., B.W. Brook y R. Frankham. 2004. Most species are not driven to extinction before genetic factors impact them. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 42:15261-15264.

Storz, J.F. y M.A. Beaumont. 2002. Testing for genetic evidence of population expansion and contraction: an empirical analysis of microsatellite DNA variation using a hierarchical Bayesian model. *Evolution* 56(1):154-166.

Valenzuela-Quiñonez, F., F. Arreguín-Sánchez, S. Salas-Márquez *et al*. 2015. Critically endangered totoaba *Totoaba macdonaldi*: signs of recovery and potential threats after a population collapse. *Endangered Species Research* 29:1-11.

Valenzuela-Quiñonez, F., J.A. De-Anda-Montañez, E. Gilbert-Horvath *et al*. 2016. Panmixia in a critically endangered fish: the totoaba (*Totoaba macdonaldi*) in the Gulf of California. *Journal of Heredity* 6:496-503.

Valenzuela-Quiñonez, F., F.J. García-De León, J. De-Anda-Montañez *et al*. 2011. La totoaba del golfo de California ¿Una especie en peligro de extinción? *Interciencia* 9:664-671.

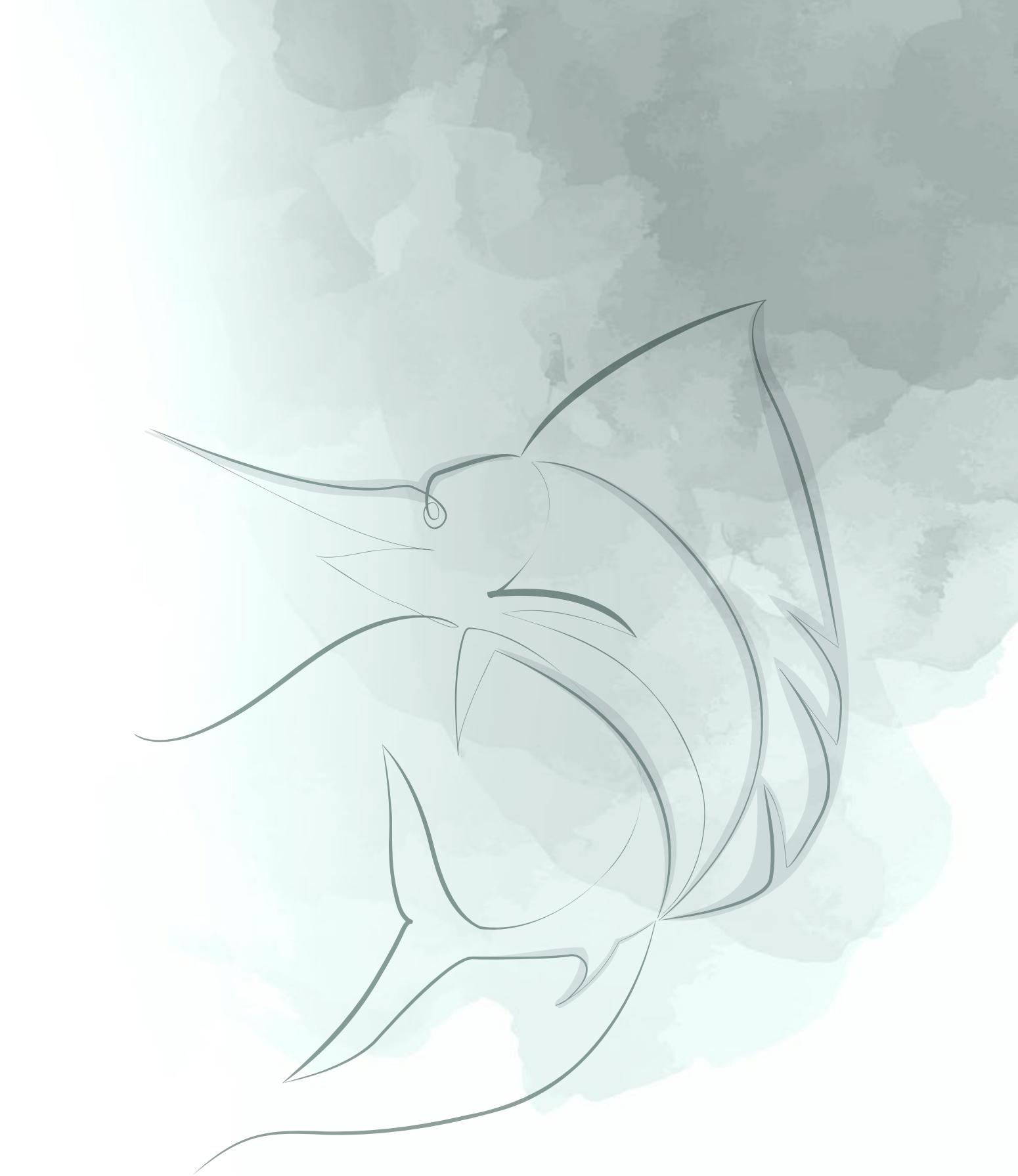
Valenzuela-Quiñonez, F., J.C. Garza, J.A. De Anda-Montañez *et al*. 2014. Inferring past demographic changes in a critically endangered marine fish after fishery collapse. *ICES Journal of Marine Science* 71(7):1619-1628.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

8

Usos tradicionales y convencionales

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA



DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Resumen ejecutivo

Andrea Marcela Geiger Villalpando y Alfredo Ortega Rubio

La naturaleza es inagotablemente sostenible si cuidamos de ella.
Es nuestra responsabilidad universal pasar una tierra sana a las futuras generaciones.
Sylvia Dolson

En cualquier actividad económica va intrínseco el uso de recursos naturales y, en consecuencia, de la biodiversidad. Esta sección brinda un amplio recorrido por las relaciones entre los sudcalifornianos y su entorno; se describen los servicios ambientales que ofrece la región, entre los que se incluyen los servicios culturales a través de actividades ecoturísticas.

Adicionalmente, se hace una descripción de los usos sustentables que potencialmente se pueden realizar en las zonas de influencia de las áreas naturales protegidas (ANP). En este sentido, en la entidad existen 10 ANP,[1] cuya extensión comprende más de 2.5 millones de hectáreas.

Se presentan algunos estudios de caso relacionados con ANP que abarcan aspectos económicos y de los servicios ambientales de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, el Parque Nacional Cabo Pulmo y del complejo insular Espíritu Santo. En todas ellas se resalta su contribución al desarrollo económico estatal a través de las actividades ecoturísticas, pero indudablemente se debe destacar la vital importancia que la Sierra La Laguna tiene para la provisión de agua dulce para la entidad.

Baja California Sur tiene un potencial enorme para el uso sustentable de su flora y fauna, que se puede fortalecer para promover su conservación y satisfacer las necesidades de la población. En este contexto, se incluyen experiencias de actividades cinegéticas, del aprovechamiento de plantas y animales locales; ejemplo de ello son los casos del chocolate del desierto, la extracción de ostras perleras en la región meridional de la entidad, el aprovechamiento de los cetáceos por medio de su avistamiento, la organización de comunidades a través del ecoturismo para la obtención de recursos económicos, el uso de peces arrecifales, o la obtención de recursos a través del turismo de pesca deportiva, los cuales son inconmensurablemente mayores a los obtenidos a través de su pesca comercial. Asimismo, en esta sección se resumen y describen los usos tradicionales que los pobladores locales, como los rancheros sudcalifornianos, dan a los recursos naturales que posee la región.

A partir de la información que se presenta en esta sección se identifica que el principal reto a enfrentar en cuanto al uso de los recursos biológicos, induda-

1 El 15 de agosto de 2023 se establecieron dos nuevos parques nacionales en el estado: Nopoló (2 076 ha) y Loreto II (6 217 ha), mismos que no se incluyen en el análisis de la presente sección debido a su relativa reciente creación.

Geiger Villalpando, A.M. y A. Ortega-Rubio. 2025. Resumen ejecutivo. Usos tradicionales y convencionales. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 137-138.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

blemente es el de la amenaza directa del proyecto minero Los Cardones en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, debido a que afectaría la provisión de agua dulce para toda la región meridional del estado, en donde se concentra 90% de la población sudcaliforniana. Otro reto es la arremetida de la pesca comercial de los picudos, que tiene el potencial de devastar la pesca deportiva en el sur de la entidad. Afortunadamente, para enfrentar estas y otras adversidades, en Baja California Sur existen oportunidades a favor de la sostenibilidad, debido a la existencia de programas de aprovechamiento de especies locales, además de información sobre el uso de especies y la importancia de los servicios ecosistémicos.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Servicios ambientales

Javier Caraveo Patiño, Luis Brito Castillo, José Juan Pérez Navarro† y Yolanda Lourdes Maya Delgado

Introducción

La disminución y degradación acelerada de los recursos naturales demanda de manera urgente la comprensión del concepto de los servicios ambientales o ecosistémicos (SA), y en particular lo que significa un ecosistema. Es un hecho innegable que el bienestar de la sociedad depende de su relación con estos servicios y del entorno ambiental de donde se obtienen (Harrison *et al*. 2010). De manera general, los SA se agrupan en cuatro categorías: de suministro, de regulación, culturales y de soporte. En particular, los SA de soporte mantienen la producción de los demás servicios (MA 2005). Desafortunadamente, la pérdida de los SA ocasiona la urgencia de entender la relevancia del tema y desarrollar su conexión con cualquier disciplina del conocimiento humano, a fin de poder delinear acciones dirigidas a asegurar su conservación. Las evidencias demuestran que, mientras la demanda de SA incrementa de forma acelerada, la capacidad de los ecosistemas para satisfacerlos disminuye de manera significativa (MA 2005).

En este capítulo se delinean los conceptos relacionados con los SA y se describen algunos de ellos para Baja California Sur. Para ello, se seleccionaron los que se consideraron como imprescindibles para el bienestar de los sudcalifornianos, dadas las características ambientales y biodiversidad que lo caracterizan. En este sentido, se precisa de manera general lo que es un ecosistema y se aborda una explicación, desde un contexto teórico biológico y filosófico.

Diversidad funcional

El término ecosistema es ahora mucho más que una expresión científica; es una corriente filosófica que se caracteriza por entender el ambiente donde el ser humano vive, los procesos naturales que ahí ocurren y cómo lo ha afectado la actividad humana. Los marcos teóricos más recientes que integran esta visión son principalmente la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MA) y el manejo con enfoque ecosistémico, (EBM por sus siglas en inglés). Ambos señalan que los recursos naturales no se deben considerar como elementos aislados del ser humano y del entorno de los cuales se obtienen, sino como elementos integrales de los ecosistemas, en conjunto con las actividades humanas requeridas para obtenerlos (MA 2005).

Por otra parte, la unidad de análisis para el estudio de la biodiversidad se centró en las especies, debido a la pérdida de éstas por las actividades antropogénicas (Takacs 1996). En este sentido, rápidamente se

Caraveo-Patiño, J., L. Brito-Castillo, J.J. Pérez Navarro y Y. Maya-Delgado. 2025. Servicios ambientales. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 139-145.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

aceptó que la biodiversidad y su problemática se deben entender como un fenómeno biológico complejo, que demanda aceptar la participación del ser humano como parte del problema. Además, las ideas sobre la biodiversidad se relacionaron con otro concepto: la biocomplejidad. Así, esto fue un llamado a la comunidad científica para modificar la conceptualización de la biodiversidad, al evitar la concepción y el estudio de las especies, los hábitats y el entorno ambiental en general de manera aislada, sino comprenderla como un todo (Lyn 2001).

Los avances en esta dirección se integran en lo que ahora se denomina diversidad funcional, uno de los atributos de la biodiversidad más relevantes que afecta a los SA (De Bello *et al*. 2010). El concepto de la diversidad funcional requiere de entender que las interconexiones dentro de los ecosistemas son independientes del tamaño o dimensión de los elementos en continuo interactuar. Es tiempo de repensar las dinámicas de las especies o grupos de ellas dentro de los ecosistemas.

Un avance en esta dirección puede ser el hallazgo sobre el valor de los nutrientes esenciales (moléculas particularmente importantes para un organismo), que deberían ser parte de la explicación de la distribución en el espacio de cualquier especie, microscópica o macroscópica, como se sugiere para cualquier especie de vertebrado (Caraveo-Patiño 2004), y se ha utilizado para explicar las migraciones y la evolución de los mamíferos marinos (Caraveo-Patiño *et al*. 2009), inclusive la de la especie humana (Broadhurst *et al*. 2002). De esta forma, la presencia o ausencia de un microrganismo puede afectar directa o indirectamente la estructura funcional de un ecosistema o incluso una región a nivel de paisaje, y puede incluso ocasionar la perdida de SA.

Hace pocos años, era difícil imaginar que los microorganismos del suelo pudieran funcionar también como controladores importantes del clima de una región; ahora se conoce que éstos establecen interacciones funcionales complejas, que impactan de manera considerable sobre la productividad y la diversidad de la vegetación de un ecosistema (Van Der Heijden *et al*. 2008), la cual influye en la regulación de la temperatura superficial, a través de la evapotranspiración y su impacto sobre el balance energético superficial en regiones semiáridas (Charney *et al*. 1977).

En Baja California Sur, 92% del territorio presenta un clima seco desértico (BW); 7% clima seco estepario, y únicamente 1% un clima templado con lluvias en verano (CONABIO 1998). De ahí la urgencia de entender los procesos ecosistémicos que se relacionan con los SA más relevantes para la entidad, que se considera que son la regulación hídrica, la formación de suelo y la producción primaria. Este último tanto para el ambiente terrestre como el marino.

Agua y su regulación

Las lluvias son muy escasas en Baja California Sur; de hecho, es una de las entidades federativas con menor precipitación (244 mm de precipitación total anual; García 2004), por lo que los recursos hídricos provienen principalmente del subsuelo. Las condiciones de aridez en la entidad hacen que la mayoría de los cauces de la red de drenaje natural sean intermitentes y efímeros, o permanezcan secos la mayor parte del año. Por ello, son muy pocas las estaciones de aforo instaladas en la entidad. Entre las corrientes principales se encuentran los arroyos San Pablo y San Ignacio (municipio de Mulegé); La Purísima, La Soledad, Santo Domingo y El Salado (Comondú y La Paz, del lado de la vertiente del Pacífico); y La Paz, El Cajoncito, San José y Santiago (Los Cabos; SARH 1991).

A nivel estatal, se estima un escurrimiento medio anual de 105 millones de metros cúbicos (Mm^3) para todas las cuencas, y se observa un escurrimiento anual de 58 Mm^3 en las estaciones de aforo. La infraestructura hidráulica en Baja California Sur es modesta, y consiste en nueve presas derivadoras y la captación de 16 manantiales, que en conjunto producen un volumen medio anual de 30 Mm^3 para riego de poco más de 1 280 ha (SARH 1991), además de cuatro presas de almacenamiento utilizadas para el control de avenidas y recarga de acuíferos.

Por la fisiografía del territorio, todos los escurrimientos que descargan al golfo de California son de corta duración, debido al relieve escarpado de esa vertiente, lo que se traduce en avenidas muy cortas, pero de volúmenes altos. Por el contrario, las corrientes de la vertiente del Pacífico son de mayor longitud y menor pendiente, que resulta en escurrimientos menos caudalosos y de mayor duración.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Los acuíferos que existen en el estado son la única fuente permanente de agua. Se han delimitado 339 acuíferos para su estudio (CONAGUA 2018), aunque en muchos de ellos se ha deteriorado su calidad (Brito-Castillo *et al*. 2010), debido a los grandes volúmenes de extracción que aumentaron desde la década de los cincuenta con fines agrícolas, principalmente en el valle de Santo Domingo (SARH 1991). Para la década de los noventa se contaban 2 200 captaciones de agua subterránea en todo el estado, con profundidades variables en el rango de algunos metros hasta unos 100 m (Brito-Castillo *et al*. 2010).

Además de ser la fuente de abastecimiento de agua para la población y las actividades agrícolas, los acuíferos también proveen este vital líquido a la flora y la fauna de la entidad. En las porciones bajas, donde la superficie freática se encuentra a poca profundidad, el proceso dominante de descarga es la evapotranspiración. La vegetación nativa, por ejemplo, extrae grandes cantidades de agua subterránea cuando los niveles se hallan a menos de 10 m de profundidad. La descarga de este tipo se concentra en oasis como los de San Ignacio, Mulegé, Comondú y la Purísima, donde las condiciones geológicas y topográficas propician la formación de manantiales o pequeños lagos y el crecimiento de vegetación frondosa (SARH 1991). Se estima que la magnitud de descarga desde el acuífero hacia estos manantiales es de 100 l/s.

Las aguas subterráneas y los ríos mantienen un intercambio entre ellos, conservando un equilibrio natural entre ambos cuerpos de agua para garantizar su existencia y funcionamiento. Lo que impulsa tal intercambio es la fuerza de gravedad, pero de acuerdo con la posición de los niveles de agua, esta actúa en ambas direcciones. En la época de lluvias, se incrementa el aporte de agua desde las paredes del cauce hacia el acuífero, debido a que los niveles en el cauce son muy superiores a los del acuífero; pero en la época de secas, cuando los volúmenes en el cauce decrecen, es el acuífero el que alimenta al río proporcionándole un abasto de agua provisional hasta la temporada de lluvias.

En el caso del territorio sudcaliforniano, donde hay muy pocas corrientes superficiales, es más importante entender el equilibrio hídrico entre el mar y el acuífero. Los grandes volúmenes de extracción de agua reducen la capacidad de regulación natural de los acuíferos. En este sentido, el abatimiento de los niveles freáticos en las áreas de bombeo provoca la reducción gradual de las descargas de agua dulce hacia la costa e incluso invierte el flujo (descargas desde el mar hacia el interior), lo que provoca un incremento en la salinidad del agua en el acuífero y altera su calidad (Brito-Castillo *et al*. 2010).

Una característica importante sobre la regulación hídrica en Baja California Sur tiene que ver con la humedad que ingresa a tierra desde el mar. Por estar flanqueado por dos mares, los procesos de brisa mar-tierra y tierra-mar son importantes en la entidad, y pueden afectar el contenido de humedad en la atmósfera hasta una altura de entre 2 y 3 km (Zuidema *et al*. 2007). Por ejemplo, en la región El Vizcaíno, las brisas marinas húmedas y frescas, así como la presencia frecuente de bancos de niebla, reducen la aridez del lugar y ayudan a regular el contenido de humedad.

Servicios ambientales ligados a la vegetación

De manera general se reconoce que la vegetación puede determinar, regular o mantener servicios ambientales (p.e. los ciclos de nutrientes, la formación y mantenimiento de suelos, el clima y la calidad del aire, la disponibilidad del agua dulce, entre otros; Kinzig 2009). Lo anterior, implica un enorme reto que podría requerir de manera urgente conocer las interconexiones ecosistémicas a nivel de tipos funcionales de vegetación, que son imprescindibles para mantener su función y los SA. Este es un campo de la investigación que apenas comienza a desarrollarse (Naeem 2009); sin embargo, los especialistas en este tema reconocen que la diversidad de las plantas está fuertemente ligada a los SA (Quijas *et al*. 2012).

Esta diversidad se refiere a la riqueza de especies, genes y comunidades que pueden observarse en el paisaje, así como a la diversidad funcional de la vegetación (Balvanera *et al*. 2014). Ejemplo de ello, está la diversidad genética de las plantas que puede regular la proliferación de plagas, debido a que dentro de las poblaciones de una especie pueden existir individuos resistentes a determinadas plagas, ya sean patógenos o animales (Quijas *et al*. 2012), o bien los individuos pueden ser competitivos y evitar el establecimiento de nuevas plantas invasoras (Espinosa-García *et al*.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

2004). Es así, que es posible comprender que entre mayor diversidad exista, se asegura la funcionalidad de un ecosistema y con ello la generación de los SA que proveen.

A pesar de la dominancia del ambiente desértico, la vegetación en el estado incluye formaciones de plantas xerófilas y mesófilas; esto es, en el territorio se encuentran tanto bosques templados, vegetación de ambientes ribereños y manglares, como extensos matorrales xerófilos. Todos estos tipos de vegetación son imprescindibles como fuente de recursos básicos para el desarrollo de las actividades humanas. En este sentido, Wurl y Ureña (2004) reconocen la relevancia que tiene la vegetación boscosa que se establece en montañas y cañones (como la Sierra La Laguna) para la recarga de los acuíferos, de los cuales se extrae el agua para abastecer las ciudades de La Paz y Los Cabos.

Asimismo, la vegetación de los bordes de los arroyos sudcalifornianos: a) favorece la formación y protección de suelos; b) evita que los procesos de escorrentía superficial del agua arrasen los suelos de las partes bajas o cercanas al mar; y c) permiten la formación de un hábitat ribereño propio del ambiente desértico de la región (Felger 1999). El establecimiento de la vegetación en cañadas, palmares, carrizales y mezquitales, facilita la recarga de agua, permite la acumulación de partículas de suelo y, en un evento de lluvias intensas (como los huracanes), aminora la fuerza del agua de los arroyos provenientes de las partes altas de las sierras hasta su desembocadura en el mar. Algunas plantas que pueden establecerse en este tipo de ambiente (p.e. las palmeras y los mezquites) están adaptadas a estos ciclos catastróficos y ofrecen cierta estabilidad al ecosistema, a la vez que propician la permanencia de otras especies dependientes de hábitats como los oasis de San Ignacio, Mulegé, Comondú, Todos Santos y el estero de San José del Cabo. Es así que, de la diversidad funcional que ocurre en estos hábitats, los SA que se pueden obtener son muy variados, entre ellos suelo para cultivo, agua dulce y sitios de esparcimiento.

Por su parte, las comunidades de manglar se consideran como uno de los ecosistemas más productivos en el mundo. Las plantas de mangle son arbustos capaces de vivir en agua marina en regiones como la bahía Magdalena o la laguna San Ignacio, aunque requieren de un aporte periódico de agua dulce (Agráz-Hernández *et al*. 2006). Estas plantas tienen una alta capacidad de fijación de carbono por la producción de su follaje; cuando sus hojas se desprenden, la materia orgánica se almacena como turba en el suelo donde desarrollan sus raíces, y queda disponible en forma de nutrientes para una gran diversidad de especies marinas. La producción y almacenamiento de esta materia orgánica en los manglares desérticos del estado se considera de la misma magnitud que la de sistemas de manglares de climas tropicales (Ezcurra *et al*. 2016). Esta acumulación de nutrientes permite que se mantengan las poblaciones de numerosas especies de importancia para la pesca (p.e. peces, camarones y moluscos), y que algunas de ellas sean más abundantes que en sitios donde no hay manglares cercanos (Aburto-Oropeza *et al*. 2008).

Costras biológicas de suelo en los servicios ambientales de regulación

Las costras biológicas de suelo son comunidades que incluyen microorganismos (cianobacterias y hongos), líquenes y musgos, los cuales crecen en apenas unos milímetros de la superficie y son cruciales en la administración de la humedad disponible en el suelo (Chamizo *et al*. 2016). Lo anterior se debe a que los polisacáridos que producen las cianobacterias que las construyen retienen humedad, de tal manera que las tasas de evaporación en los suelos con estas costras son mucho menores que en los suelos que no las tienen. Por ello, estas comunidades tienen una gran importancia en los SA relacionados con la humedad. La clave de su influencia radica en la diversidad y la abundancia de los organismos que las conforman (Belnap *et al*. 2013, Whitney *et al*. 2017), la cual es muy variable alrededor del mundo (Bowker *et al*. 2013). Cabe señalar que algunas costras biológicas de suelo tienen características hidrofóbicas (que las hacen impermeables al agua); o por el contrario, absorben y retienen la humedad (Eldridge *et al*. 2000).

Estudios desarrollados en la selva baja caducifolia (Maya *et al*. 2002) y en el matorral sarcocaule del sur del estado, demostraron que las costras biológicas de suelo absorben y retienen la humedad que propicia la germinación y el establecimiento de plantas superiores, además de aumentar la capacidad de in-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

filtración, retener las partículas de suelo y estabilizar los sedimentos (véase *Cianobacterias de costras biológicas de suelo*, en esta obra). Otras investigaciones han comprobado que estas cualidades se ligan a los procesos de descomposición de la materia orgánica (Villarreal-Rosas *et al*. 2014), y por lo tanto, a la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, así como a la regulación del flujo de carbono en el suelo, pues las costras funcionan como sumideros y fuentes de carbono, en función de la humedad disponible (Ayala Niño 2018), y en la fijación de nitrógeno en ecosistemas como los desiertos (Belnap 2003).

Conclusiones y recomendaciones

La funcionalidad de los ecosistemas en gran medida depende de su diversidad funcional. Existen estudios que prueban que esta funcionalidad se puede mantener a través de la conservación de algunas de sus especies dominantes, aunque también se reconoce que existen especies poco abundantes con efectos claves en el funcionamiento de un ecosistema en particular, por lo que la conservación de la biodiversidad es compleja y a la vez fundamental. A la par del avance en la obtención del conocimiento para sustentar que los ecosistemas deben entenderse, manejarse y legislarse desde la perspectiva de los sistemas biológicos, se recomienda usar las áreas naturales protegidas como herramienta elemental para la conservación de la biodiversidad. En particular, se exhorta a considerar especies clave desde el punto de vista de la ecofisiología, para tener la mejor confiabilidad de la medición del manejo de las acciones de conservación a diferentes escalas espaciales.

Por otro lado, la intensidad con la que se utilizan los recursos es un factor clave. No se puede esperar que un uso irracional de los SA sea sostenible. Afortunadamente, este factor depende del cambio consciente que haga cada ser humano en el manejo de los recursos, empezando desde el hogar. Las decisiones más adecuadas a este respecto deben basarse en el conocimiento y entendimiento de los problemas que se pueden causar al modificar la función natural de los procesos ecosistémicos que permiten la generación de los SA.

Debido a que la regulación hídrica, la formación de suelo y la producción primaria, son servicios íntimamente ligados con la diversidad funcional derivada de la biodiversidad en el estado, es prioritario entender la interconexión entre los procesos ecosistémicos con los que se relacionan, a las más amplias escalas de espacio y tiempo. En este sentido, se considera importante conocer cómo dichas interconexiones repercuten en los niveles más altos de las redes alimenticias, es decir, a nivel de los depredadores tope. Por ello, es necesario tomar mejores decisiones que eviten la degradación de los recursos naturales o el deterioro de los ecosistemas. Más aún, se requiere evitar o reducir los impactos que ponen en riesgo a la biodiversidad, cuya evolución ha permitido obtener los beneficios tangibles o intangibles de los SA presentes en Baja California Sur.

Referencias

Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann *et al*. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:10456-10459.

Agráz-Hernández, C.M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo *et al*. 2006. *Guía de campo. Identificación de los manglares en México*. Universidad Autónoma de Campeche, México.

Ayala Niño, F. 2018. *Flujos y almacenes de carbono edáfico en un ecosistema árido del noroeste de México: un enfoque multiescalar*. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

Balvanera, P., I. Siddique, L. Dee *et al*. 2014. Linking biodiversity and ecosystem services: current uncertainties and the necessary next steps. *BioScience* 64:49-57.

Belnap, J. 2003. The world at your feet: desert biological soil crusts. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1:181-189.

Belnap, J., B.P. Wilcox, M.W. Van Scoyoc *et al*. 2013. Successional stage of biological soil crusts: an accurate indicator of ecohydrological condition. *Ecohydrology* 6:474-482.

Bowker, M.A., D.J. Eldridge, J. Val y S. Soliveres. 2013. Hydrology in a patterned landscape is co-engineered by soil-disturbing

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

animals and biological crusts. *Soil Biology and Biochemistry* 61:14-22.

Brito-Castillo, L., L.C. Méndez-Rodríguez, S. Chávez-López y B. Acosta-Vargas. 2010. Groundwater differentiation of the aquifer in the Vizcaino Biosphere Reserve, Baja California Peninsula, Mexico. *Geofísica Internacional* 49:167-179.

Broadhurst, C.L., Y. Wang, M.A. Crawford *et al*. 2002. Brain-specific lipids from marine, lacustrine, or terrestrial food resources: potential impact on early African *Homo sapiens*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* 131:653-673.

Caraveo-Patiño, J. 2004. *Ecología alimenticia de la ballena gris (Eschrichtius robustus, Lilljeborg, 1861): una ventana hacia la dinámica interna de los ecosistemas*. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

Caraveo-Patiño, J., Y. Wang, L.A. Soto *et al*. 2009. Eco-physiological repercussions of dietary arachidonic acid in cell membranes of active tissues of the gray whale. *Marine Ecology* 30(4):1-11.

Chamizo, S., Y. Cantón, E. Rodríguez-Caballero y F. Domingo. 2016. Biocrusts positively affect the soil water balance in semiarid ecosystems. *Ecohydrology* 9:1208-1221.

Charney, J., W.J. Quirk, S.H. Chow y J. Kornfield. 1977. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. *Journal of the Atmospheric Sciences* 34:1366-1385.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1998. *Climas (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000*. CONABIO, México.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2018. *Sistema de información de acuíferos y cuencas*. En: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/sistema-de-informacion-geografica-de-acuiferos-y-cuencas-sigacua-55161>, última consulta: marzo de 2018.

De Bello, F., S. Lavorel, S. Diaz *et al*. 2010. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation* 19:2873-2893.

Eldridge, D.J., E. Zaady y M. Shachak. 2000. Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev, Israel. *Catena* 40:323-336.

Espinosa-García, F.J., J.L. Villaseñor y H. Vibrans. 2004. The rich generally get richer, but there are exceptions: correlations between species richness of native plant species and alien weeds in Mexico. *Diversity and Distributions* 10:399-407.

Ezcurra, P., E. Ezcurra, P.P. Garcillán *et al*. 2016. Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113:4404-4409.

Felger, R.S. 1999. *The flora of cañon de Nacapule: a desert-bounded tropical canyon near Guaymas, Son, Mexico*. Proceedings of the San Diego Society of Natural History, California.

García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía-UNAM, México.

Harrison, P.A., M. Vandewalle, M.T. Sykes *et al*. 2010. Identifying and prioritising services in European terrestrial and freshwater ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 19:2791-2821.

Kinzig, A.P. 2009. Ecosystem services. En: *The Princeton guide to ecology*. A. Levin, S.R. Carpenter, H. Charles *et al*. (eds.). Princeton University Press, Nueva Jersey, pp. 573-578.

Lyn, M. 2001. Biodiversity to biocomplexity: a multidisciplinary step toward understanding our environment. *BioScience* 51:426-430.

MA. Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington D.C.

Maya, Y., A. López-Cortés y A. Soeldner. 2002. Cyanobacterial microbiotic crusts in eroded soils of a tropical dry forest in the Baja California peninsula, Mexico. *Geomicrobiology Journal* 19:505-518.

Naeem, S. 2009. Biodiversity, ecosystem functioning, and ecosystem services. En: *The Princeton guide to ecology*. A. Levin, S.R. Carpenter, H. Charles *et al*. (eds.). Princeton University Press, Nueva Jersey, pp. 584-590.

Quijas, S., L.E. Jackson, M. Maass *et al*. 2012. Plant diversity and generation of ecosystem services at the landscape scale: expert knowledge assessment. *Journal of Applied Ecology* 49:929-940.

SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1991. *Sinopsis geohidrológica del Estado de Baja California Sur*. SARH/CNA/Sistemas Gráficos, México.

Takacs, D. 1996. *The idea of biodiversity: philosophies of paradise*. The Johns Hopkins Press, Londres.

Van Der Heijden, M.G., R.D. Bardgett y N.M. Van Straalen. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11:296-310.

Villarreal-Rosas, J., G. Palacios-Vargas y Y. Maya. 2014. Microarthropods communities related with biological soil crusts in a desert scrub in northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:513-522.

Whitney, K.M., E.R. Vivoni, M.C. Duniway *et al*. 2017. Ecohydrological role of biological soil crusts across a gradient in levels of development. *Ecohydrology* 10(7):e1875.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Wurl, J. y T.J. Ureña. 2004. Aspectos hidrogeológicos de los oasis de Santiago y Todos Santos. En: *Reunión de análisis de los oasis de Baja California Sur*. R. Rodríguez-Estrella, M. Cariño y C.F. Aceves (comps.). CIBNOR/UABCS/SEMARNAT, La Paz, pp. 57-63.

Zuidema, P., Ch. Fairall, L.M. Hartten *et al*. 2007. On air-sea interaction at the mouth of the Gulf of California. *Journal of Climate* 20:1649-1661.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Servicios ambientales y actividad ecoturística en Espíritu Santo

Elizabeth Olmos Martínez

Introducción

El Complejo Insular de Espíritu Santo y el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo, constituyen respectivamente, la parte terrestre y marina de dos áreas naturales protegidas (ANP) contiguas, ubicadas frente a las costas del municipio La Paz. Toda esta zona se destina a la protección de los ecosistemas por su elevado número de especies de flora y fauna bajo algún estatus de protección, sobre todo especies endémicas de reptiles y mamíferos, así como una gran biodiversidad marina (CONANP 2011). Estas características representan una oportunidad para la realización de actividades de investigación científica, educativas y recreación, compatibles con la protección y la preservación de sus recursos naturales.

La demanda de las actividades depende directamente de la calidad del entorno natural que brinda el ecosistema. Asimismo, la relación entre los atributos naturales del sitio y el mantenimiento de las actividades productivas se puede expresar en términos del concepto de servicios ambientales (Olmos-Martínez *et al.* 2015b). En este estudio se sintetizan algunas investigaciones realizadas en dichas ANP respecto a los beneficios ecoturísticos derivados de los servicios ambientales en Espíritu Santo, así como la identificación de las zonas de mayor afluencia.

Actividad ecoturística

El Complejo Insular de Espíritu Santo y el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo son áreas visitadas por un número creciente de turistas que realizan diversas actividades orientadas a la observación y el disfrute de la naturaleza. La mayor parte de las actividades que ahí se realizan tienen lugar en la zona marina y se relacionan estrechamente con el aprovechamiento recreativo de la belleza escénica de la costa, las playas y los hábitats marinos (Olmos-Martínez *et al.* 2015a). Los principales atractivos para las actividades recreacionales son el nado para apreciar lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) y elefantes marinos (*Mirounga angustirostris*), además de la observación de ballena gris (*Eschrichtius robustus*), ballena azul (*Balaenoptera musculus*), ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), algunos delfines como el de rostro largo (*Delphinus capensis*) y el tursión costero y oceánico (*Tursiops truncatus*). Los visitantes llegan atraídos por estos valores naturales y por la oportunidad de disfrutar de ellos (Cervantes 2012, Olmos-Martínez *et al.* 2015b).

Olmos-Martínez, E. 2025. Servicios ambientales y actividad ecoturística en Espíritu Santo. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 146-150.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

De acuerdo con la clasificación de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP 2014), existen seis servicios ambientales principales en estas áreas, de los cuales tres se relacionan directamente con el ecoturismo en la zona (cuadro 1). Cabe señalar que, los operadores ecoturísticos se benefician de los servicios ambientales culturales (belleza escénica) y de soporte (refugio de especies) que proporciona el sitio, mediante la comercialización de actividades recreativas acuáticas y terrestres para disfrutar su biodiversidad (CONANP 2014, Olmos-Martínez *et al.* 2015a). En la zona marina destacan las actividades de veleo, surfeo, buceo libre y autónomo, así como kayakismo y canotaje; mientras que en la zona terrestre destacan campismo, senderismo y avistamiento de aves (Cervantes 2012, Olmos-Martínez *et al.* 2015b).

El ecoturismo basado en el aprovechamiento de los servicios ambientales del área ha experimentado un incremento significativo en la última década; estas actividades generan una derrama económica significativa para la ciudad de La Paz, sitio donde se localizan los operadores de servicios turísticos (Cervantes 2012). Para ello, acceden al complejo insular en yates y embarcaciones menores, y concentran sus actividades en algunos sitios del complejo y el parque. Los espacios en donde hay mayor actividad de buceo autónomo y libre son Los Islotes, La Ballena, El Gallo y La Gallina; mientras que los lugares más utilizados para el anclaje de embarcaciones, así como para el uso de playas y zona costera son las ensenadas Grande, El Cardonal, La Partida y El Candelero (figura 1; Olmos-Martínez *et al.* 2015a, b).

El aprovechamiento ecoturístico de la colonia de lobos marinos de Los Islotes, brinda un ejemplo de la importancia económica del área (figuras 2 y 3; Olmos-Martínez *et al.* 2015a). Esta colonia reproductiva, que es una de las más visitadas en el golfo de California, presenta un promedio de visitas de 17 embarcaciones al día, las cuales trasportan entre 7 y 10 turistas cada una (CONANP 2011, 2014).

En el periodo 2009-2010, la dirección administrativa de dichas ANP registró un total de 54 proveedores turísticos y otorgó un total de 265 autorizaciones a empresas prestadoras de servicios turísticos. Algunas de estas empresas realizan sus actividades durante todo el año y otras solo efectúan sus operaciones de octubre a mayo (CONANP 2011, 2014). En 2013 se registraron 16 065 turistas que pagaron los derechos por visitar estas áreas, generando una recaudación federal por la cantidad de 772 096 pesos (Olmos-Martínez *et al.* 2015b); cabe mencionar que dicha cifra no incluye la derrama económica generada para los operadores de servicios turísticos.

El crecimiento de visitantes trae al mismo tiempo oportunidades y amenazas a la conservación de las ANP, debido a que la falta de planeación y regulación puede causar impactos negativos en los contextos naturales, sociales y económicos (CONANP 2011). En ese sentido, las actividades de manejo y conservación en el golfo de California se han incrementado en los últimos años, cuando se le ubicó como el segundo espacio marino más biodiverso del mundo (CONANP 2011). Por ello, la dirección administrativa del complejo insular y el parque se encarga de elaborar estrategias, acciones, objetivos, metas y acciones dirigidas a la disminución de los efectos perjudiciales a los recursos naturales de la zona.

De acuerdo con el programa de manejo del archipiélago se cuenta con subprogramas de restauración, manejo, protección, conocimiento, cultura y gestión, cada uno con diferentes componentes y acciones (CONANP 2011). Una estrategia en el subprograma de manejo es

Cuadro 1. Servicios ambientales para el ecoturismo en el Complejo Insular de Espíritu Santo y el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo.

Servicio	Función	Actividades
Refugio de especies	Hábitat para poblaciones residentes y migratorias	Ecoturismo, pesca artesanal, pesca deportiva y acuacultura
Belleza escénica y recreación	Proveer oportunidades para actividades recreativas	Ecoturismo y pesca deportiva
Cultura	Proveer oportunidades para usos no comerciales	Ecoturismo e investigación

Fuente: elaboración propia con datos de CONANP 2014.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

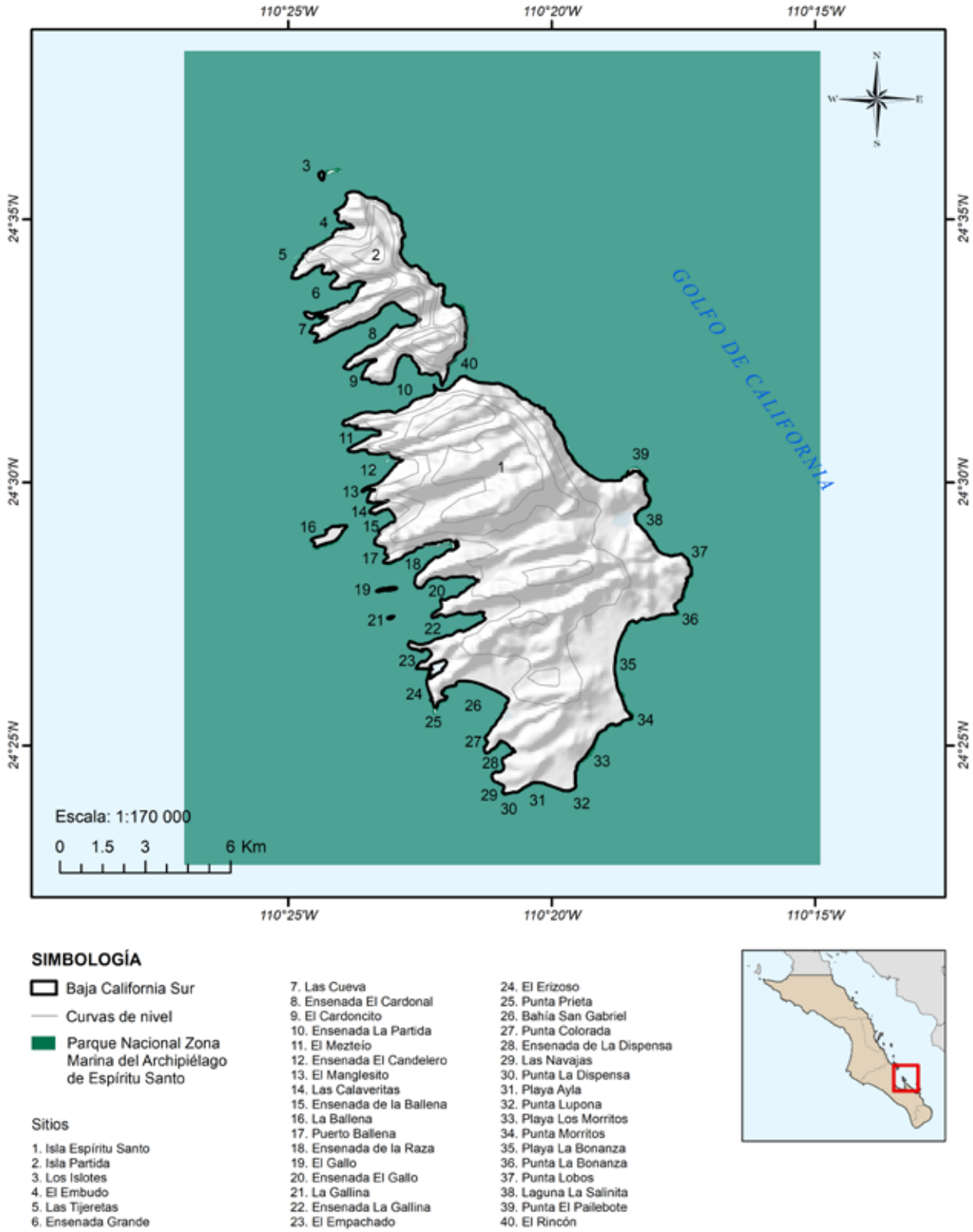


Figura 1. Localización del Complejo Insular Espíritu Santo y el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo. Fuente: elaboración propia con datos de CONANP 2000, NOAA 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Colonia de lobos marinos en Los Islotes. Foto: Elizabeth Olmos-Martínez.

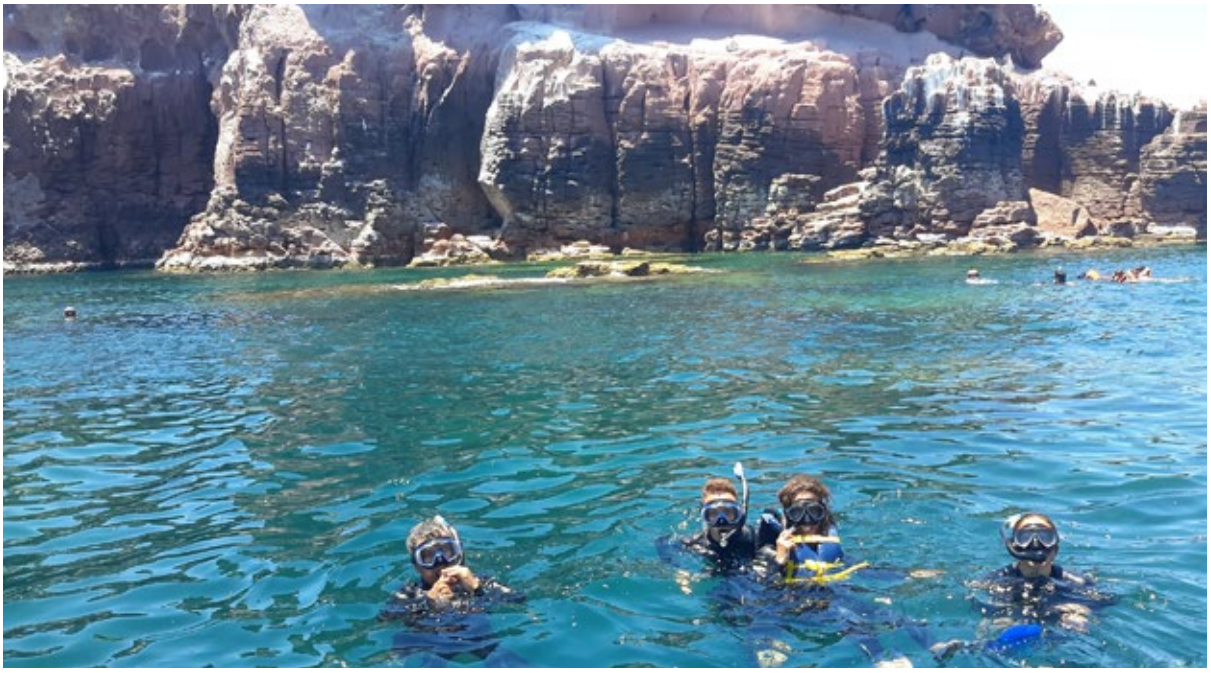


Figura 3. Turistas disfrutando el nado y avistamiento de lobos marinos en Los Islotes. Foto: Elizabeth Olmos-Martínez.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

"Implementar un programa de capacitación a organizaciones, empresas turísticas y pescadores para alternativas productivas cada año durante los siguientes cinco años" (CONANP 2011:58); para lo cual una de las acciones contempladas es elaborar estudios de capacidad de carga y los límites de cambio aceptable para definir la inclusión de nuevos proyectos turísticos.

Es imprescindible que para la práctica del ecoturismo sustentable de todas las ANP se deba elaborar su programa de uso público de acuerdo con las actividades permitidas y prohibidas marcadas en sus respectivos programas de manejo. Además, se debe realizar: a) un análisis exhaustivo de los servicios ecosistémicos relacionados con el ecoturismo, b) estudios de capacidad de carga turística y límites de carga aceptable, c) un diagnóstico y factibilidad de los grupos sociales, d) capacitación para la operación del ecoturismo y aplicación del programa de guía de turistas, y e) elaboración de proyectos o iniciativas de desarrollo turístico comunitario.

Referencias

Cervantes, F. 2012. *Caracterización y diagnóstico ambiental del complejo insular espíritu santo, municipio de La Paz, BCS, México*. Tesis de licenciatura. UABCS, Baja California Sur.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2000. *Programa de Manejo Complejo Insular del Espíritu Santo*. SEMARNAT, México.

—. 2011. *Programa de Manejo del Parque Nacional exclusivamente la Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo*. Versión autorizada para consulta pública. SEMARNAT, México.

—. 2014. *Programa de Manejo Parque Nacional exclusivamente la zona marina del Archipiélago del Espíritu Santo*. SEMARNAT, México.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2017. *A global self-consistent, hierarchical, high-resolution geography database*. En: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>, última consulta: septiembre de 2017.

Olmos-Martínez, E., O. Arizpe, M.R. Contreras-Loera *et al.* 2015a. Beneficio turístico-recreativo a partir de la riqueza biológica en el Complejo Insular Espíritu Santo, Baja California Sur. En: *¿Legitimidad o reconocimiento? Las investigadoras del SNI. Retos y propuestas*. A. Mendieta-Ramírez (coord.). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla/Ediciones La Biblioteca, Puebla, pp. 577-584.

Olmos-Martínez, E., O.A. Arizpe-Covarrubias, R.M. Ibáñez Pérez y A. Ortega-Rubio. 2015b. Servicios ecosistémicos con potencial turístico del Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, México. *Teoría y Praxis* número especial 2015:158-173.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Valoración económica de los servicios ecosistémicos amenazados por un proyecto minero: el caso de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna

Paloma Ortega Arriaga, Karina Caballero Güendulain, Carlos Andrés López Morales y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

La Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna se encuentra entre los municipios de La Paz y Los Cabos; se decretó en 1994 con una extensión de 112 437 hectáreas (Gómez-Pompa y Dirzo 1995, Ortega-Rubio y Romero-Schmidt 2013), y desde 2003 forma parte de la red de 651 reservas del programa El Hombre y la Biosfera (MAB por sus siglas en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO 2011). Además, fue designada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) como una de las 152 regiones terrestres prioritarias (RTP) de México, debido a la gran riqueza biológica que alberga y su alto número de endemismos (Arriaga *et al*. 2000), incluyendo la presencia del único bosque de pino y encino en Baja California Sur, y la única selva seca de la península (Arriaga-Cabrera y Ortega-Rubio 1988).

A pesar de ser una de las reservas de la biosfera con menor población en su interior, los servicios ecosistémicos que presta son esenciales para miles de habitantes del estado. Respecto a los servicios hidrológicos, esta área es la principal zona de recarga de los mantos acuíferos y la más productiva de la entidad (Arriaga-Cabrera y Ortega-Rubio 1988). En ella ocurre la mayor captación de precipitación con un promedio entre 401 y 600 mm/año, contra 222 mm/año correspondiente al promedio estatal (CONAGUA 2016). De acuerdo con los datos del programa de manejo de la reserva, de esta sierra depende 70% del suministro de agua (consumo doméstico, uso industrial y comercial) de los municipios de La Paz y Los Cabos (CONANP 2003), en los cuales existe una presión sobre el recurso hídrico del 80% (CONAGUA 2016).

A pesar de su régimen de protección, diversas concesiones mineras a cielo abierto la amenazan, como el proyecto Los Cardones (CSRM 2014, Defiende la Sierra 2013, 2016, Desarrollos Zapal 2013, 2017, Ortega-Rubio y Romero-Schmidt 2012, 2013).[1] Este escrito tiene como objetivo exponer la cuantificación y valoración en términos económicos de los servicios ecosistémicos que serían afectados por el establecimiento de dicho proyecto minero para la extracción de oro. En este sentido, se consideró a los servicios hidrológicos y la cobertura vegetal como aspectos principales para

1 Para más información sobre el proyecto Los Cardones consultar: http://www.loscardones.com.mx/.

Ortega Arriaga, P., K. Caballero Güendulain, C.A. López Morales y A. Ortega-Rubio. 2025. Valoración económica de los servicios ecosistémicos amenazados por un proyecto minero: el caso de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 152-155.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

aproximar una valoración económica de los servicios ecosistémicos amenazados, en particular la provisión de agua.

Proyecto minero Los Cardones

Específicamente, establecer este proyecto minero involucra la instalación de una presa para almacenar los residuos derivados de la extracción minera (espacios conocidos como jales). Aunque la presa se establecería fuera de los límites de la reserva, el sitio designado para su construcción está en la cuenca que abastece al acuífero El Carrizal, el cual se conecta con el acuífero de La Paz (CONAGUA 2009a). Con base en ello, se estimó una fracción de los costos económicos totales que implicaría un derrame de la presa de jales de la mina (cuadro 1). De ocurrir la contaminación de este volumen de agua, no podría utilizarse el recurso hídrico de los acuíferos El Carrizal y La Paz, por lo que el monto total de los derechos perdidos ascendería a cerca de 255 millones de pesos (MDP) anuales.[2]

Otro impacto ambiental por considerar es la superficie afectada por el establecimiento de la planta desalinizadora que contempla el proyecto para proveer agua para el funcionamiento de la mina. Dicha planta abarcaría una superficie de 1.9 ha en la zona costera del Pacífico. Para determinar el valor económico de este impacto se usaron de referencia los valores económicos de los servicios ambientales de acuerdo con Costanza y colaboradores (2014) y el método de transferencia de beneficios (Brookshire y Neil 1992, López-Morales 2008, Bureau of Labour Statistics 2018), el cual consiste en estimar los valores económicos de los servicios de un ecosistema determinado utilizando los valores de estudios realizados en otro contexto o región. De esta manera, el monto en unidades monetarias que refleja las pérdidas de los servicios ambientales que provee la superficie costera resultó en 353 873 pesos anuales.[3]

Cuadro 1. Cuantificación económica de contaminación de los acuíferos.

Clave[a]	Nombre[a]	Volumen[b] (m^3)	Monto (MDP)
322	El Carrizal	12 000 000	32.06
324	La Paz	29 000 000	222.49

[a]De acuerdo con la clasificación de cuenca de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); [b]acorde al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). MDP: millones de pesos. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2009b, SHCP 2015.

Respecto al impacto en la cobertura vegetal, Los Cardones implicaría el desmonte de un área total de 505 ha para el establecimiento del emplazamiento minero. De esta superficie, 491 ha corresponden a selva baja caducifolia y 14 ha son de matorral sarcocaule. Con base en los valores determinados por Costanza y colaboradores (2014), se calculó el valor de dichas áreas de acuerdo con el tipo de bioma al que corresponden,[4] excluyendo el matorral sarcocaule por no estar enlistado en dicho estudio. En este sentido, el desmonte de las 491 ha de selva baja caducifolia representaría una pérdida de 54.44 MDP anuales por los servicios que este ecosistema dejaría de prestar (p.e. regulación de clima, control de erosión, ciclo de nutrientes, recreación). Los costos ambientales de la planta desalinizadora y del emplazamiento minero (excluyendo las 14 ha de matorral sarcocaule), por tanto, ascenderían a 54.8 MDP anuales; mientras que un derrame de la presa de jales equivaldría a un costo de 255 MDP anuales.

Adicionalmente, por medio del método de transferencia de beneficios, se realizó una valoración de los servicios ambientales derivados de la cobertura vegetal total en Sierra La Laguna. Cabe señalar que no hay información disponible del total de hectáreas

2 Para el cálculo se utilizó la metodología del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC 2014), con la cual se cuantificaron los daños ambientales derivados del derrame de Buenavista del Cobre en Sonora: se multiplicó el pago de derechos (SHCP 2015) del agua por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas, por el volumen concesionado de los dos acuíferos de acuerdo al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

3 Para el cálculo se utilizó el valor económico actualizado a 2011, desarrollado por Costanza *et al.* (2014), del bioma costero que afectaría la construcción de la planta desalinizadora: 8 944 dólares/ha/año (valor actualizado a su equivalente en 2017 usando el índice de precios del consumidor de Estados Unidos de América de 2011 y 2017). Para la conversión a pesos mexicanos se ocupó el tipo de cambio promedio anual de 2017 de 18.9104 MXN/USD.

4 El cálculo de selva baja caducifolia se basa en los valores actualizados para el bosque tropical que asciende a 5 382 dólares/ha/año (Costanza *et al.* 2014). Valor actualizado a su equivalente en 2017 usando el índice de precios del consumidor de Estados Unidos de América de 2011 y 2017. Para la conversión a pesos mexicanos se ocupó el tipo de cambio promedio anual de 2017 de 18.9104 MXN/USD.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

que abarca cada ecosistema en la reserva; por lo tanto, la valoración económica se basó en la información descrita en el programa de manejo. De acuerdo con la clasificación de Costanza y colaboradores (1997), la selva baja caducifolia corresponde al bosque tropical; mientras que los bosques de encino y pino-encino corresponden al bioma de bosque templado o boreal. Los resultados del método de transferencia de beneficios reflejan un valor de 9 637 MDP anuales, incluso sin considerar 5 362 ha de matorral sarcocaule, de modo que el valor total de los ecosistemas en toda la reserva debe ser mayor (cuadro 2).

Cuadro 2. Cuantificación económica por tipo de bioma presente en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna.

Bioma	Superficie (ha)	Valor total 2017 (MDP/año)
Selva baja caducifolia	58 701	6 510
Bosque de encino	40 102	2 592
Bosque de pino-encino	8 272	535
Total	**107 075[a]**	**9 637[b]**

[a]La cuantificación económica no abarca la superficie total de la reserva (112 437 ha) por falta de datos; [b]cálculos estimados con base en los valores de los tipos de bioma. Fuente: elaboración propia con datos de CONANP 2003, Costanza *et al.* 2014.

Conclusiones

Los cálculos presentados son estimaciones del daño ambiental y potencial riesgo que implica el establecimiento de la minería a cielo abierto en la reserva. Sin embargo, estas cuantificaciones son acotadas, debido a que no fue posible considerar la totalidad de los costos económicos de los impactos de la mina. No obstante, este tipo de análisis son de utilidad para cuantificar el valor de los servicios ambientales generados en la Sierra La Laguna y para defender su conservación garantizando la sustentabilidad del patrimonio natural del estado y de México en general. Asimismo, este trabajo confirma que el cambio de uso del suelo es uno de los mayores desafíos que enfrentan actualmente las áreas naturales protegidas en el país (Figueroa y Sánchez-Cordero 2008), lo que dificulta la conservación de los servicios ecosistémicos que proporcionan.

Este estudio resalta el alto riesgo implicado en la minería a cielo abierto como un factor de presión sobre los servicios ambientales que presta la reserva. Además de la significativa pérdida del aporte hídrico por la deforestación de la zona, la potencial contaminación de los recursos hídricos podría ocasionar una tragedia ecológica (Acosta-Vargas, *et al.* 2001, Armendáriz-Villegas *et al.* 2015, Flores-López 2009).

Cabe destacar la importancia de la valoración económica de los servicios ambientales como una herramienta para la toma de decisiones, útil para determinar la viabilidad de actividades económicas dentro de áreas naturales protegidas. En este caso, el resultado es claro: la autorización ambiental del proyecto Los Cardones no se justifica bajo ninguna circunstancia, debido a la potencial pérdida de los servicios ambientales que genera la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna.

Referencias

Acosta-Vargas, B., L. Méndez-Rodríguez, A. Naranjo-Pulido *et al.* 2001. Environmental health risks by arsenic consumption in water wells in the Cape region, Mexico. *Environmental Health Risk* 5:131-138.

Armendáriz-Villegas, E., M. Covarrubias-García, E. Troyo-Diéguez *et al.* 2015. Metal mining and natural protected areas in Mexico: geographic overlaps and environmental implications. *Environmental Science and Policy* 48:9-19.

Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar *et al.* 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. CONABIO, México.

Arriaga-Cabrera, L. y A. Ortega-Rubio (eds.). 1988. *La Sierra de la Laguna de Baja California Sur*. CIBNOR, La Paz.

Brookshire, D. y H. Neil. 1992. Benefits transfers and empirical issues. *Water Resources Research*. 28(39):651-655.

Bureau of Labour Statistics. 2018. *Historical consumer price index for all urban consumers*. En: <https://www.bls.gov/cpi/tables/historical-cpi-u-201712.pdf>, última consulta: 8 de febrero de 2018.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2009a. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero El Ca-*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

rrizal (0322), estado de Baja California Sur. En: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102828/DR_0322.pdf>, última consulta: 20 de febrero de 2018.

—. 2009b. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero La Paz (0324), estado de Baja California Sur*. En: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102831/DR_0324.pdf>, última consulta: 20 de febrero de 2018.

—. 2016. *Estadísticas del agua en México*. En: <http://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM2016.pdf>, última consulta: 20 de febrero de 2018.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2003. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/120_libro_pm.pdf>, última consulta: 28 de septiembre de 2019.

Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot *et al*. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.

Costanza, R., R. de Groot, P. Sutton *et al*. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26:152-158.

CSRM. Centre for Social Responsibility in Mining. 2014. *Análisis del desarrollo minero en Baja California Sur: proyecto minero Los Cardones*. En: <https://icfdn.org/wp-content/uploads/2015/12/CSRM-LOS-CARDONES-report-Final.pdf>, última consulta: 20 de febrero de 2018.

Defiende la Sierra. 2013. *Desechos tóxicos a ser producidos por la mina Los Cardones*. En: <http://defiendelasierra.org/wp-content/uploads/lc1_02.jpg>, última consulta: 20 de febrero de 2018.

—. 2016. *Amenazas mineras*. En: <http://defiendelasierra.org/dls/los-cardones-antes-paredones-amarillos-y-concordia/analisis-mia-2013/>, última consulta 20 de febrero de 2018.

Desarrollos Zapal. 2013. *Manifestación de impacto ambiental modalidad regional Los Cardones*. En: <http://app1.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/2012/03BS2012M0005.pdf>, última consulta: 20 de febrero de 2018.

—. 2017. *Localización*. En: <http://www.loscardones.com.mx/>, última consulta: 8 de febrero de 2018.

Figueroa, F. y V. Sánchez-Cordero. 2008. Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 17:3223-3240.

Flores-López, M. 2009. *Evaluación preliminar del potencial hídrico de la Sierra de la Laguna, BCS, como fuente de recarga de los acuíferos circundantes*. Tesis de ingeniería. Instituto Tecnológico de La Paz, México.

Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo (coords.). 1995. *Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México*. INE/SEMARNAT/CONABIO, México.

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2014. *Cuantificación del daño ambiental y elementos para determinar la compensación asociada al derrame de lixiviado de sulfato de cobre de la empresa Buenavista del Cobre, S.A., en Sonora*. INECC/SEMARNAT, México (inédito).

López-Morales, C. 2008. Discounting the future and the marginal damage costs of CO_2 emissions: reducing the uncertainty. En: *Creating sustainability within our midst. Challenges for the 21st century, Proceedings of the 2007 Conference of the United States Society for Ecological Economics*. Pace University Press, Nueva York.

Ortega-Rubio, A. y H. Romero-Schmidt. 2012. Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna: salud ambiental *versus* minería a cielo abierto. *Ciencia y Desarrollo* 2012:14-21.

—. 2013. Polémica actual: el decreto de reserva *versus* minería a cielo abierto. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la reserva de la biosfera Sierra La Laguna, BCS, México*. M. Lagunas-Vázques, L. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 275-302.

SHCP. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. 2015. *Resolución Miscelánea Fiscal para 2016*. Publicada el 23 de diciembre de 2015 en el Diario Oficial de la Federación. Texto no vigente.

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2011. *MAB biosphere reserves directory*. En: <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=MEX+13&mode=all>, última consulta: 28 de septiembre de 2015.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Acceso diferenciado por género a los beneficios de la biodiversidad

Magdalena Lagunas Vázques, Mariana Bobadilla Jiménez y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

No existe ninguna realidad que sea neutra en cuanto al género. Esto incluye tanto las circunstancias, como los intereses de las mujeres y los hombres respecto al manejo de la biodiversidad y todas las interrelaciones con sus entornos naturales inmediatos (Soares *et al*. 2005, Aguilar 2007, Roehr 2007, Lagunas-Vázques *et al*. 2013, 2015). Asimismo, existen diferencias en cuanto al acceso, uso y control de los beneficios derivados de la biodiversidad entre hombres y mujeres, así como distintos conocimientos que poseen respecto a la naturaleza y sus recursos. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones sobre biodiversidad no utilizan el enfoque de género (Aguilar 2007).

Por su parte, los medios de vida sostenibles (MVS) son todas aquellas capacidades o recursos económicos, físicos, naturales, humanos y sociales, así como las actividades (incluyendo la generación de empleo e ingresos) que una población o unidad familiar tiene y utiliza para buscar su bienestar y una mejor calidad de vida (Gottret 2011). En este trabajo se caracterizaron los MVS con los que cuentan las comunidades dentro de tres áreas naturales protegidas (ANP): Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, el Parque Nacional Cabo Pulmo y la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, con énfasis en la situación de las mujeres. El proceso metodológico consistió en la revisión exhaustiva de información especializada para cada ANP (investigaciones desarrolladas en las ANP con perspectiva de género), así como la identificación de las interacciones de apropiación (identificación personal y/o adjudicación de algún recurso natural), apreciación (percibir la importancia y/o valorar la naturaleza y/o los recursos naturales), reconocimiento (identificar, catalogar, determinar atributos a la naturaleza inmediata y/o a los recursos naturales), uso, manejo y conservación, por parte de las mujeres en las tres ANP. Esta información se sistematizó a través del marco conceptual de los MVS (Gottret 2011), con la finalidad de generar una línea base de conocimiento.

Diagnóstico femenino

De los 11 recursos que se describen en la metodología de los MVS que tienen que ver con aspectos personales, familiares, comunitarios, sociales, institucionales, naturales, físicos y actividades socioeconómicas (Gottret 2011), las tres ANP presentan nueve, y cada una muestra diferentes proporciones y especificaciones en sus respectivos recursos, categorías y subcategorías (cuadros 1, 2 y 3).

Lagunas-Vázques, M., M. Bobadilla-Jiménez y A. Ortega-Rubio. 2025. Acceso diferenciado por género a los beneficios de la biodiversidad. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 157-161.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Descripción de las capacidades de acuerdo con los medios de vida sostenibles en cada ANP.

Descripción	Parque Nacional Cabo Pulmo	Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna	Reserva de la Biosfera El Vizcaíno
Capacidades	• Cuidados familiares • Manualidades, corte y confección • Negocios y ventas	• Ventas y negocios • Producción artesanal de dulces • Elaboración de quesos, chorizos y machaca • Cuidados familiares • Manualidades	• Ventas y negocios • Producción artesanal de dulces • Elaboración de quesos, chorizos y machaca • Cuidados familiares • Manualidades
Aptitudes	Reproducción social*	Reproducción social	Reproducción social
Talentos	Sazón al preparar las comidas		
Actitudes	• Responsabilidad • Dinamismo • Ambición	• Responsabilidad • Dinamismo • Ambición • Emprendimiento	• Responsabilidad • Dinamismo • Ambición • Organización • Emprendimiento

*Trabajo reproductivo o reproducción social: actividades de atención y cuidado al hogar y la familia. Fuente: elaboración propia con datos de Soares *et al.* 2005, Castorena-Davis *et al.* 2008, Lagunas-Vázques *et al.* 2008, 2013.

Cuadro 2. Descripción de los recursos económicos, humanos y naturales.

Recursos	Parque Nacional Cabo Pulmo	Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna	Reserva de la Biosfera El Vizcaíno
Económicos	Servicios domésticos	• Ganado • Plantación agrícola • Viveros	• Ganado • Plantación agrícola • Viveros • Pesquerías
Humanos		• Conocimientos tradicionales medicinales • Conocimientos tradicionales culinarios • Conocimientos tradicionales nutricionales	• Conocimientos tradicionales medicinales • Conocimientos tradicionales culinarios • Conocimientos tradicionales nutricionales
Naturales	Preparación de pescado para alimentarse	• Colecta de frutas • Colecta de plantas medicinales y extracción de leña • Uso del suelo agrícola • Uso del suelo agostadero • Colecta de plantas de ornato	• Colecta de frutas • Ecoturismo (avistamiento de ballenas) • Uso del suelo agrícola • Uso del suelo agostadero • Colecta de plantas de ornato • Colecta de plantas medicinales • Explotación pesquera • Extracción de leña

Fuente: elaboración propia con datos de Soares *et al.* 2005, Castorena-Davis *et al.* 2008, Lagunas-Vázques *et al.* 2008, 2013.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 3. Descripción de los recursos de las actividades socioeconómicas.

Actividades	Parque Nacional Cabo Pulmo	Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna	Reserva de la Biosfera El Vizcaíno
Generación de empleos	Trabajo reproductivo	• Trabajo reproductivo • Producción de animales de granja para autoconsumo • Agricultura de traspatio para autoconsumo	• Trabajo reproductivo • Producción de animales de granja para autoconsumo • Agricultura de traspatio para autoconsumo • Manejo de ganado bovino (p.e. pastoreo, ordeña, preparación de quesos)
Generación de ingresos	• Venta de alimentos preparados • Trabajo doméstico remunerado limpiando casas • Ventas-comercio • Empleada doméstica en hotel	• Ventas-comercio • Venta de alimentos preparados • Restaurante • Huerta • Ganadería semi-extensiva • Agricultura de ornato	• Ventas-comercio • Venta de alimentos preparados • Restaurante • Huerta • Ganadería semi-extensiva • Agricultura orgánica • Agricultura en viveros • Empresarias pesqueras • Obreras en empacadoras • Empresarias ecoturísticas • Servicios ecoturísticos

Fuente: elaboración propia con datos de Soares *et al.* 2005, Castorena-Davis *et al.* 2008, Lagunas-Vázques *et al.* 2008, 2013.

Las categorías de recursos naturales (cuadro 2) y las actividades que generan ingresos económicos (cuadro 3), son las que se muestran más abundantes en cuanto a subcategorías, principalmente en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, que posee más territorio y ecosistemas diferentes. Es importante señalar que en la literatura, para los usos del suelo de agostadero, agricultura, huerta, viveros, agricultura orgánica y ganadería, las mujeres son las principales beneficiarias de los recursos, aun cuando no son propietarias (Soares *et al*. 2005, Castorena-Davis *et al*. 2008, Lagunas-Vázques *et al*. 2008, 2013).

Para obtener los porcentajes de los recursos presentes en cada ANP, se tomó como 100% la suma de todas las expresiones de las tres ANP (subcategorías) que se presentaban en una categoría dada, dentro de la tipificación de un recurso, y a partir de ahí se obtuvo el porcentaje respectivo para esa categoría en cada ANP (cuadro 4), con la suma de todas las categorías y la obtención de un promedio para obtener el valor de un recurso por ANP. Cuando solo se presentó una subcategoría, se le otorgó arbitrariamente el porcentaje de 50%, para evitar darle un valor de 100% a una presencia mínima.

El porcentaje para cada ANP (cuadro 4) se obtuvo al promediar los porcentajes totales de los recursos para cada una. En este sentido, el Parque Nacional Cabo Pulmo presenta el menor porcentaje de recursos incluyendo las capacidades y los recursos humanos, económicos, naturales y socioeconómicos con los que las mujeres del parque interaccionan; mientras que las dos reservas de la biosfera analizadas denotan capacidades muy parecidas.

En total se reconocieron 49 subcategorías, de las cuales 30 corresponden a actividades o interacciones consideradas femeninas dentro del ámbito tradicional; por su parte, 19 las realizan tanto hombres como mujeres (neutras). Con base en estos resultados, se puede constatar que prevalece un estereotipo genérico/sexista hacia las actividades que desarrollan y en las que interaccionan las mujeres en las ANP analizadas. De igual forma, es clara esta preponderancia en

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 4. Porcentajes de los recursos presentes en las tres áreas naturales protegidas.

Recurso	Parque Nacional Cabo Pulmo	Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna	Reserva de la Biosfera El Vizcaíno
Capacidades	34	60	67
Recursos	15	73	90
Actividades	26	58	89
Promedio global	25	63	82

Fuente: elaboración propia.

las subcategorías identificadas en el Parque Nacional Cabo Pulmo, donde 80% son subcategorías catalogadas como femeninas (figura 1).

Hay una clara diferencia en las interacciones con la biodiversidad que desarrollan las mujeres en las tres ANP. En el marco de los MVS, esto se refiere tanto a sus capacidades, como a los recursos que aprovechan y/o poseen, así como las actividades socioeconómicas en las que se ven inmersas. En Cabo Pulmo el porcentaje global observado sugiere una situación de menores capacidades y recursos. Es importante señalar que la gran mayoría de las actividades sociales y económicas en las que se desenvuelven las mujeres de las tres ANP se relacionan con actividades tradicionales que refrendan los roles de dependencia y espacio privado, lo que les resta una implicación directa en el manejo y la conservación de la naturaleza, la toma de decisiones para el mejoramiento de su entorno inmediato, y el incremento de sus capacidades y actitudes. Esta situación limita la implementación de los principios de equidad e igualdad de los planes y programas actuales del estado, así como los instrumentos internacionales en el tema.

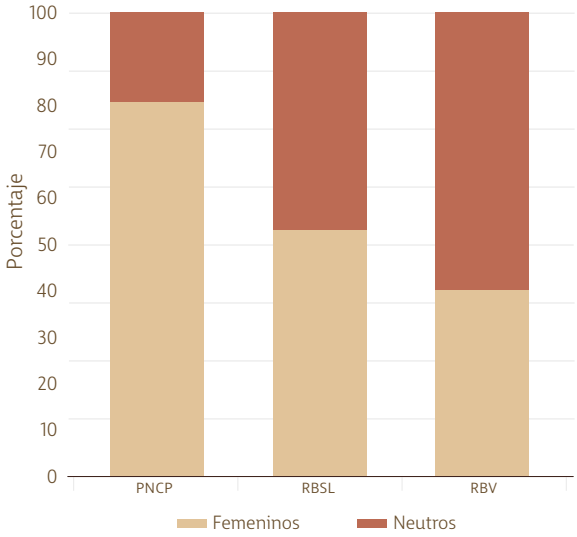


Figura 1. Porcentajes femenino y neutro de las subcategorías identificadas por área natural protegida. PNCP: Parque Nacional Cabo Pulmo; RBSL: Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna; RBV: Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones

Con los resultados de este estudio es posible presentar recomendaciones generales y particulares, que buscan revertir la situación detectada en el diagnóstico, y lograr así la integración activa y equitativa de las mujeres en las actividades relacionadas con el manejo y conservación de la biodiversidad en las ANP. Para tener mayor efectividad se debe ir más allá del ámbito de cada ANP; el asunto de equidad es estructural (institucional), por lo que deben de permear ascendentemente y viceversa (metafóricamente como el fenómeno de capilaridad, penetrando, ascendiendo y descendiendo en todas las capas). Estas recomendaciones son:

- Implementar, desde la administración de cada ANP, la perspectiva de género (incluyendo la propia concienciación institucional en la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), a través de la contratación de personal capacitado y emprender acciones de igualdad y equidad entre hombres y mujeres. Los principales instrumentos nacionales e internacionales que pueden orientar en esta tarea son la Convención sobre la Eliminación de todas formas de Discriminación contra la Mujer (CEDAW por sus siglas en inglés), la Cuarta Conferencia

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Mundial sobre la Mujer Beijing 1995, el Programa Nacional para la Igualdad de Oportunidades y no Discriminación contra las Mujeres 2013-2018, la Ley General para la Igualdad entre Mujeres y Hombres y la Ley General de Acceso de las Mujeres a una Vida Libre de Violencia.

- Ejecutar actividades como talleres y jornadas de concientización, sensibilización e información en género, igualdad y equidad humana en las tres ANP, con la finalidad de ofrecer a las mujeres que habitan en estos espacios naturales autoestima (autoconcepto), dignidad, empoderamiento, autoconfianza, valorización personal e independencia (emocional, económica e intelectual).
- Específicamente en el Parque Nacional Cabo Pulmo, llevar a cabo una jornada de concientización sensibilización e información en desigualdad de género, igualdad y equidad humana a toda la población. Es importante que en este tipo de actividades también se ofrezca a los hombres de la comunidad.
- A partir de la información del diagnóstico se pueden desarrollar los procesos metodológicos participativos de la propuesta conceptual de los MVS para la implementación de una estrategia para diseñar iniciativas de reducción de pobreza, fortalecimiento de capacidades locales e incremento de la sostenibilidad social, económica, ambiental y de gestión en las comunidades de las ANP y/o utilizar la aplicación metodológica del diagnóstico en otras áreas protegidas para identificar y caracterizar *a priori* y con énfasis en la condición femenina, los medios de vida de las comunidades dentro de las ANP.

Agradecimientos

Este estudio se llevó a cabo con el apoyo económico del Proyecto 280030 de Redes Temáticas de CONACYT y del Proyecto 251919 de Ciencia Básica de CONACYT. La autora principal pertenece al Programa de Cátedras CONACYT 2017/2018 asignada al Centro de Cambio Global para la Sustentabilidad en el Sureste A.C.

Referencias

Aguilar, L. 2007. *¿Por qué las mujeres están ausentes en el manejo y la conservación de la biodiversidad?* En: <http://ecodes.org/archivo/proyectos/archivo-ecodes/pages/especial/mujeres_ma/lorena_aguilar.html>, última consulta: 14 de noviembre de 2017.

Castorena-Davis, L., P. Santelices-Letelier y M. Pacheco-Valaguez. 2008. Mujeres de sal: género y turismo sustentable en Cabo Pulmo. En: *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, BCS* México. San Diego State University/UABCS/CONACYT, México, pp. 223-248.

Gottret, M.V. 2011. *El enfoque de medios de vida sostenibles. Una estrategia para el diseño e implementación de iniciativas para la reducción de la pobreza.* Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.

Lagunas-Vázques, M., L.F. Beltrán-Morales, J. Urciaga-García y A. Ortega-Rubio. 2008. Evaluación rural participativa: uso de los recursos naturales en la reserva de la biosfera El Vizcaíno, BCS, México. *Economía, Sociedad y Territorio* 8(26):451-476.

Lagunas-Vázques, M., E. Rubio y Fierro-Bandala, E.F. Cervantes-Martínez *et al.* 2013. Apropiación de la naturaleza por parte de las y los pobladores rurales de la REBIOSLA: análisis con enfoque de género en el uso de los recursos naturales. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 167-194.

Lagunas-Vázques, M., A. Gerardo-Sosa y Silva, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio. 2015. La perspectiva de género en los estudios sociales en las ANP de nuestro país: Una propuesta conceptual y metodológica. En: *Las áreas naturales protegidas y la investigación científica en México.* A. Ortega-Rubio, M.J. Pinkus-Rendón e I.C. Espitia-Moreno (eds.). CIBNOR/Universidad Autónoma de Yucatán/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, pp. 211-248.

Roehr, U. 2007. *Género, medio ambiente, sostenibilidad - Un largo camino hacia una sociedad con equidad de género*. En: <http://ecodes.org/archivo/proyectos/archivoecodes/pages/especial/mujeres_ma/Ulrike_Roehr_esp.html>, última consulta: 14 de noviembre de 2017.

Soares, D., L. Castoreña y E. Ruiz. 2005. Mujeres y hombres que aran en el mar y en el desierto: Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, BCS. *Frontera Norte* 17(34):67-102.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Usos de la biodiversidad

Andrea Marcela Geiger Villalpando, René Arturo Kachok Gavarain, Reyna María Ibáñez Pérez,
Víctor Ángel Hernández Trejo, Sergio Zamora Salgado, Rodrigo Serrano Castro y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

En cualquier actividad económica está intrínseco el uso de los recursos naturales y, en consecuencia, de la biodiversidad. En la actualidad, las principales preocupaciones respecto al medio ambiente se concentran en el impacto que generan las actividades económicas encaminadas a fortalecer y acrecentar el desarrollo (Krippendorf 1987). Esta preocupación se centra en el proceso de degradación que pueden experimentar los recursos naturales destinados al desarrollo de dichas actividades económicas y en el grado de irreversibilidad de ese proceso. Para ello, se han establecido límites a la capacidad de adaptación de los ecosistemas, que se reflejan en una reducción irreversible de la diversidad ecológica (Krippendorf 1987). En este capítulo se exponen algunas de las formas de apropiación de la diversidad biológica en Baja California Sur, en el ámbito de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), la pesca y la agricultura que se dan en la entidad.

Uso de la vida silvestre

En 1997, la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca[1] (SEMARNAP 1997a) estableció el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA), con la intención de contribuir a la conservación de la biodiversidad y tratar de lograr un aprovechamiento sustentable. En las UMA se aprovechan especies de vida silvestre bajo distintas modalidades, como criaderos (extensivos e intensivos), zoológicos, viveros o jardines botánicos, entre otros. En ellas se promueven esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, por medio del uso racional, ordenado y planificado de los recursos naturales renovables que contienen, para frenar y revertir los procesos de deterioro ambiental (SEMARNAT 2004).

En un principio, estos programas de reservas y biodiversidad se basaron en los lineamientos planteados en 1992 por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el marco de la Conferencia sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (Cumbre para la Tierra;

1 Actualmente Secretaría de Medio Amiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Geiger Villalpando, A.M., R.A. Kachok Gavarain, R. Ibáñez, V. Hernández-Trejo, S. Zamora-Salgado, R. Serrano Castro y A. Ortega-Rubio. 2025. Usos de la biodiversidad. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 163-174.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

CNUMAD 2002). Sin embargo, a partir del surgimiento de las UMA y la Ley General de Vida Silvestre, se estipuló claramente los destinos del beneficio del aprovechamiento de la vida silvestre para su conservación y manejo, con la finalidad de fortalecer las atribuciones vinculantes con sus resguardantes en el territorio nacional (SEMARNAT 2000). Específicamente en Baja California Sur se realiza el aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) a través de las UMA, como es el caso de la localidad de Bonfil, en el municipio de Mulegé, y de la UMA que da protección al venado bura (*Odocoileus hemionus*, figura 1) en el rancho los Venados, municipio de La Paz (Félix 2006).

Turismo

La biodiversidad aporta beneficios a toda la sociedad. En el caso de Baja California Sur una gran parte de la actividad económica se asocia a los servicios recreativos que ésta proporciona y se aprovechan mediante la actividad turística (Olmos-Martínez *et al.* 2015). Cabe señalar que el turismo ha sido responsable de la introducción de iniciativas de planificación por parte de la administración gubernamental, con el fin de controlar y mantener la calidad ambiental (Sancho 2008). Desgraciadamente, muchos de estos planes se realizaron cuando ya existía un elevado grado de deterioro de los recursos y las atracciones.

La expectativa de aumentar el número de visitantes contribuye a aumentar los esfuerzos para la conservación y la planificación, especialmente cuando la actividad turística es contemplada como una actividad importante en la generación de recursos y empleo (Sancho 2008). En este sentido, algunos sitios donde se ha potencializado el turismo en esteros y lagunas de agua salada son Puerto Escondido, Nopoló, Balandra y el estero de San José del Cabo (Ibáñez 2011).

La existencia y buen estado de ecosistemas, hábitats, especies de flora y fauna representan una ventaja competitiva en el territorio sudcaliforniano con

Figura 1. Venado bura (*Odocoileus hemionus*), en su ambiente natural en el municipio de Comondú. Foto: Evelyn Patricia Ríos Mendoza/Banco de imágenes CONABIO.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

relación a otras partes del país (Ibáñez 2011). Cada año más de 2 millones personas arriban al estado con fines recreativos y turísticos (INEGI 2017), la mayoría se concentran en los destinos de Los Cabos y La Paz, donde se alberga más de 60% de la afluencia, y se encuentra 80% de la infraestructura de hospedaje (Ibáñez 2011). Al igual que en la mayoría de los destinos de playa del país, en el estado se observan grandes cantidades de visitantes que muestran predilección por el turismo de masas o tradicional, lo que constituye la modalidad predominante (Ibáñez 2011).

En consecuencia, se genera una gran derrama económica; sin embargo, a la par se producen problemáticas socioeconómicas y serias amenazas para la conservación de la biodiversidad, como la modificación del paisaje, el alto consumo de agua en zonas turísticas, la captura ilegal de especies en riesgo, el cierre del acceso público a playas por parte de desarrolladores turísticos,[2] la perturbación de especies marinas, la excesiva concentración de visitantes en zonas naturales, y el incremento y manejo ineficiente de los residuos generados en las playas y los complejos turísticos (Ibáñez 2011). Además, la presencia de fenómenos como el cambio climático se suman a las amenazas para la conservación de la biodiversidad con fines turísticos.

La mayoría de las problemáticas anteriores, se acentúan en zonas aledañas al corredor turístico de Los Cabos, el cual se ha convertido en un polo de crecimiento, resultado de una mezcla de inyección de capital gubernamental y extranjero que ha impulsado un incremento notable en los niveles de inversión y empleo. Cabe señalar que el crecimiento de la región Cabeña es una economía de enclave, que se caracteriza por el escaso control de los impactos socioambientales, en relación con la actividad turística (Ivanova *et al.* 2012, Ibáñez 2015). De perdurar estas condiciones, el futuro de las organizaciones turísticas y de las comunidades receptoras puede verse comprometido (Carter 1995) y con ello, provocar la degradación del medio ambiente y la pérdida de la identidad local.

Por el contrario, derivado de una creciente corriente a nivel mundial, el turismo alternativo ha tomado fuerza en el Baja California Sur y en la actualidad presenta una demanda considerable en las siguientes actividades: a) ecoturismo, en donde se incluyen senderismo interpretativo, observación de ecosistemas, de flora y de fauna, educación ambiental; b) turismo de aventura, que incluye buceo, kayak, escalada, montañismo, tirolesa, rapel, surfing y windsurfing; y c) turismo rural, que comprende vivencias místicas, agroturismo, talleres artesanales y de comida tradicional, solo por mencionar algunas. Por sus características las zonas rurales o naturales cuentan con mayor potencial para el desarrollo de estas actividades y su oferta representa una alternativa para los visitantes que buscan otras opciones de esparcimiento, el contacto con la naturaleza y las comunidades locales. En las áreas naturales protegidas (ANP) de la entidad existen ocho proyectos en operación con enfoque sustentable (cuadro 1; CONABIO 2018).

Los proyectos de turismo alternativo se localizan en ANP, donde el desarrollo turístico es a baja escala y en algunas subzonas está permitido (p.e. la actividad de avistamiento de ballenas; figura 2). Sin embargo, la conservación de dichos sitios está en constante amenaza, ya sea por la inminente expansión del desarrollo masivo o por el creciente interés de inversionistas mineros, en particular de quienes promueven técnicas de minería a cielo abierto, que buscan explotar la riqueza y recursos minerales que albergan las ANP de la entidad. La proliferación de proyectos en ese sentido representaría una seria afectación a la riqueza paisajística, a las especies y los ecosistemas locales y, en consecuencia, a los atractivos que motivan los desplazamientos de viajeros.

Por la importancia biológica, cultural y económica de la biodiversidad, es necesario que las actividades ofertadas por el sector turístico constituyan un medio que coadyuve al desarrollo sostenible de la entidad. En el proceso se debe garantizar que los beneficios económicos generados en la utilización directa o indirecta de recursos o elementos naturales se hagan llegar a las comunidades rurales y a las propias comunidades receptoras. A la par, es indispensable reforzar esfuerzos en materia de educación ambiental para prestadores de servicios, población local y visitantes. De igual manera, es necesario dar pasos agigantados

2 Restringir el paso y limitar el acceso libre a estos lugares es una acción ilegal.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Proyectos de turismo alternativo en áreas naturales protegidas (ANP) con enfoque sustentable.

No.	Proyecto		Descripción general
	Nombre	ANP/municipio	
1	Casa Mexicana de la Ballena Gris	Reserva de la Biosfera El Vizcaíno/Mulegé	• Se conforma por 90 productores originarios de distintas entidades del país • Ofrece experiencias y convivencia con ejemplares de ballena gris dentro de la laguna Ojo de Liebre, oferta otros servicios turísticos como recorridos para el avistamiento del berrendo peninsular (*Antilocapra americana peninsularis*) y pinturas rupestres
2	Ecoturismo Kuyima	Reserva de la Biosfera El Vizcaíno/Mulegé	• Sociedad de producción integrada por miembros ejidatarios de laguna San Ignacio • Desde 1990 oferta actividades ecoturísticas como observación de ballena gris, expediciones a las pinturas rupestres de la Sierra de San Francisco, apreciación e interpretación de paisajes y geoformas
3	Red Travel México	Parque Nacional Bahía de Loreto/Loreto Parque Nacional Cabo Pulmo/ Los Cabos	• Creado en 2009, con el propósito de diseñar experiencias sustentables para zonas protegidas, tienen como visión promover el turismo como un medio para la conservación de especies como murciélagos, tortugas marinas y tiburones ballena • Recientemente, fundaron una organización sin fines de lucro denominada Red de Turismo Sustentable A.C., que entre otras tareas trabaja con comunidades rurales para gestionar el desarrollo sostenible del turismo
4	Baja by Kayak	Parque Nacional Bahía de Loreto/Loreto	• Empresa que se fundó en 1993; oferta viajes de aventura al aire libre y se especializa en expediciones de kayak de mar y avistamiento de ballenas desde La Paz y Loreto, además proporciona servicios de hospedaje
5	East Cape Adventures	Parque Nacional Cabo Pulmo/ Los Cabos	• Empresa local de reciente creación que oferta servicios de buceo y kayak
6	Cabo Pulmo Watersports	Parque Nacional Cabo Pulmo/ Los Cabos	• Cuenta con más de 20 años de experiencia, organiza inmersiones con el apoyo de buzos certificados en los arrecifes de Cabo Pulmo • Oferta cursos de buceo scuba (certificación PADI) para avanzados, principiantes o cursos de repaso de habilidades
7	Cabo Pulmo Beach Resort	Parque Nacional Cabo Pulmo/ Los Cabos	• Oferta servicios de snorkeling y buceo (mediante guías certificados) individual o en grupales • De acuerdo con las necesidades del cliente pueden incluir alojamiento, equipo de buceo, comida, guías y transporte acuático
8	Ecoadventures	Parque Nacional Cabo Pulmo/ Los Cabos	• Empresa familiar fundada en 2004 • Se especializa en ecoturismo, ofrece servicios en uno de los arrecifes mejor conservados de México

Fuente: elaboración propia con datos de CONABIO 2018, Adventure México Travel 2018, Cabo Pulmo Ecoadventures 2018, Ecoturismo Kuyimá 2018, Sea and Adventures 2018, Red Travel México 2020.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Actividad turístico recreativa de avistamiento de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en el golfo de California. Foto: Carlos Javier Navarro Serment/Banco de imágenes CONABIO.

en materia de certificación ambiental en las empresas turísticas (Ibáñez *et al.* 2016). Únicamente siete empresas son reconocidas por la implementación de prácticas amigables con el ambiente a través de certificados como el *Distintivo S* y nueve empresas con el *Sello de Calidad Punto Limpio* (SECTUR 2018). Lo anterior, evidencia que existe la preocupación genuina por parte de un número reducido de empresas por el medio ambiente y al mismo tiempo revela la urgencia de implementar mecanismos eficientes para no comprometer la biodiversidad y los propios servicios ecosistémicos (que permiten el desarrollo de la actividad turística), y en consecuencia, el bienestar de las futuras generaciones de Baja California Sur.

Agricultura

Las condiciones prevalecientes en el estado, que se pueden considerar adversas por el aislamiento geográfico del resto del país, paradójicamente han permitido conservar gran parte de sus suelos productivos libres de contaminantes para favorecer la agricultura de calidad. La sanidad e inocuidad de los productos agrícolas sudcalifornianos son fundamentales para que éstos se posicionen con gran aceptación en mercados internacionales; entre los productos del campo destacan el jitomate, el chile verde, el espárrago, y de origen orgánico la albahaca, el tomate y las hierbas aromáticas (INEGI 2017).

Los cultivos con mayor superficie sembrada en el estado son maíz grano, alfalfa achicalada, trigo, espárrago, papa, naranja (figura 3), garbanzo, cártamo, chile verde y tomate rojo (cuadro 2; INEGI 2017). Sin embargo, los cultivos con mayor valor son espárrago, tomate rojo (jitomate), chile verde, papa, maíz grano, alfalfa achicalada, naranja, trigo, fresa y calabacita (SIAP 2017). El municipio de Comondú tiene la mayor producción agrícola seguida de Mulegé, La Paz y Los Cabos (Trasviña 1989, INEGI 2017).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cabe señalar que la agricultura no deja de tener una importante presencia en el estado. Sin embargo, las obras donde se lleva a cabo esta actividad deberían de encaminarse al uso racional de agua y la conservación de mantos acuíferos, y el uso de cultivos con requerimientos bajos de agua.

Cuadro 2. Principales cultivos en el estado.

Grupo	Cultivos
Cereales	Grano de maíz y trigo
Frutales	Naranja, fresa, mango, melón, sandía, higo, aguacate, dátil, papaya, toronja (pomelo), limón, guayaba, ciruela, litchi, mandarina, macadamia, coco fruta, pistache y tuna
Orgánicos	Tomate rojo (jitomate), albahaca, ejote, fresa, chile verde, chícharo, berenjena, tarragón, salvia, chives, romero, menta, mejorana, orégano, tomillo, calabacita, cilantro, eneldo, ajo, betabel y pepino
Hortalizas	Espárrago, tomate rojo (jitomate), chile verde, pepino, calabacita, tomate verde, cebolla, col de bruselas, napa, nopalitos, ejote, col (repollo), chícharo, jícama, lechuga, zanahoria, berenjena, rábano, ajo, cilantro, calabaza, brócoli, elote, betabel y acelga
Tubérculos	Papa y camote
Oleaginosas	Cártamo y girasol
Legumbres secas	Garbanzo grano y frijol
Industriales	Aceituna y agave
Forrajes	Alfalfa achicalada, pastos y praderas, sorgo grano, sorgo forrajero en verde y maíz forrajero en verde
Especias y medicinales	Albahaca y tomillo

Fuente: elaboración propia con datos de Gobierno del Estado 2012, INEGI 2017.

Figura 3. Cultivo de producción de naranja (*Citrus sinensis*) en campos agrícolas. Foto: Laura Rojas Paredes/Banco de imágenes CONABIO.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Pesca

Baja California Sur cuenta con una extensión de 2 230 km de litoral, lo que la posiciona como la entidad con mayor extensión costera en el país (INEGI 2017), y esta condición es aprovechada por los sudcalifornianos desde diferentes sectores. La población que se dedica a la pesca a nivel estatal representa un poco más de 1% (CONAPESCA 2014). En 2014, la producción pesquera en la entidad fue de 172 415 t en peso desembarcado; mientras que el valor de la producción ascendió a 1 722 millones de pesos (0.57% del producto interno bruto nacional; CONAPESCA 2014). Desde 2014 la entidad ocupa el tercer lugar a nivel nacional en ambos conceptos (volumen y valor), y aporta alrededor de 9% del volumen de la producción nacional (cuadro 3; CONAPESCA 2014).

Cabe señalar que las capturas pesqueras anuales promediaron 144 874 t en peso vivo para el periodo 1990-2014 (CONAPESCA 2014). Las principales especies que componen las capturas estatales en peso vivo son: sardina (50%), calamar (14%), almejas (7%), camarón (5%), cabrilla (4%), tiburón, cazón y jurel (2% cada uno), pierna y langosta (1% cada una) y otras (14%). De acuerdo con los datos de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA), entre 1990 y 2014 el sector pesquero estatal logró crecer casi 2% en el rubro de la pesca de captura (figura 4; CONAPESCA 2014).

Por su parte, la acuacultura mostró un crecimiento promedio anual de alrededor de 13%. El sector pesquero estatal registró descensos en la población que se dedica a la pesca (~0.5%), reducciones en el número de plantas procesadoras (~0.7%) y de las embarcaciones mayores (2.7%). El número de embarcaciones menores (pangas) registradas aumentó en 1.4%, y de igual forma aumentaron más de 11% las unidades acuícolas (cuadro 3). Se considera que esto manifiesta una reconversión del sector pesquero de la entidad, hacia la acuacultura. Entre las especies que se cultivan en el litoral estatal destacan el ostión y el camarón, que representan 85 y 13% respectivamente, de la producción acuícola estatal. En menor medida se produce el abulón, las almejas catarina y mano de león.

Cuadro 3. Componentes de la producción pesquera para la entidad en 2014.

Componente	Número
Pescadores	9 046
Embarcaciones mayores activas	24
Plantas pesqueras	33
Embarcaciones ribereñas	3 234
Unidades de producción acuícola	28

Fuente: elaboración propia con datos de CONAPESCA 2014.

Figura 4. Actividad pesquera en Baja California Sur. Se muestra un ejemplar de *Euthynnus lineatus*. Foto: Carlos Javier Navarro Serment/Banco de imágenes CONABIO.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Dentro de las especies destacadas que se capturan en los litorales sudcalifornianos, se encuentran la langosta y el abulón que son aprovechadas por sociedades cooperativas ubicadas en la costa del Pacífico (CONAPESCA 2014). Estos productos pesqueros son para exportación, y se envían principalmente a Japón. En 2013, el abulón tuvo un volumen de exportación de 289 t, y la langosta de 1 913 t. En 2014, la entidad fue el principal estado en captura de abulón y langosta con 438 y 2 068 t respectivamente (CONAPESCA 2014), lo que representó 71% de las capturas totales de estas especies. De igual forma, Baja California Sur ocupa la primera posición en producción de almeja y calamar con 19 257 y 25 723 t respectivamente (equivalente a 50% y 60% de la captura total nacional; CONAPESCA 2014).

La captura total de la pesca estatal (en peso desembarcado) presentó el volumen más bajo el reportado en 1996 con 40 692 t, y el mayor volumen de captura se registró en 2017 (175 946 t, figura 5). A lo largo de casi tres décadas se han tenido altibajos en los volúmenes de captura, pero en todo ese periodo la tendencia muestra claramente que es de aumento (figura 5). Estos indicadores ubican indudablemente al estado como una de las entidades con mayor diversidad pesquera del país; tan sólo en 2018, autoridades y productores canalizaron una inversión superior a 145.6 millones de pesos en programas y acciones que se han reflejado en una mayor infraestructura productiva y mejor equipamiento, lo que dio excelentes resultados en 2019 (SEPADA 2019).

Por su parte, durante el periodo 1990-2003 la producción acuícola estatal mostró niveles muy bajos (figura 6), siendo el peor en 1996 con tan solo 60 t. Es en 2004 cuando comienzan importantes volúmenes de producción, con un máximo nivel en 2015 (12 610 t). Sin embargo, a partir de ese año se tuvo una vertiginosa caída, llegando a 5 782 t en 2018; lo que representó una pérdida del -54.15% en la producción para dicho periodo (figura 6).

Ganadería

En la época de la Colonia, la ganadería fue preponderante en la vida económica de los habitantes (Trasviña 1989). Desde entonces, se reconocía que las condiciones del estado, su clima y escasez de agua dificultaban la supervivencia, por lo que los primeros colonizadores que fueron los misioneros introdujeron animales caprinos y bovinos con el afán de proveerse de alimento. Éste fue un instrumento clave de expansión de la política colonizadora que sustentaba el clero; así los clérigos, en su afán por evangelizar las nuevas tierras descubiertas por Hernán Cortés, fueron

Figura 5. Volumen de capturas en peso desembarcado, para el periodo 1990-2019. Fuente: elaboración propia con datos de Secretaría de Pesca 1992, 1993, 1994, SEMARNAP 1995a, b, 1996, 1997b, 1998, 1999, 2000, SAGARPA 2002a, b, CONAPESCA 2002 a 2019.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

la columna vertebral en el auto abasto durante esos tiempos para la Península de Baja California (Trasviña 1989). Actualmente, la ganadería es una actividad tradicional de la economía estatal, pero a causa de la escasez de lluvias (menos de 200 mm en promedio al año) no ha crecido, incluso se está restringiendo. El ganado bovino es el más popular, seguido por el caprino (figura 7; SEPADA 2019).

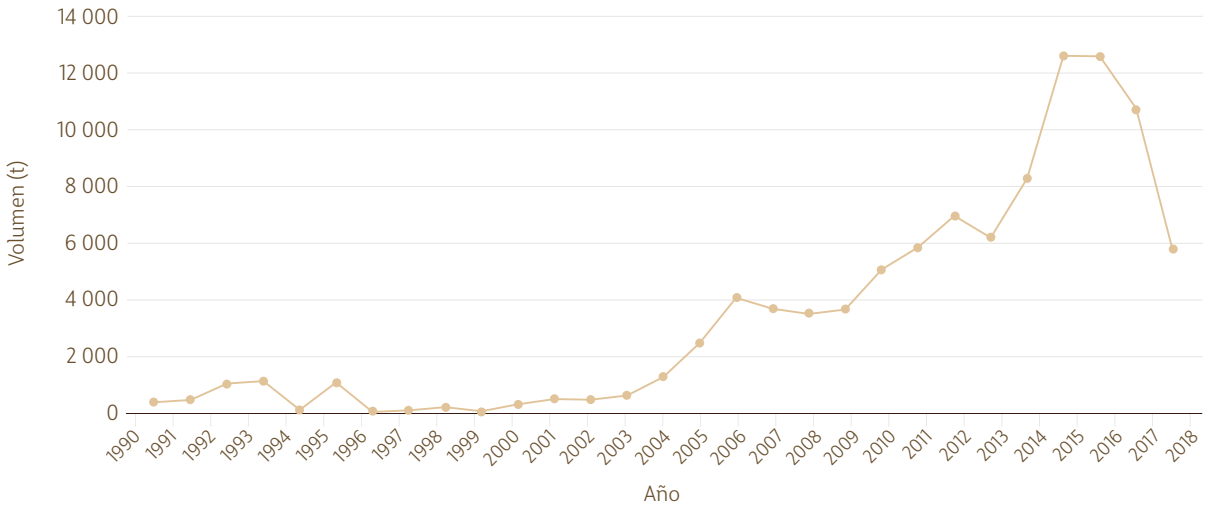


Figura 6 . Producción acuícola en peso vivo, para el periodo 1990-2018. Fuente: elaboración propia don datos de Secretaría de Pesca 1992, 1993, 1994, SEMARNAP 1995a, b, 1996, 1997b, 1998, 1999, 2000, SAGARPA 2002a, b, CONAPESCA 2002 a 2018.

Figura 7. Actividad ganadera bovina; se muestra un ejemplar de *Bos taurus*. Foto: Iván Montes de Oca Cacheux/Banco de imágenes CONABIO.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Por comentarios directos de los productores se sabe que para esta actividad se aprovechan las especies vegetales nativas forrajeras, debido a que en el sector ganadero lo más común es el pastoreo libre, sobre todo del ganado caprino. También se utilizan árboles y arbustos propios de la región para la elaboración de cercas. De acuerdo con el VII Censo Agropecuario de 1991, las prácticas de cría y explotación de animales las realizaron un total de 4 278 unidades de producción y 8 605 viviendas con actividad agropecuaria, estas últimas asociadas normalmente con la producción de traspatio con fines de autoconsumo (cuadro 4; INEGI 1997).

Entre los sitios que tienen una mayor superficie dedicada a la ganadería están el valle de Santo Domingo, el valle de Vizcaíno, los centros de población ejidal Ley Federal de Aguas, La Paz, valle de San Juan Londó, valle de Mulegé, la zona de Santo Domingo-Francisco Villa, Los Planes, El Carrizal, Santiago, San José del Cabo, San Bruno-San Lucas, La Purísima-San Isidro, Tepeyac, Todos Santos, San Miguel y San José de Comondú (Trasviña 1989).

Las unidades de producción rural representan 96%, por lo que la actividad ganadera se lleva a cabo esencialmente en las zonas rurales, en condiciones medioambientales y de comunicación adversas, que realizan esta actividad principalmente con costumbres de antaño, salvo en algunas ocasiones con algunas diferencias para adaptarse a las técnicas de producción moderna (INEGI 2017). El porcentaje restante (4%) se desarrolla en zonas suburbanas. La producción pecuaria rural se concentra principalmente en los municipios de La Paz (34.4%) y Comondú (26.3%). Por su parte, la producción urbana se concentra en Comondú, mientras que la mayor proporción de viviendas con actividad pecuaria está en Comondú y La Paz (figura 8; INEGI 1997).

Cuadro 4. Unidades de producción y viviendas con cría y explotación de animales.

Estado/ municipio	Unidades de producción			Viviendas con actividad agropecuaria
	Total	Rurales	Urbanas	
Estado	4 278	4 106	172	8 605
Comondú	1 151	1 079	72	3 790
Mulegé	622	605	17	1 276
La Paz	1 484	1 413	71	2 094
Los Cabos	1 021	1 009	12	1 445

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI 1997.

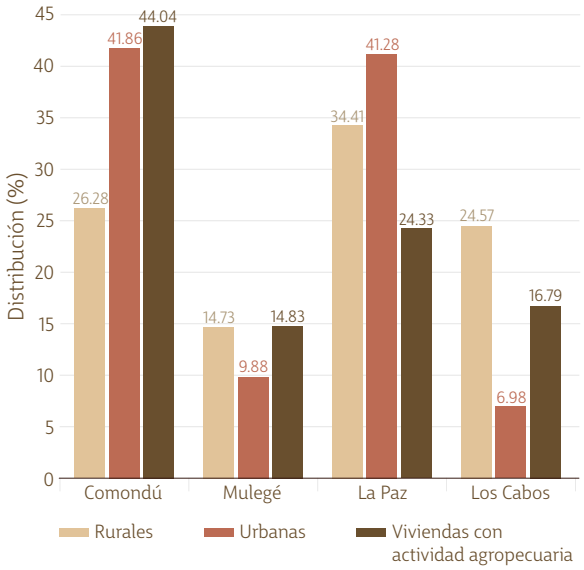


Figura 8. Distribución de las unidades de producción ganadera por categoría, en los principales municipios. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI 1997.

Conclusiones y recomendaciones

El cuidado y protección de la biodiversidad en la entidad es de gran relevancia, debido a que de ella depende el equilibrio de los ecosistemas y los servicios ambientales que permiten la existencia de la especie humana. Cabe destacar que la biodiversidad es un sistema que está constantemente en evolución.

El presente escrito documenta el uso de la biodiversidad sudcaliforniana, con actividades tradicionales como la pesca, la agricultura y la ganadería. Muchas de éstas son la base y sirven de sustento para la alimentación de la población estatal, pero también representan importantes ingresos por la exportación de algunos productos como la langosta o el abulón, por su alto valor comercial a nivel mundial.

Es necesario promover la participación de la sociedad civil y los entes que desarrollan las actividades productivas (que involucren el uso de la biodiversi-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

dad), en esquemas de cooperación para la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica. Asimismo, se debe promover entre los productores, la implementación de prácticas sustentables y el uso de tecnologías que disminuyan o reviertan los impactos negativos sobre los recursos naturales. Finalmente, se requiere impulsar la producción de bienes y servicios con valor agregado, en los cuales sus productores estén comprometidos con el uso sustentable de la biodiversidad (p.e. ecoturismo; SAGARPA 2017).

Referencias

Adventure México Travel. 2018. *Casa mexicana de la ballena gris*. En: <http://adventuremexico.travel/operador-turistico/casa-mexicana-de-la-ballena-gris/>, última consulta: 28 de enero de 2021.

Cabo Pulmo Ecoadventures. 2018. *¿Quiénes somos?* En: <https://www.cabopulmoecoadventures.com/quienes-somos/>, última consulta: mayo de 2018.

Carter, E. 1995. Environmental contradictions in sustainable tourism. *The Geographical Journal* 161:21-28.

CNUMAD. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo. 2002. En: <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>, última consulta: 1 de febrero de 2021.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2018. *Recomendaciones de proyectos operando con esfuerzos hacia la sustentabilidad*. En: <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/turismo/>, última consulta: mayo de 2018.

CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2002. *Anuario estadístico de pesca 2002*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2003. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2003*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2004. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2004*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2005. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2005*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2006. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2006*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2007. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2007*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2008. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2008*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2009. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2009*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2010. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2010*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2011. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2011*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2012. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2012*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2013. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2013*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2014. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2014*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2015. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2015*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2016. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2016*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2017. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2017*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2018. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2018*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

—. 2019. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2019*. SAGARPA/CONAPESCA, México.

Ecoturismo Kuyimá. 2018. *Quienes somos*. En: <http://www.kuyima.com/swho/index.html>, última consulta: 28 de marzo de 2018.

Félix, M. 2006. *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*. En: <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/163/>, última consulta: octubre de 2020.

Gobierno del Estado. 2012. *Datos básicos de Baja California Sur 2012*. En: <http://www.contraloria.bcs.gob.mx/wp-content/uploads/Datos-Basicos-2012.pdf>, última consulta: abril de 2018.

Ibáñez, R. 2011. Crecimiento económico, desarrollo sustentable y turismo: Una aproximación del posicionamiento de Baja California Sur (BCS) en el barómetro de sustentabilidad. *El Periplo Sustentable* 20:75-118.

—. 2015. Diagnóstico situacional del municipio turístico de Los Cabos, Baja California Sur. En: *El turismo y el desarrollo co-*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

munitario, investigaciones y propuestas. J.F. Barragán y M.C. Maldonado (coords.). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, pp. 81-104.

Ibáñez, R., P. Cruz y J. Juárez. 2016. Perfil y satisfacción del destino: Los Cabos, Baja California Sur. *Opción* 32(13):1041-1068.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1997. *El ganado bovino en el estado de Baja California Sur*. En: <http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118334/702825118334_2.pdf>, última consulta: 2 de febrero de 2021.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2017. *Anuario estadístico y geográfico de Baja California Sur, 2017*. INEGI, México.

Ivanova, A., R. Ibáñez y J. Gerber. 2012. El corredor turístico de Los Cabos retos y perspectivas como polo de desarrollo. En: *Los Cabos paraíso natural y cultural*. A. Ivanova, C. Arizpe y G. Gerber (eds.). UABCS/Universidad Estatal de San Diego, México, pp. 441-459.

Krippendorf, J. 1987. *The holiday makers: understanding the impact of leisure and travel*. Routledge, Londres.

Olmos-Martínez, E., O. Arizpe-Covarrubias, R. Ibáñez y A. Ortega-Rubio. 2015. Servicios ecosistémicos con potencial turístico del Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, México. *Teoría y Praxis* número especial 2015:158-173.

Red Travel México. 2020. *Haz un impacto*. En: <https://redtravelmexico.com/es/nosotros/>, última consulta: 28 de enero de 2021.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2002a. *Anuario estadístico de pesca 2000*. SAGARPA, México.

—. 2002b. *Anuario estadístico de pesca 2001*. SAGARPA, México.

—. 2017. *Lo que debes saber sobre el uso sustentable de la biodiversidad en el sector agrícola*. En: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/lo-que-debes-saber-sobre-el-uso-sustentable-de-la-biodiversidad-en-el-sector-agricola>, última consulta: mayo de 2018.

Sancho, A. 2008. *Introducción al turismo*. En: <http://www.uttyh.com/wp-content/uploads/2011/09/INTRODUCCION-AL-TURISMO-OMT.pdf>, última consulta: 1 de febrero de 2021.

Sea and Adventures. 2018. *Acerca de Sea and Adventures*. En: <https://www.kayakbaja.com/about-us/>, última consulta: mayo de 2018.

Secretaría de Pesca. 1992. *Anuario estadístico de pesca 1990*. Secretaría de Pesca, México.

—. 1993. *Anuario estadístico de pesca 1991*. Secretaría de Pesca, México.

—. 1994. *Anuario estadístico de pesca 1992*. Secretaría de Pesca, México.

SECTUR. Secretaría de Turismo. 2018. *Certificación turística*. En: <https://www.gob.mx/sectur/acciones-y-programas/certificacion-turistica>, última consulta: marzo de 2018.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1995a. *Anuario estadístico de pesca 1993*. SEMARNAP, México.

—. 1995b. *Anuario estadístico de pesca 1994*. SEMARNAP, México.

—. 1996. *Anuario estadístico de pesca 1995*. SEMARNAP, México.

—. 1997a. *Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000*. En: <http://legismex.mty.itesm.mx/progs/pcvs.pdf>, última consulta: 1 de febrero de 2021.

—. 1997b. *Anuario estadístico de pesca 1996*. SEMARNAP, México.

—. 1998. *Anuario estadístico de pesca 1997*. SEMARNAP, México.

—. 1999. *Anuario estadístico de pesca 1998*. SEMARNAP, México.

—. 2000. *Anuario estadístico de pesca 1999*. SEMARNAP, México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. *Ley General de Vida Silvestre*. Publicada el 3 de julio de 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 20 de mayo de 2021.

—. 2004. *Medio ambiente*. En: <https://www.gob.mx/semarnat#documentos>, última consulta: mayo de 2018.

SEPADA. Secretaria de Pesca, Acuacultura y Desarrollo Agropecuario. 2019. *Destaca BCS como tercer lugar nacional en producción pesquera: ACU*. En: <http://sepadabcs.gob.mx/2019/11/21/destaca-bcs-como-tercer-lugar-nacional-en-produccion-pesquera-acu/>, última consulta: 28 de enero de 2021.

SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. *Anuario estadístico de la producción agrícola*. En: <http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/>, última consulta: mayo de 2018.

Trasviña, T.A. 1989. *¿Que desea saber sobre Baja California Sur?* Litográfica y Tipográfica Yolva, La Paz.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Aprovechamiento de recursos naturales en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna

Elizabeth Olmos Martínez y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

La Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna es un área natural protegida (ANP) que se ubica al sur del estado, en un área prioritaria y representativa de la biodiversidad mexicana considerada clave para la conservación. Tiene una extensión de 112 437 ha, con una zona núcleo de 32 519 ha y dos zonas de amortiguamiento de 79 317 y 600 ha (CONANP 2003). Contiene 15 subcuencas y alberga el único bosque de coníferas, selva tropical, palmar, matorral y bosques de pino-encino de la Península de Baja California. La zona tiene importancia como sitio de recarga de los mantos acuíferos (CONANP 2003), así como por las actividades antropogénicas que sostiene (p.e. ganadería, silvicultura, fruticultura y ecoturismo; Lagunas-Vázques *et al*. 2013).

A pesar de su baja densidad poblacional, la reserva es un espacio socialmente ocupado por ranchos ubicados en planicies y en laderas de arroyos, representativos de un modo de vida de orígenes que pueden rastrearse hasta la antigüedad californiana (Olmos-Martínez *et al*. 2013a, b). Este estudio presenta una síntesis de algunas investigaciones realizadas en esta ANP respecto al uso de la biodiversidad en actividades económicas en las comunidades de San Jorge y San Dionisio.

Actividades de aprovechamiento

Las comunidades de San Jorge y San Dionisio se localizan en la delegación de Santiago, municipio de Los Cabos (figura 1). Están principalmente constituidas por pequeños productores que dependen de la mano de obra familiar para su sustento (Olmos-Martínez 2009). Su estrategia de supervivencia se basa en la realización de diversas actividades económicas relacionadas con el uso de los recursos naturales locales.

Las actividades económicas que se desarrollan son: ganadería, agricultura, jornalería, fruticultura, apicultura, servicios y actividades complementarias (cuadro 1; Olmos-Martínez 2009, Olmos-Martínez *et al*. 2013b). Sin embargo, éstas se realizan de manera desorganizada, debido a que carecen de plan de negocios, la elaboración del producto final lo realiza cualquier miembro de la familia sin capacitación formal, la distribución y venta del producto se hace sin estrategias y no tienen almacén ni reinversión de ganancias (Olmos-Martínez *et al*. 2013a, b).

Sobre el aprovechamiento de recursos naturales, en 2009 se registraron 29 especies de flora que se emplean en actividades económicas (20 se usan en corrales, sombras y comederos) y sociales (19 se emplean como leña para cocinar, sombras, cercos y techumbres). Se estimó un promedio de 19 225 kg

Olmos-Martínez, E. y A. Ortega-Rubio. 2025. Aprovechamiento de recursos naturales en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 176-179.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

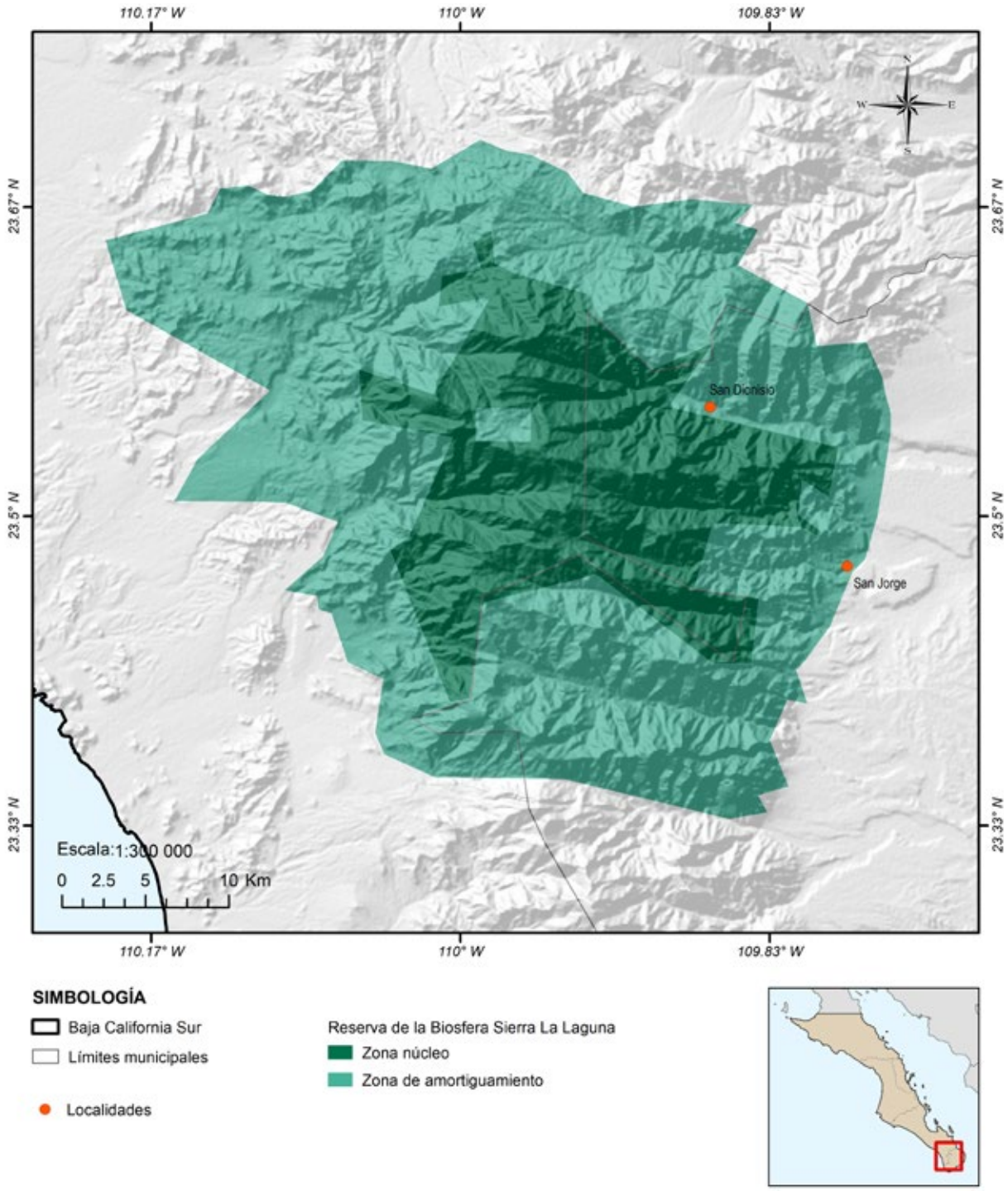


Figura 1. Localización de las comunidades de San Jorge y San Dionisio. Fuente: elaboración propia con datos de CONANP 2003, NOAA 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Actividades económicas que se desarrollan en las comunidades de San Jorge y San Dionisio.

Actividad	Características
Ganadería	• Se desarrolla en la zona de amortiguamiento • Principal actividad productiva del sector primario • Predomina el ganado de raza criolla adaptada a las condiciones ambientales de la región • El ganado se alimenta en los agostaderos naturales
Agricultura	• Actividad informal • Se siembran hortalizas básicamente para auto consumo y su excedente se cambia en trueque
Jornalería	• La mayoría de los rancheros se emplean de jornaleros dentro del mismo ejido o localidades aledañas • Tienen acceso a los programas de empleo temporal, administrados por la dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna
Fruticultura	• Actividad de práctica empírica y con fines de autoconsumo, sin emplear variedades registradas o líneas seleccionadas • La especie más común es el mango de variedad criolla; otras son la guayaba, papaya, aguacate, naranja y otros cítricos • La mayoría de las familias cuentan con huertas de árboles frutales; en temporada de alta productividad, la fruta es comercializada sin tener impacto significativo en la economía familiar
Apicultura	• Se practica dentro de los predios particulares • El producto se vende en los ranchos, localidades cercanas y visitantes
Servicios varios	• Los principales trabajos son en viveros, comercios, oficinas de gobierno local, educación y trabajos varios • Los trabajos se realizan en las comunidades de Santiago y San José del Cabo
Otras actividades	• De manera aislada, algunas mujeres se dedican a producción de quesos, chorizo y dulces regionales • Se comercializa en el mismo ejido, en comunidades aledañas y a los visitantes

Fuente: elaboración propia con datos de Olmos-Martínez 2009, Olmos-Martínez *et al.* 2013b.

mensuales utilizados, de los cuales 42% se destina para actividades económicas y 58% para necesidades sociales (Olmos-Martínez 2009, Olmos-Martínez *et al.* 2013b). Las especies más aprovechadas son: palo zorrillo (*Cassia emarginata*), palo de arco (*Tecoma stans*), palma real (*Washingtonia robusta*), mauto (*Lysiloma divaricatum*), encino (*Quercus arizonica*, *Q. albocincta*, *Q. laeta*, *Q. rugosa*, *Q. devia*, *Q. reticulata* y *Q. tuberculata*) y cacachila (*Karwinskia humboldtiana*; Olmos-Martínez 2009).

El ambiente es rico en flora y fauna debido a la existencia abundante de agua. Para 2009, la cantidad de agua consumida por actividades económicas y sociales se aproximó a 76 mil litros mensuales; 30% se destina a la actividad económica y el resto para necesidades sociales (Olmos-Martínez 2009, Olmos-Martínez *et al.* 2013b). Por su parte, cinco tipos de ganado se aprovechan como partes de ambas actividades (bovino, porcino, caprino, ovino y avícola); pero solo las aves no se comercializan. Para los tipos de ganado se contabilizó un promedio de 1 770 kg mensuales utilizados, 60% para actividades económicas y el resto para necesidades sociales. Cabe mencionar que no fue posible obtener datos de la productividad apícola (Olmos-Martínez 2009, Olmos-Martínez *et al.* 2013b).

Conclusiones y recomendaciones

Las comunidades de San José y San Dionisio aprovechan los recursos naturales que los rodean y desarrollan actividades económicas y sociales que les han permitido adquirir un estilo y calidad de vida característico (Lagunas-Vázques *et al.* 2013). Sin embargo, manifiestan su disposición para adoptar un modo de apropiación de los recursos naturales y comercialización basado en el manejo sustentable y el mejoramiento de la calidad de vida (Olmos-Martínez 2009, Olmos-Martínez *et al.* 2013a).

Olmos-Martínez (2009) y Olmos-Martínez y colaboradores (2013b) llevaron a cabo un trabajo de grupos focales para recoger los intereses locales respecto al desarrollo sustentable, enfocándose en las actividades productivas como punto de partida del desarrollo social y tomando en cuenta las vocaciones naturales y socioculturales de la zona. Encontraron que las familias locales se plantean objetivos específicos y es-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

trategias para desarrollar actividades que incluyen el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad a través de: a) aprovechamiento pecuario semi-intensivo, b) ecoturismo, c) fruticultura, y d) programas sociales (jornadas de salud y educación ambiental).

Cabe resaltar que el desarrollo social y económico de cualquier localidad depende en parte de los tomadores de decisiones, quienes son los agentes impulsores del proceso de cambio, y podrían ayudar a la implementación de programas de fomento como las ecotecnias (p.e. compostaje, captación de agua de lluvia, aprovechamiento de energía solar, estufas ecológicas, entre otros), pero sobre todo en proyectos que sean verdaderamente apropiados por la población local. En este sentido, para la organización productiva se sugiere la implementación del taller de capacitación y consultoría dirigido a pequeñas y medianas empresas que oferta la Secretaría de Economía, como herramienta para fortalecer la competitividad y rentabilidad de la producción.

Referencias

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2003. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna*. CONANP, México.

Lagunas-Vázques, M., E. Rubio, L.F. Beltrán-Morales *et al*. 2013. Apropiación de la naturaleza por parte de los pobladores y las pobladoras rurales de la REBIOSLA: análisis con enfoque de género en el uso de recursos naturales. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 167-194.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2017. *A global self-consistent, hierarchical, high-resolution geography database*, GSHHG. En: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>, última consulta: septiembre de 2017.

Olmos-Martínez, E. 2009. *Análisis socioeconómico y del uso de recursos naturales en comunidades terrestre y costera de Baja California Sur: recomendaciones para su desarrollo sustentable*. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

Olmos-Martínez, E., O. Arizpe, M.A. Cobarrubias-García *et al*. 2013a. Análisis de la percepción de las comunidades sobre el decreto de área natural protegida Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, BCS. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 257-275.

Olmos-Martínez, E., B. Bermúdez, M. Lagunas-Vázques y A. Ortega-Rubio. 2013b. Uso de recursos naturales en actividades productivas en el ejido San Jorge y la comunidad de San Dionisio, Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, BCS. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 233-254.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Fuente de innovación en biotecnología en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno

Alejandro López Cortés

Introducción

Los ecosistemas o ambientes extremos hipersalinos se caracterizan por presentar masas de agua con concentraciones de sales totales superiores a las del agua de mar (35 g/l, 3.5%). Aunque son inhóspitos y extremos para el desarrollo de grupos biológicos como plantas y animales, una diversidad inesperada de seres vivos microscópicos prolifera en estos ambientes, denominados extremófilos (Madigan *et al*. 2000).

Las planicies inundadas con agua de mar son un ejemplo de ambiente hipersalino, donde se desarrollan comunidades microbianas que conforman macroestructuras minerales como tapetes microbianos y endovaporitas, como cristales de sal común (cloruro de sodio, NaCl). Uno de los valores científicos de los tapetes microbianos y endovaporitas radica en que son las contrapartes modernas y modelos para reconstruir e interpretar el registro fósil del Precámbrico y las primeras etapas de la evolución biológica (3 500 a 600 millones de años), representado por rocas laminadas denominadas estromatolitos y microfósiles de células bacterianas (figura 1; López-Cortés 1990).

En Baja California Sur, el área que ocupan los ambientes hipersalinos terrestres es de 3 532 km^2. Las mayores extensiones se localizan asociadas a las planicies de inundación de las lagunas Ojo de Liebre y San Ignacio, en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. Aproximadamente, 900 km^2 (25% del total estatal de ambientes hipersalinos terrestres) están cubiertos por tapetes microbianos, en zonas de inundación natural colindantes con los vasos concentradores de la empresa Exportadora de Sal S.A. de C.V. (ESSA) en el municipio de Guerrero Negro; mientras que en las planicies evaporíticas de los alrededores de la laguna San Ignacio, cubren alrededor de 618 km^2 (20% del total estatal, figura 2; Maya-Delgado y López-Cortés 2005).

La ESSA consiste en una serie de 13 estanques o áreas interconectadas con profundidad de 0.5 a 1.0 m que cubren un área de 19 627 ha, en los que se concentra el agua de mar procedente de la laguna Ojo de Liebre. La salmuera de los estanques concentradores se transfiere a 32 vasos cristalizadores con un área de 2 465 ha, donde precipita y se cosecha la sal común de cloruro de sodio (NaCl), denominada halita. La salmuera restante de los cristalizadores se lleva a un área final de desechos, donde precipitan sales ricas en potasio, magnesio y sodio, denominada amargos (Shumilin *et al*. 2002, López-Cortés 1991).

Los estanques concentradores de la ESSA son adyacentes a la laguna Ojo de Liebre en la costa del océano Pacífico (~27° 40' N, ~113° 55' O; figura 3). El agua de mar de la laguna Ojo de Liebre con salinidad de

López-Cortés, A. 2025. Fuente de innovación en biotecnología en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 180-191.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

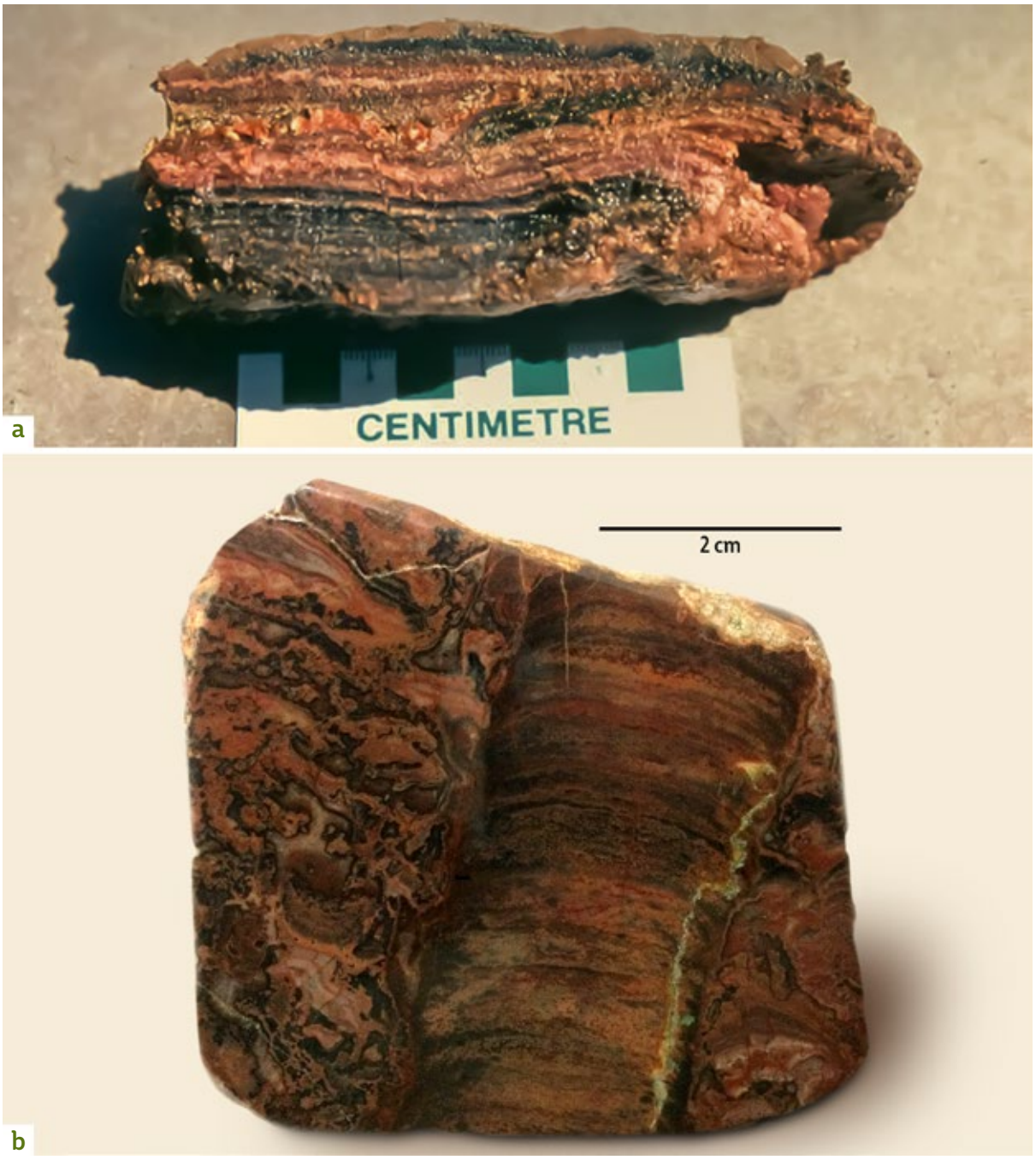


Figura 1. Comparación de la macroestructura de tapete microbiano y estromatolito. a) Tapete de laguna Figueroa, Baja California; b) fósil de estromatolito del Precámbrico, género forma *Conophyton*, Caborca, Sonora. Fotos: Alejandro López Cortés.

3.5% se bombea al estanque del área uno, fluyendo por gravedad y uso de compuertas a los estanques de las áreas 2 a la 13, alcanzando en este último salinidades de hasta 20%. Esta salmuera altamente concentrada pasa a los 32 cristalizadores donde alcanza la saturación de iones de Na^+ y Cl^- por lo que precipitan cristales de cloruro de sodio cuando alcanza concentraciones de sales totales mayores a 30% (figura 3).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

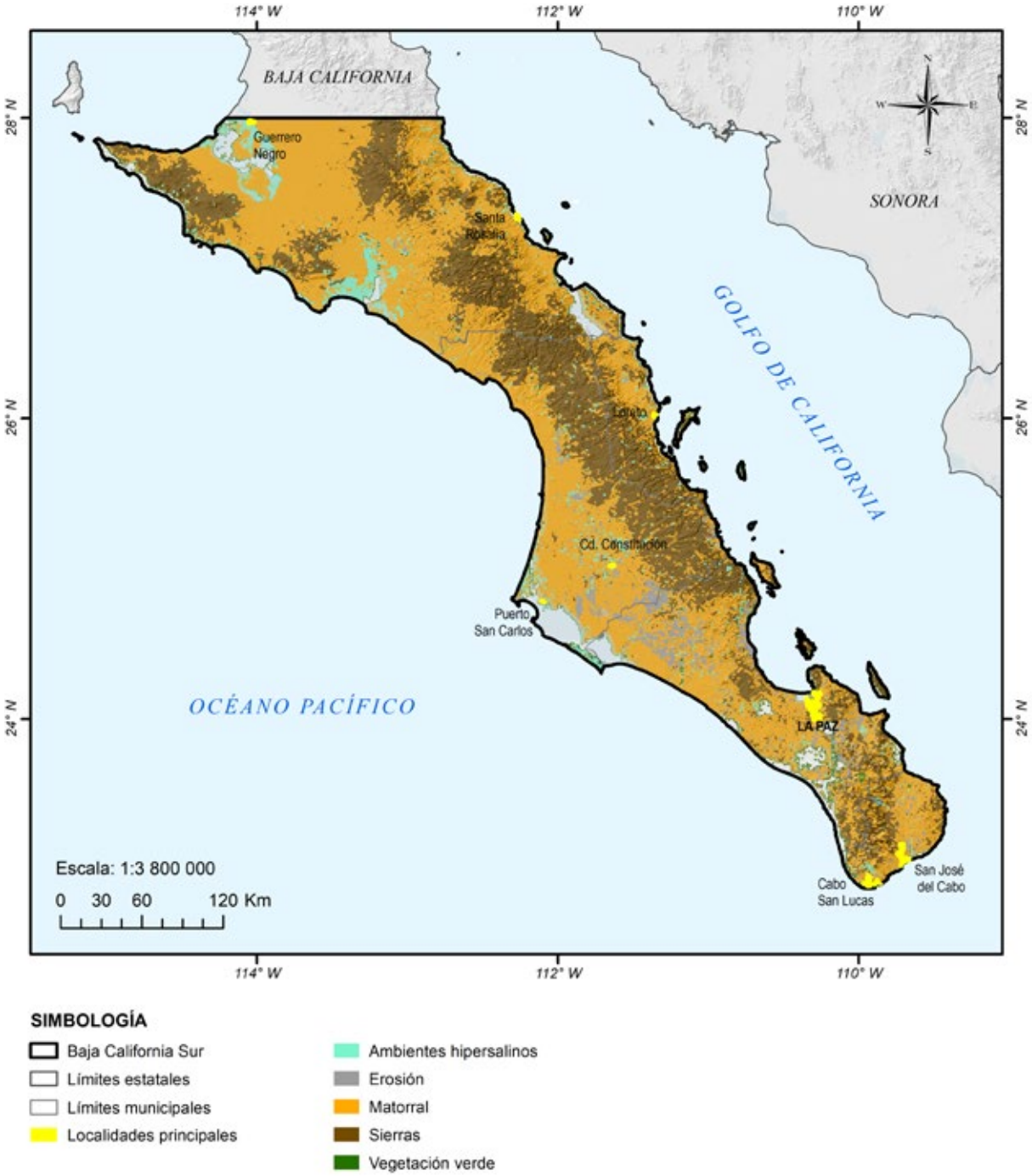


Figura 2. Ambientes hipersalinos de Baja California Sur. Fuente: elaborado por Yolanda Maya Delgado a partir de la clasificación supervisada de imágenes numéricas Landsat de 2002.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

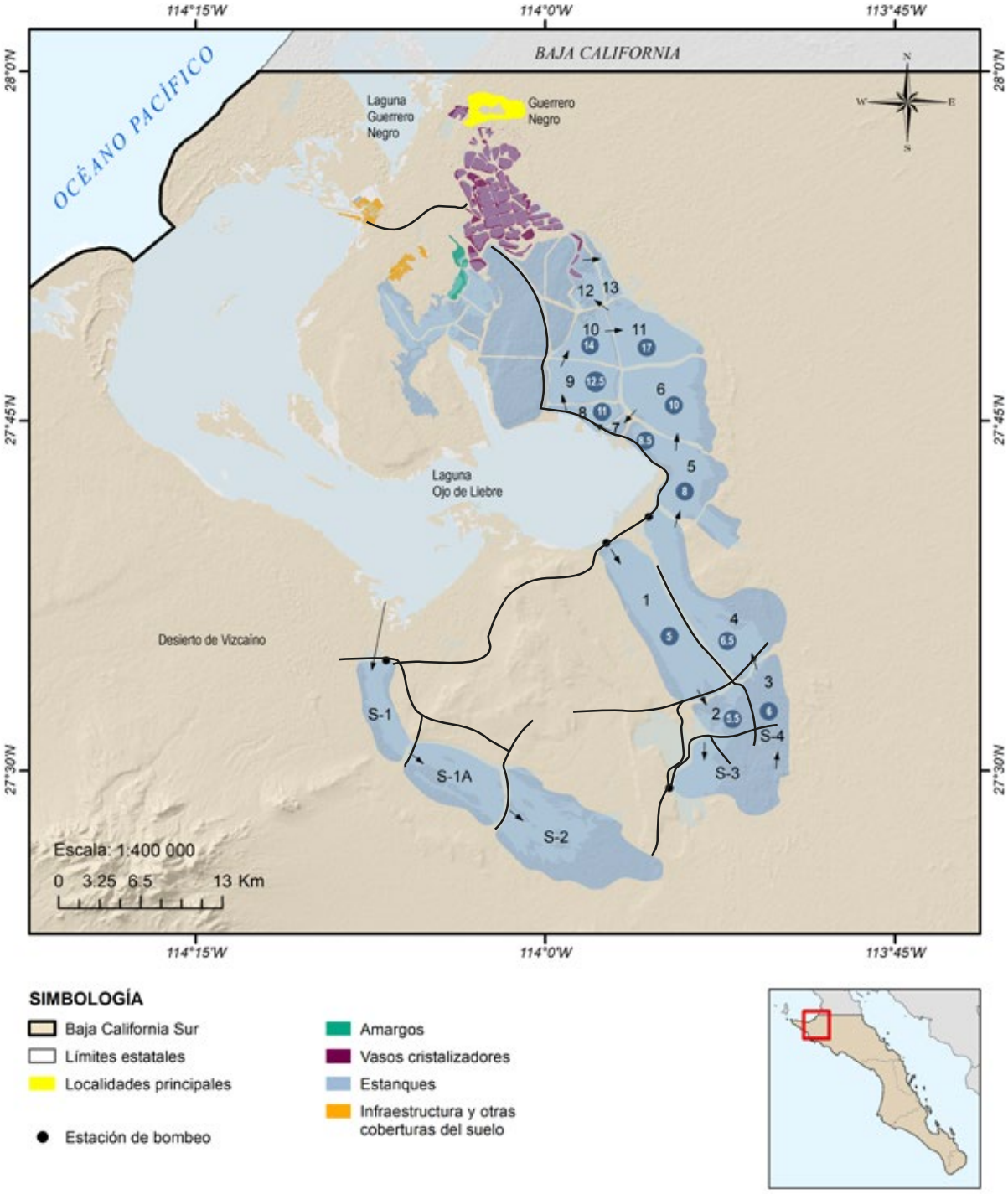


Figura 3. Localización geográfica de la empresa Exportadora de Sal S.A. de C.V. en Baja California Sur, donde se muestra un detalle de la estanquería. La salmuera fluye a otros estanques a través de compuertas (véanse las flechas). Los números que están dentro de un círculo corresponden a los valores promedio de salinidad expresados en porciento para cada estanque. Las áreas de los estanques cubiertas por tapetes microbianos altamente productivos se encuentran en las áreas 4, 5 y 6. Fuente: elaborado por Gerardo Hernández García a partir de imágenes de satélite Landsat/Copernicus 2018, obtenidas de Google Earth.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Comunidades microbianas

Se presenta un gradiente de salinidad creciente del área 1 a la 13. Los tapetes microbianos laminados altamente productivos y mejor estudiados provienen de las áreas 4, 5, y 6, que cubren una extensión mayor a 100 km^2 sumergidos en los pisos de los estanques con salinidades en el intervalo entre 6 a 10% (figura 3; Des Marais *et al*. 1989). Otros menos productivos se localizan sumergidos en aguas someras del área 1 (figura 4a) y en zonas naturales de ciclos de inundación-desecación, que se localizan entre la laguna Ojo de Liebre y la ESSA (figura 4b).

Los tapetes microbianos presentan una macroestructura de biomasa laminada de microorganismos y materiales minerales que van de 1 a 5 cm de espesor (figura 5). Los que corresponden a las áreas 4 y 5 de la ESSA se caracterizan por patrones de laminación colorida, producto de su composición de microorganismos con diferentes funciones ecológicas. La parte activa naranja, verde, roja y negra se localiza en los primeros 5 a 10 mm de la superficie; mientras que la laminación inferior corresponde a crecimientos previos en proceso de degradación. Cabe señar que los tapetes microbianos están constituidos por una inesperada diversidad de miles de especies de microorganismos, la gran mayoría desconocidos y no cultivables (figura 6; Ley *et al*. 2006, García-Maldonado *et al*. 2018).

Los vasos de las áreas 9 a 11 pueden presentar salinidades en el intervalo de 12 a 17%, donde se encuentran comunidades de microorganismos organizados en capas dentro de una matriz de cristales de yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), por lo que se denominan endovaporitas (figura 7). Estas estructuras presentan tres capas: amarilla, verde y rosa; cada una de ellas con una composición microbiana distintiva. En la capa amarilla dominan bacterias (*Salinibacter*) que degradan materia orgánica en presencia de oxígeno, y cianobacterias unicelulares fotosintéticas (*Halothece*). En la capa verde se han detectado bacterias púrpuras fotosintéticas y bacterias sulfato reductoras; mientras que en la capa rosa, se presentan bacterias esporuladas (*Bacillus* y *Clostridium*), así como bacterias verdes fotosintéticas (Spear *et al*. 2003).

En los vasos cristalizadores donde precipita la sal común de cloruro de sodio (NaCl), es posible detectar en la salmuera y en los cristales principalmente un grupo de microorganismos denominados arqueas halófilas extremas, que se caracterizan por necesitar altas concentraciones de iones de sodio (Na^+), cloro (Cl^-), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+) y calcio (Ca^{++}) para su crecimiento y reproducción. Cabe indicar que la presencia de estos microorganismos, confiere tonalidades rosas y púrpuras a las salmueras de los cristalizadores (figura 8).

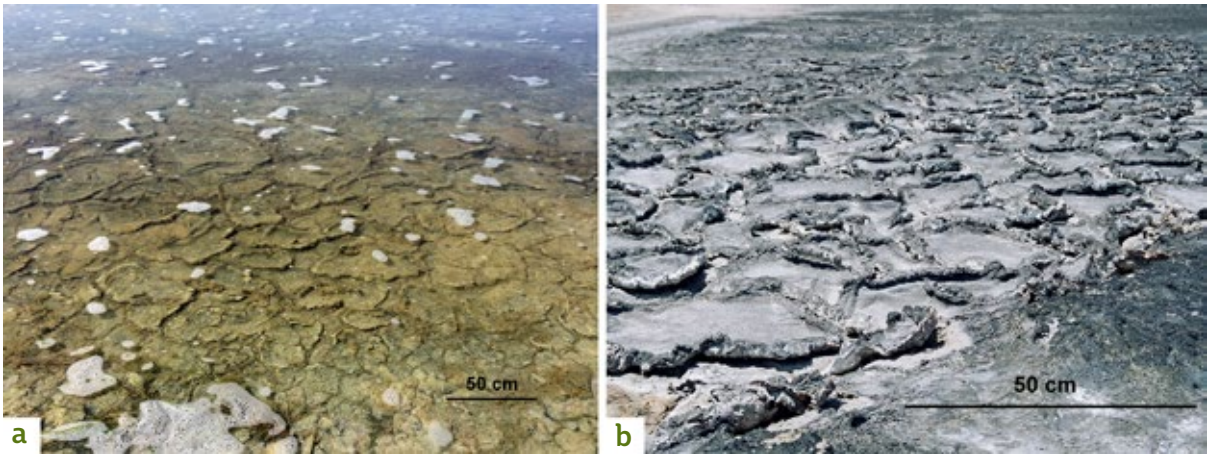


Figura 4. a) Polígonos de tapetes sumergidos en el área 1 de la ESSA; b) polígonos de desecación de tapetes en una zona adyacente a la estanquería. Fotos: Alejandro López Cortés.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

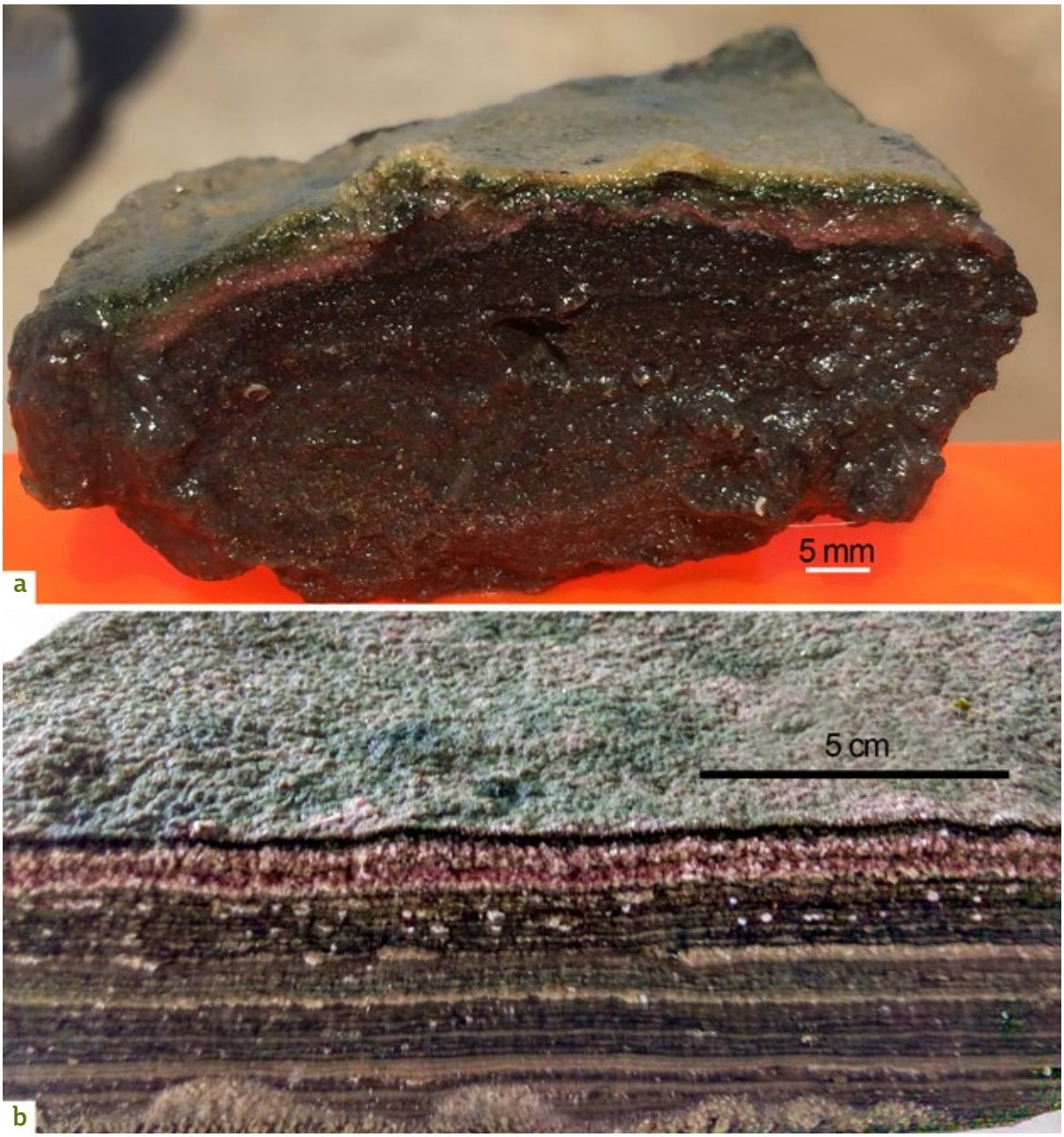


Figura 5. Secciones longitudinales de tapetes microbianos laminados. a) Área 1 de la ESSA, muestra un patrón de laminación naranja, verde, rojo y negro de los primeros 5 mm de la superficie; b) área 4 de la ESSA, muestra un tapete con laminación abundante y preservada. Fotos: Alejandro López Cortés.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

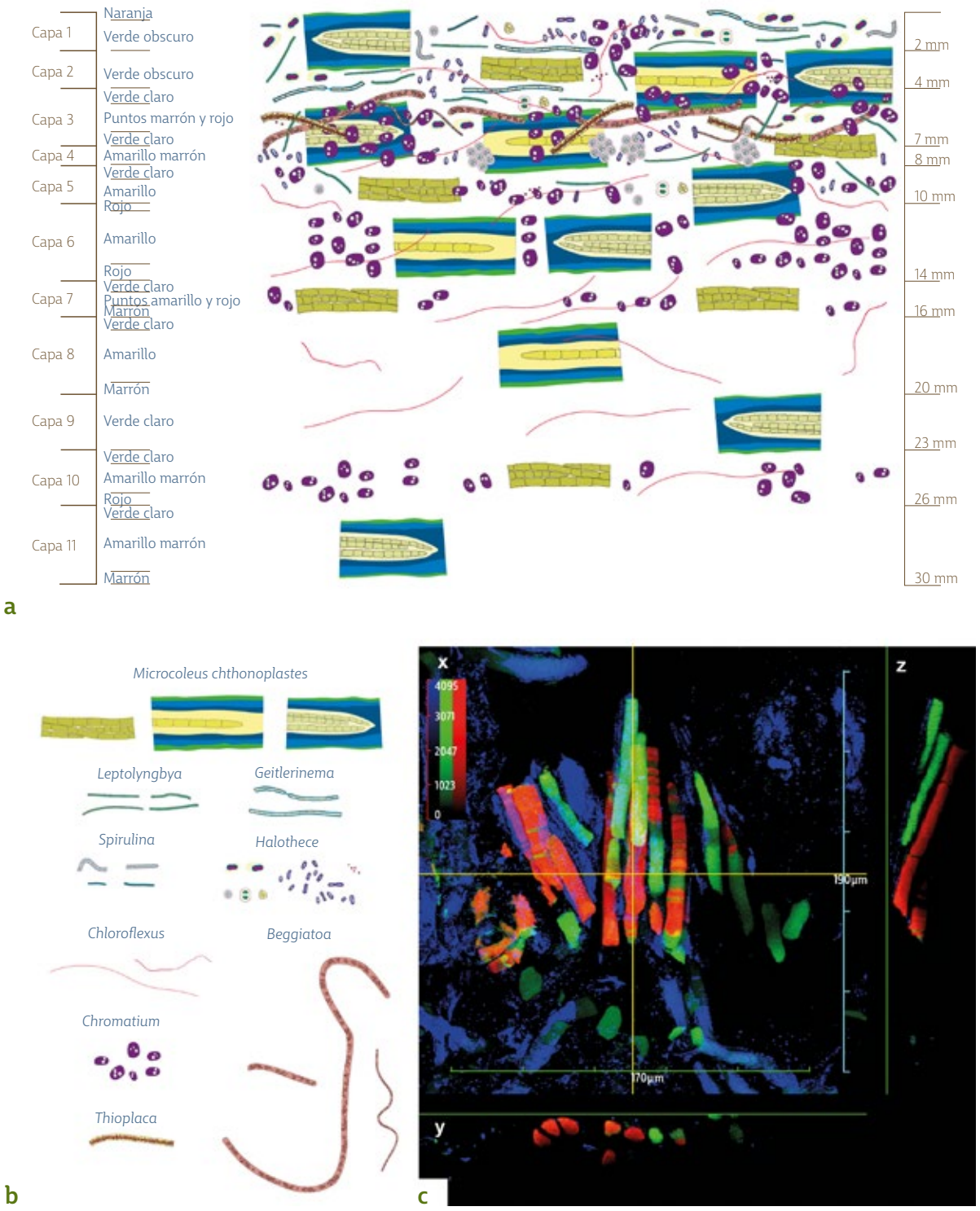
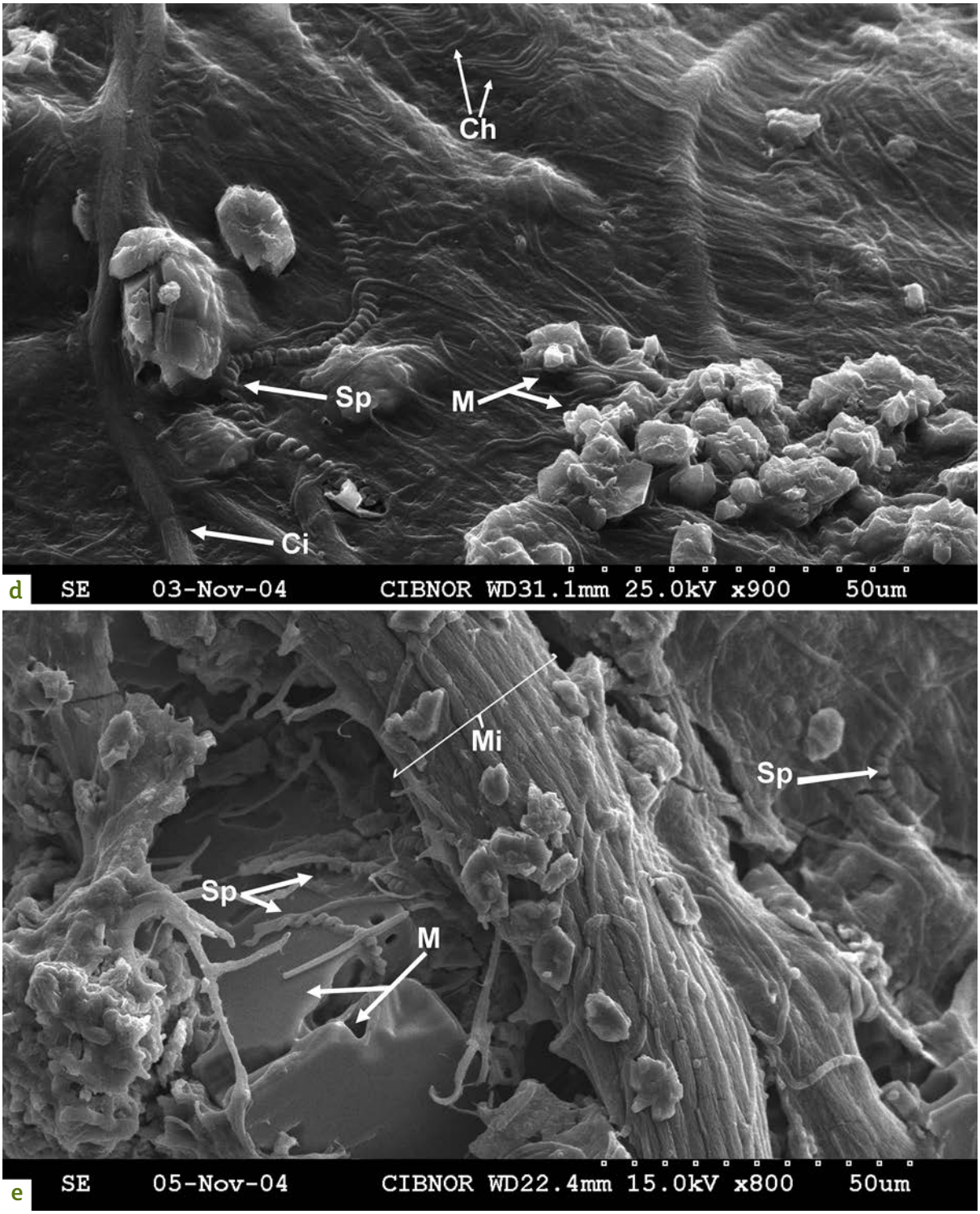


Figura 6. a) Resumen esquemático de la distribución vertical de microorganismos de los primeros 30 mm de tapete microbiano laminado del área 5 de la ESSA; b) nombres científicos de los microorganismos; c) micrografía confocal que muestra la sección longitudinal (x), transversal (y) y oblicua (z) de filamentos constituidos de células discoidales de cianobacterias del género *Lyngbya*;

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA



d) micrografía electrónica de barrido que muestra filamentos helicoidales de la cianobacteria *Spirulina* (Sp), filamentos de cianobacterias de distinto diámetro (Ci), bacterias fotosintéticas filamentosas del género *Chloroflexus* (Ch) y minerales (M); e) micrografía electrónica de barrido que muestra un agregado de filamentos de cianobacterias del género *Microcoleus* (Mi), minerales (M) y *Spirulina* (Sp). Fuente/fotos: Gerardo Hernández García (a, b), Alejandro López Cortés (c, d, e).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

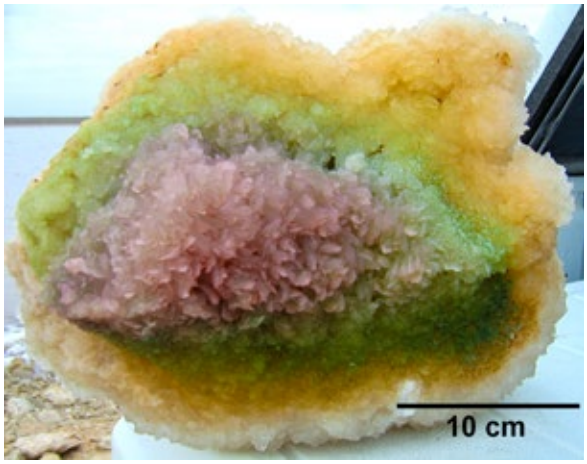


Figura 7. Sección transversal de endovaporita de yeso que muestra capas concéntricas, amarilla, verde y rosa, pobladas por microorganismos. Foto: Alejandro López Cortés.

Figura 8. Campo de cristalizadores y proceso de cosecha de sal común en la ESSA. Foto: Alejandro López Cortés.

Diversidad microbiana como fuente de innovación en biotecnología

La sal común fue uno de los primeros minerales explotados por la humanidad, junto con el oro, el ámbar, la obsidiana y el pedernal. Los ecosistemas hipersalinos son reservorios enormes de este mineral fundamental para el desarrollo de la vida y de la actividad humana. La sal común tiene múltiples usos como: a) alimento (condimento y conservador); b) remoción de nieve de las carreteras en los países con climas fríos; c) industria química (extracción de cloro y materia prima para la fabricación del plástico policloro de vinilo, PVC); d) industria textil (fijador de tintes coloridos); entre otros.

Asimismo, de las salmueras de los ambientes hipersalinos se aprovecha una amplia variedad de sales de potasio, magnesio y calcio; entre ellos yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), aragonita ($CaCO_3$), dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) y potasas (K_2CO_3). Además, muchos de esos sistemas salinos se relacionan a estratos reservorios de petróleo (Friedman y Krumbein 1985, Javor 1989). Por ello, el estudio de los ecosistemas hipersalinos es importante para diversos campos de la ciencia y atractivo en términos económicos y políticos.

En países como México, Israel, India y Arabia, numerosas empresas y expertos buscan aplicaciones biotecnológicas del crecimiento microbiano en salmueras. En este sentido, las cianobacterias de tapetes microbianos son excelentes candidatos para sistemas de acuicultura basada en agua de mar. La capacidad de éstas para fijar nitrógeno atmosférico (N_2) se ha utilizado para la fertilización de suelos naturales y agrícolas, así como para la producción de enzimas y osmo-reguladores promoviendo el desarrollo de industrias biotecnológicas (Friedman y Krumbein 1985).

En el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) se han explorado aplicaciones biotecnológicas de microorganismos de tapetes y endovaporitas en la ESSA relacionadas con la generación de energías limpias, como el biogás (una mezcla de metano, hidrógeno y dióxido de carbono), resultado de la degradación de materia orgánica por microorganismos denominados arqueas metanógenas (productoras de metano) e hidrogenotróficas (productores de hidrógeno). Secuencias del gen *mcrA* que codifica para la enzima metil-coenzima M reductasa, han permitido determinar que los grupos de metanógenas dominantes en el ecosistema hipersalino son aquellas que emplean como fuente de carbono las metilaminas, en particular los géneros *Methanohalophilus* y *Methanohalobium* (figura 9; García-Maldonado *et al.* 2015).

La limitación de la fuente de carbono, con valores de salinidad mayores a 3% y de sulfatos mayores

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

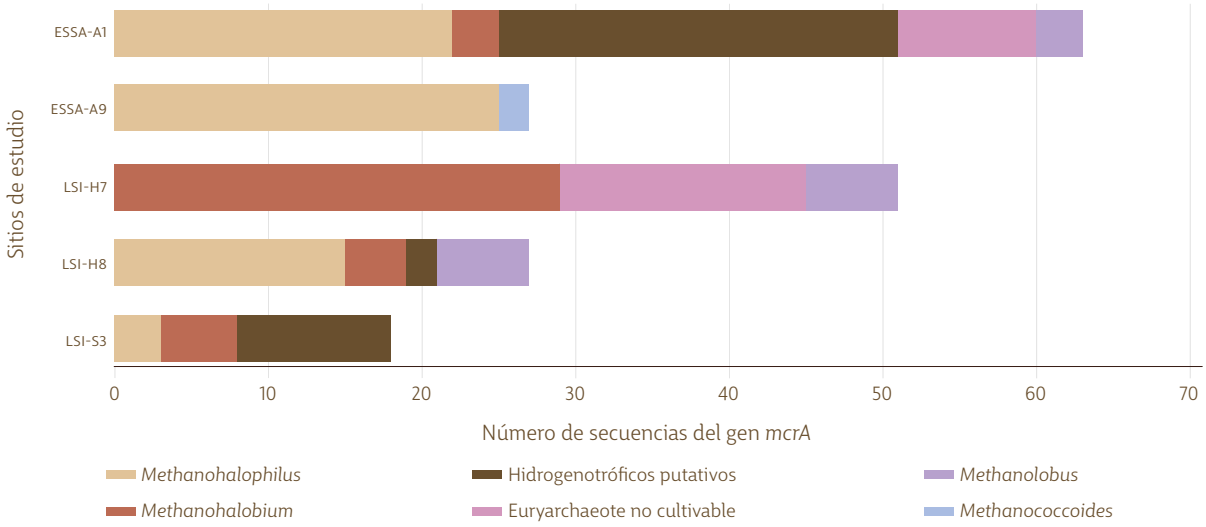


Figura 9. Distribución y diversidad de arqueas metanógenas de tapetes y sedimentos de localidades hipersalinas de la empresa Exportadora de Sal S.A. de C.V. (ESSA) y planicies de laguna San Ignacio (LSI), a partir de secuencias del gen *mcrA*. Fuente: elaboración propia con datos de García Maldonado *et al.* 2015.

a 25 mM, son variables ambientales potencialmente restrictivas de la metanogénesis en ecosistemas hipersalinos (García-Maldonado *et al.* 2015). Para demostrar la producción de biogás en condiciones experimentales, se obtuvieron consorcios de bacterias y arqueas metanógenas de estos ambientes (figura 10).

Otra exploración biotecnológica desarrollada en el CIBNOR se orientó a la búsqueda de bacterias que producen y almacenan polihidroxialcanoatos (PHA), moléculas poliméricas que presentan propiedades similares a los plásticos convencionales como el poliéster y el polipropileno, como alternativas sustitutas del uso de plásticos basados en petróleo. Se han caracterizado a partir del ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés) ambiental de tapetes microbianos de la ESSA y de cepas de bacterias aisladas, secuencias de genes que codifican para enzimas específicas denominadas PHA sintasas, que producen PHA de cadena corta con propiedades de termoplástico cristalino-quebradizo y PHA de cadena mediana con propiedades de termoplástico elástico, menos cristalino (Martínez-Gutiérrez *et al.* 2018). En este sentido, la marca registrada BIOPHA® fue obtenida para el proceso y el producto termoplástico cristalino obtenido de bacteria aislada de tapete microbiano de puerto San Carlos, Baja California Sur

Figura 10. Flama generada a partir de biogás obtenido de tapetes microbianos enriquecidos con trimetilamina en frascos de vidrio herméticos. Foto: Alejandro López Cortés.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

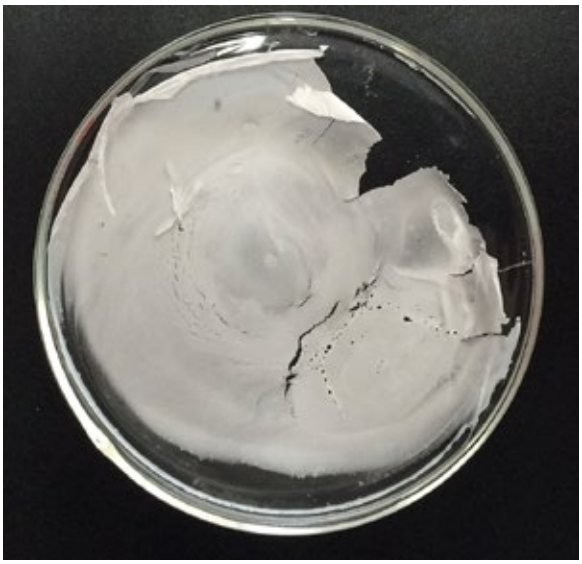


Figura 11. Prototipo experimental de bioplástico de bacteria de tapete microbiano de puerto San Carlos. Foto: Alejandro López Cortés.

(figura 11).

Finalmente, se estudió la participación de células de arqueas halófilas extremas aisladas de salmuera de cristalizadores en la salina de Pichilingue, Baja California Sur, como semillas en la nucleación de nuevos cristales de sal común, y el efecto de diversas moléculas, células de arqueas halófilas extremas del género *Haloarcula* y sus paredes celulares denominadas capas S en la formación de cristales de sal común (López-Cortés *et al*. 1994).

Conclusiones

Estudios filogenéticos recientes de tapetes y endovaporitas demuestran la existencia de 6 400 especies o unidades taxonómicas operacionales (OTU por sus siglas en inglés) pertenecientes a 29 *phyla* de los 100 descritos para el dominio Bacteria y 5 de los 13 del dominio Arquea. Esto confirma que la diversidad microbiana ha sido subestimada y poco aprovechada (Ley *et al*. 2006, García-Maldonado *et al*. 2018).

Por ello, las comunidades microbianas de ecosistemas hipersalinos deben considerarse en modelos de negocios basados en el conocimiento científico dirigido a la producción de bienes y servicios, como ocurre con la sal de cloruro de sodio cosechada por la ESSA. Además, se debe continuar con la conservación, investigación y aprovechamiento sustentable de la riqueza de los recursos que se encuentran en las áreas naturales protegidas.

Agradecimientos

El autor agradece al B.M. Hever Latisnere Barragán por la revisión del texto y edición de imágenes, a la Dra. Yolanda Maya Delgado por la elaboración de la figura 2, a Gerardo Hernández García por la elaboración de las figuras 3, 6a y 6b, así como a las autoridades de la empresa Exportadora de Sal S.A. de C.V., por permitir el acceso a sus instalaciones.

Referencias

Des Marais, D.J., Y. Cohen, H. Nguyen *et al*. 1989. Carbon isotopic trends in the hypersaline ponds and microbial mats at Guerrero Negro, Baja California Sur, Mexico: Implications for Precambrian stromatolites. En: *Microbial mats: physiological ecology of benthic microbial communities*. Y. Cohen y E. Rosenberg (eds.). American Society for Microbiology, Washington D.C., pp. 191-203.

Friedman, G.M. y W.E. Krumbein. 1985. *Hypersaline ecosystems: the Gavish Sabkha*. Springer-Verlag, Nueva York.

García-Maldonado, J.Q., B.M. Bebout, R. Craig Everroad y A. López-Cortés. 2015. Evidence of novel phylogenetic lineages of methanogenic archaea from hypersaline microbial mats. *Microbial Ecology* 69:106-117.

García-Maldonado, J.Q., A. Escobar-Zepeda, L. Raggi *et al*. 2018. Bacterial and archeal profiling of hypersaline microbial mats and endovaporites, under natural conditions and methanogenic microcosmos experiments. *Extremophiles* 22:903-916.

Javor, B. 1989. *Hypersaline environments: microbiology and biogeochemistry*. Springer-Verlag, Nueva York.

Ley, R.E., J.K. Harris, J. Wilcox *et al*. 2006. Unexpected diversity and complexity of the Guerrero Negro hypersaline microbial mat. *Applied and Environmental Microbiology* 72:3685-3695.

López-Cortés, A. 1990. Microbial mats in tidal channels at San Carlos, Baja California Sur, Mexico. *Geomicrobiology Journal* 8:69-85.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

—. 1991. Geomicrobiología ambiental. En: *La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno en la Península de Baja California*. A. Ortega y L. Arriaga (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 131-143.

López-Cortés, A., R. Vázquez-Duhalt y J.L. Ochoa. 1994. Participation of halobacteria in crystal formation and the crystallization rate of NaCl. *Geomicrobiology Journal* 12:69-80.

Madigan, M.T., J.M. Martinko y J. Parker. 2000. *Brock biology of microorganisms*. Prentice Hall, Nueva Jersey.

Martínez-Gutiérrez, C.A., H. Latisnere-Barragán, J.Q. García-Maldonado y A. López-Cortés. 2018. Screening of polyhydroxyalkanoates-producing bacteria and PhaC-encoding genes in two hypersaline microbial mats of Guerrero Negro, Baja California Sur, México. *PeerJ* 6:e4780.

Maya-Delgado, Y.L. y A. López-Cortés. 2005. Inventario y zonificación de los sistemas hipersalinos de Baja California Sur. En: *Memorias del Primer Taller sobre Ecosistemas Hipersalinos de Baja California Sur, México. Avances de su Conocimiento y Directrices de Investigación*. CIBNOR, La Paz.

Shumilin, E., M. Grajeda-Muñoz, N. Silverberg y D. Sapozhnikov. 2002. Observations on trace element hypersaline geochemistry in surficial deposits of evaporation ponds of Exportadora de Sal, Guerrero Negro, Baja California Sur, México. *Marine Chemistry* 79:133-153.

Spear, J.R., R.E. Ley, A.B. Berger *et al.* 2003. Complexity in natural microbial ecosystems: The Guerrero Negro experience. *Biological Bulletin* 204:168-173.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Plantas alimenticias

Juan Fernando Pío León, José Luis León de la Luz, Francisco Delgado Vargas,
Rito Vega Aviña, Alejandra Nieto Garibay y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

Baja California Sur es uno de los estados más áridos del país, y las posibilidades para el desarrollo de la agricultura a gran escala son escasas. Consecuentemente, las plantas silvestres comestibles son una importante fuente de alimento y tienen un alto potencial para su aprovechamiento sustentable. El uso de plantas silvestres comestibles en la entidad se encuentra íntimamente relacionado con la cultura del ranchero sudcaliforniano (véase *Actividad cinegética del borrego cimarrón (Ovis canadensis weemsi)*, en esta obra), cuya forma de vida se basa en actividades como el pastoreo, la cacería, la recolección, la construcción, entre otras; y poseen un amplio conocimiento sobre el uso y manejo de los recursos naturales (Reygadas-Dahl y Landa-Romo 2013).

Los estudios etnobotánicos documentan más de 100 plantas silvestres con usos alimenticios, de las cuales se consumen los frutos y otras partes, incluso en infusiones (Parra-Hake 1980, Pío-León *et al.* 2017a, b, 2018); sin embargo, solo alrededor de 50 son de consumo frecuente (cuadro 1). A pesar de que ninguna de estas especies puede considerarse componente básico en la dieta actual de los sudcalifornianos, en conjunto representan una fuente constante de nutrimentos que la complementan. Algunas especies llegan a tener un gran valor comercial en temporada (p.e. pitayas, orégano, entre otras), y otras son parte de la identidad misma del ranchero sudcaliforniano.

Frutas y alimentos dulces

Este grupo de alimentos es el más importante, con el mayor número de especies y las de mayor consumo. La pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*) y la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*) son sin duda las frutas silvestres de mayor relevancia en términos de su uso en la alimentación local y valor económico (figura 1). Ambas especies se distribuyen a lo largo de todo el estado; sin embargo, la pitaya dulce es más abundante en la región Los Cabos, en los ambientes tropicales de los municipios de La Paz y Los Cabos.

La temporada de producción de la pitaya dulce es relativamente corta, alrededor de un mes, entre las primeras semanas de julio y las primeras de agosto (Pío-León *et al.* 2017a). Durante esas fechas se realizan festividades como la Feria de la pitaya en diferentes centros urbanos de los municipios de La Paz (San Blas y El Triunfo) y Los Cabos (Mira Flores).

Por su parte, la pitaya agria se reproduce mejor en los ecosistemas no tropicales del estado, y su temporada de producción se extiende desde julio hasta diciembre, pero intermitente, debido a que depende de la

Pío-León, J.F., J.L. León de la Luz, F. Delgado-Vargas, R. Vega-Aviña, A. Nieto-Garibay y A. Ortega-Rubio. 2025. Plantas alimenticias. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 193-204.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Plantas silvestres comestibles, clasificadas por tipo de alimento, en orden de importancia relativa decreciente en Baja California Sur.

Especie	Familia	Nombre común	Parte comestible	Distribución	NOM-059
Frutas o alimentos dulces					
Stenocereus thurberi	Cactaceae	Pitaya dulce	Fruto	Noroeste de México y Arizona	
S. gummosus	Cactaceae	Pitaya agria	Fruto	Península de Baja California	
Ficus petiolaris	Moraceae	Zalate o higo silvestre	Fruto	México	
Cyrtocarpa edulis	Anacardiaceae	Ciruela del monte	Fruto	Endémica del estado	
Pachycereus pringlei	Cactaceae	Cardón pelón	Fruto	Noroeste de México y Arizona	
Ipomoea bracteata	Convolvulaceae	Jícama	Raíz o rizoma	México	
Pachycereus pecten-aboriginum	Cactaceae	Cardón barbón	Fruto	México	
Pithecellobium dulce	Fabaceae	Guamúchil	Fruto	América tropical	
Brahea brandegeei	Arecaceae	Taco	Fruto	Endémica del estado	
Cylindropuntia cholla	Cactaceae	Cholla	Fruto	Península de Baja California	
Ferocactus townsendianus	Cactaceae	Biznaga	Tallo, flor y fruto	Endémica del estado	A
Malpighia diversifolia	Malpighiaceae	Manzanita	Fruto	Endémica del estado	
Diospyros californica	Ebenaceae	Guayparín	Fruto	Baja California Sur y Sinaloa	
Opuntia tapona, *O. bravoana*, *O. lagunae* y *O. comonduensis*	Cactaceae	Tunas	Fruto	*O. tapona* y *O. lagunae* son endémicas del estado	A (*O. bravoana*)
Agave spp.	Asparagaceae	Maguelles	Escapo floral	Algunas son endémicas del estado	
Lophocereus schottii	Cactaceae	Garambuyo	Fruto	Noroeste de México y Arizona	
Sideroxylon peninsulare	Sapotaceae	Bebelama	Fruto	Endémica del estado	
Vitis peninsularis	Vitaceae	Uva silvestre	Fruto	Endémica del estado	
Celtis reticulata	Cannabaceae	Vainoro	Fruto	Noroeste de México	
Mammillaria spp.	Cactaceae	Viejitos	Fruto	Algunas son endémicas del estado	La mayoría de especies del género se incluyen en alguna categoría de riesgo
Passiflora arida	Passifloraceae	Granadilla	Fruto	Noroeste de México	
Verduras					
Matelea cordifolia y *M. umbellata*	Apocynaceae	Talayote	Fruto	*M. cordifolia* en el noroeste de México y *M. umbellata* es endémica del estado	

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Continuación

Especie	Familia	Nombre común	Parte comestible	Distribución	NOM-059
Matelea pringlei	Apocynaceae	Talayote chino	Fruto	Noroeste de México	
Portulaca oleracea	Portulacaceae	Verdolaga	Hoja	Pantotropical	
Amaranthus spp.	Amaranthaceae	Quelites	Hoja	América tropical	
Yucca capensis y *Y. valida*	Asparagaceae	Datilillo	Flor	*Y. capensis* es endémica del estado y *Y. valida* es endémica a la península	
Amoreuxia palmatifida	Bixaceae	Zaya	Raíz o rizoma	México a Sudamérica	Pr
Nasturtium officinale	Brassicaceae	Berro	Hoja	Pantotropical	
Opuntia tapona, *O. bravoana*, *O. lagunae* y *O. comonduensis*	Cactaceae	Tunas	Pencas	*O. tapona* y *O. lagunae* son endémicas del estado	A (*O. bravoana*)
Lycopersicon esculentum	Solanaceae	Tomate de monte	Fruto	América tropical	
Semillas					
Cnidoscolus maculatus	Euphorbiaceae	Caribe	Semilla	Endémica del estado	
Quercus brandegeei	Fagaceae	Encino arroyero	Semilla	Endémica del estado	
Pinus lagunae	Pinaceae	Pino	Semilla	Endémica del estado	
Quercus tuberculata	Fagaceae	Encino roble	Semilla	México	
Cyrtocarpa edulis	Anacardiaceae	Chunique	Semilla	Endémica del estado	
Condimentos					
Capsicum annuum var. *glabriusculum*	Solanaceae	Chiltepín	Fruto	América tropical	
Lippia palmeri	Verbenaceae	Orégano	Hoja	Noroeste de México	
Dysphania ambrosioides	Amaranthaceae	Epazote	Hoja	México y Estados Unidos de América	
Tés					
Turnera diffusa var. *aphrodisiaca* y *T. diffusa* var. *diffusa*	Passifloraceae	Damiana	Hoja	América tropical	
Aloysia barbata	Verbenaceae	Margarita, santimia, poleo	Hoja	Endémica del estado	
Tagetes filifolia y *T. micrantha*	Asteraceae	Anís	Hoja	México	
Lantana velutina	Verbenaceae	Confiturilla	Hoja	México	
Pellaea ternifolia subsp. *brandegeei*	Pteridaceae	Helecho peyote	Raíz o rizoma	La subespecie es endémica del estado	
Haematoxylum brasiletto	Fabaceae	Palo brasil	Tallo	América tropical	
Porophyllum gracile	Asteraceae	Hierva de venado	Hoja	Noroeste de México	
Prunus serotina subsp. *virens*	Rosaceae	Cerezo	Corteza y hoja	Endémica del estado	

A: amenazada; Pr: sujeta a protección especial. Fuente: elaboración propia con datos de SEMARNAT 2010, Pío-León *et al.* 2017a, b, 2018.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

presencia de lluvias. Los frutos son de mayor tamaño y menor dulzor; no obstante, ambas especies se emplean para elaborar un producto procesado conocido como dulce de pitaya, que es similar a la mermelada, pero más espesa. El dulce elaborado con pitaya dulce es más apreciado, debido a que no requiere azúcar para su elaboración y su precio puede oscilar entre los 600 y 800 pesos por kilogramo en el mercado local (Pío-León 2017).

Otras frutas silvestres de gran importancia para los sudcalifornianos son los zalates o higos silvestres (*Ficus petiolaris*) que se encuentran a lo largo de todo el estado, y se utilizan como botana para saciar el hambre. La ciruela o ciruela de monte (*Cyrtocarpa edulis*) es una especie endémica del estado (Rebman *et al*. 2017) cuya fruta es un alimento muy versátil, ya que puede consumirse cruda o procesada en aguas frescas, mermeladas, encurtidos, atole o deshidratada con sal (Pío-León *et al*. 2017a, b). Una creencia ampliamente difundida en la entidad índica que, si en una visita a Baja California Sur se consume ciruela de monte, entonces se quedará a vivir en sus tierras. Otras frutas relevantes son las choyas (*Cylindropuntia cholla*), los cardones (*Pachycereus pringlei* y *P. pecten-aboriginum*) y la jícama (*Ipomoea bracteata*); esta última a pesar de ser un tubérculo, se consume como fruta por su sabor dulce.

Verduras

En el grupo de verduras se incluyen diferentes órganos de las plantas a las que pertenecen, y se emplean como complementos en la elaboración de guisados (figura 2). Se incluyen las hortalizas de hoja o rama tierna, conocidas como quelites por Bye y Linares (2000); no obstante, en el noroeste de México, el término quelite se emplea exclusivamente para especies del género *Amaranthus*.

Los frutos de los talayotes (*Matelea* spp.) son la verdura más apreciada por los sudcalifornianos, y se consumen tiernos, crudos, asados o cocinados (Pío-León *et al*. 2017a, b). El guiso de talayote es un platillo típico del estado y consiste en trozos de talayote hervidos y cocinados en un poco de aceite con cebolla y queso. Varias especies de *Matelea* se distribuyen a lo largo de la entidad (Rebman *et al*. 2017); sin embargo, *M. cordifolia* (talayote común) y *M. pringlei* (talayote chino) son las más consumidas, principalmente a finales de octubre cuando la temporada de lluvias está avanzada.

Las verduras de tipo quelite más consumidas en el estado son la verdolaga (*Portulaca oleracea*) y el quelite (*Amaranthus* spp.). Aparecen después de las primeras lluvias y suelen comerse en guisos que incluyen carne de cerdo. Los berros (*Nasturtium officinale*), el tomate de monte (*Lycopersicum esculentum* var. *cerasiforme*) y la saya (*Amoreuxia palmatifida*) son otras de las verduras silvestres que más se consumen en las rancherías. El berro y el tomate de monte crecen asociados a los oasis y zonas de humedad permanente. De la saya se utilizan sus tubérculos, de forma similar a la papa, principalmente en las rancherías de Sierra La Giganta y el centro del estado.

Semillas

Las semillas aportan energía y proteínas a la dieta y se pueden almacenar por varios meses o incluso años. Las de mayor importancia en el estado son el caribe o mala mujer (*Cnidoscolus maculatus*), y las bellotas de encino arroyero (*Quercus brandegeei*) y roble (*Q. tuberculata*; figura 2). El caribe es endémico de Baja California Sur y se distribuye desde el centro hacia el sur del estado, donde es más abundante; sus semillas se consumen crudas, tostadas o en forma de bebida en leche a la que llaman chocolate de caribe (Pío-León y Ortega-Rubio 2016). El encino roble se distribuye ampliamente en las partes medianas de las serranías de la región Los Cabos y escasamente en la Sierra La Giganta; sus bellotas se comen crudas, tostadas o tostadas molidas como sustituto de café. El encino arroyero es endémico de esta misma región (Rebman *et al*. 2017), produce bellotas menos astringentes que el roble y se comen crudas, tostadas o en atole tipo pinole.

Condimentos

En el grupo de los condimentos se incluyen ingredientes vegetales que agregados en pequeñas cantidades aportan sabores y olores distintivos a los alimentos. Los condimentos de plantas silvestres más utilizados en el territorio sudcaliforniano son el chile chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) y el orégano (*Lippia palmeri*; figura 3). Ambas especies se comercializan por los pobladores locales durante la época de producción.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Plantas silvestres comestibles (tipo frutas) más representativas de Baja California Sur: a, b) pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*) de diferente color; c) pitaya agria (*S. gummosus*); d) cardón pelón (*Pachycereus pringlei*); e) cholla (*Cylindropuntia cholla*); f) guayparín (*Diospyros californica*); g) zalate (*Ficus petiolaris*); h) manzanita (*Malpighia diversifolia*);

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

i) ciruela (*Cyrtocarpa edulis*); j) planta de jícama en flor (*Ipomoea bracteata*) y rizoma comestible (a la derecha); k) guamúchil (*Pithecellobium dulce*); l) viejitos (*Mammillaria* sp.). Fotos: Juan Fernando Pío León.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

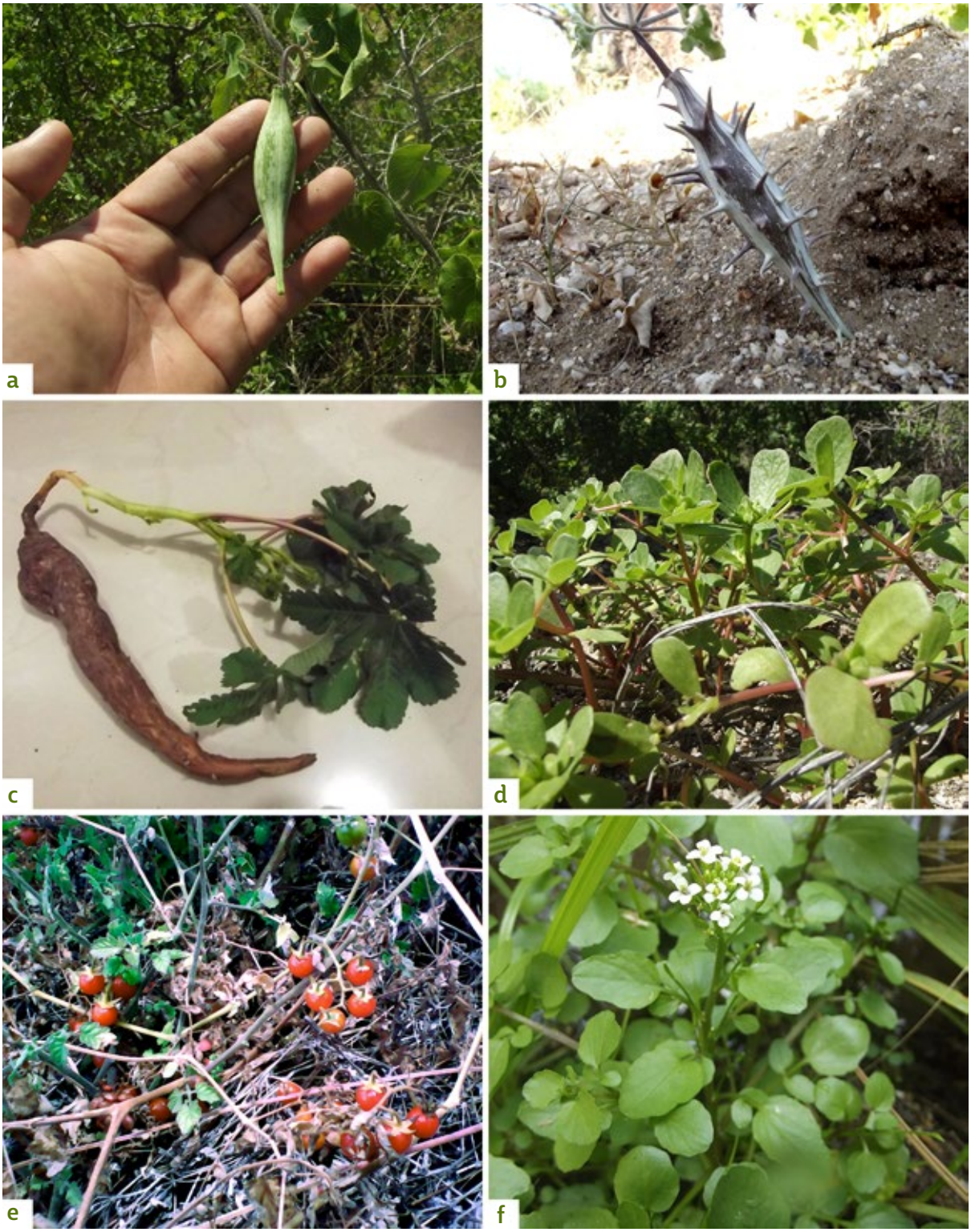


Figura 2. Algunas de las plantas silvestres comestibles (tipo verduras y semillas) más representativas de Baja California Sur: a) talayote (*Matelea cordifolia*); b) talayote chino (*M. pringlei*); c) saya (*Amoreuxia palmatifida*); d) verdolaga (*Portulaca oleracea*); e) tomate de monte (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*); f) berro (*Nasturtium officinale*); g) datilillo (*Yucca capensis*); h) bellota arroyera

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

(*Quercus brandegeei*); i) bellota roble (*Quercus tuberculata*); j) caribe (*Cnidoscolus maculatus*); k) tostando caribes; l) pino (*Pinus lagunae*). Fotos: Juan Fernando Pío León.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

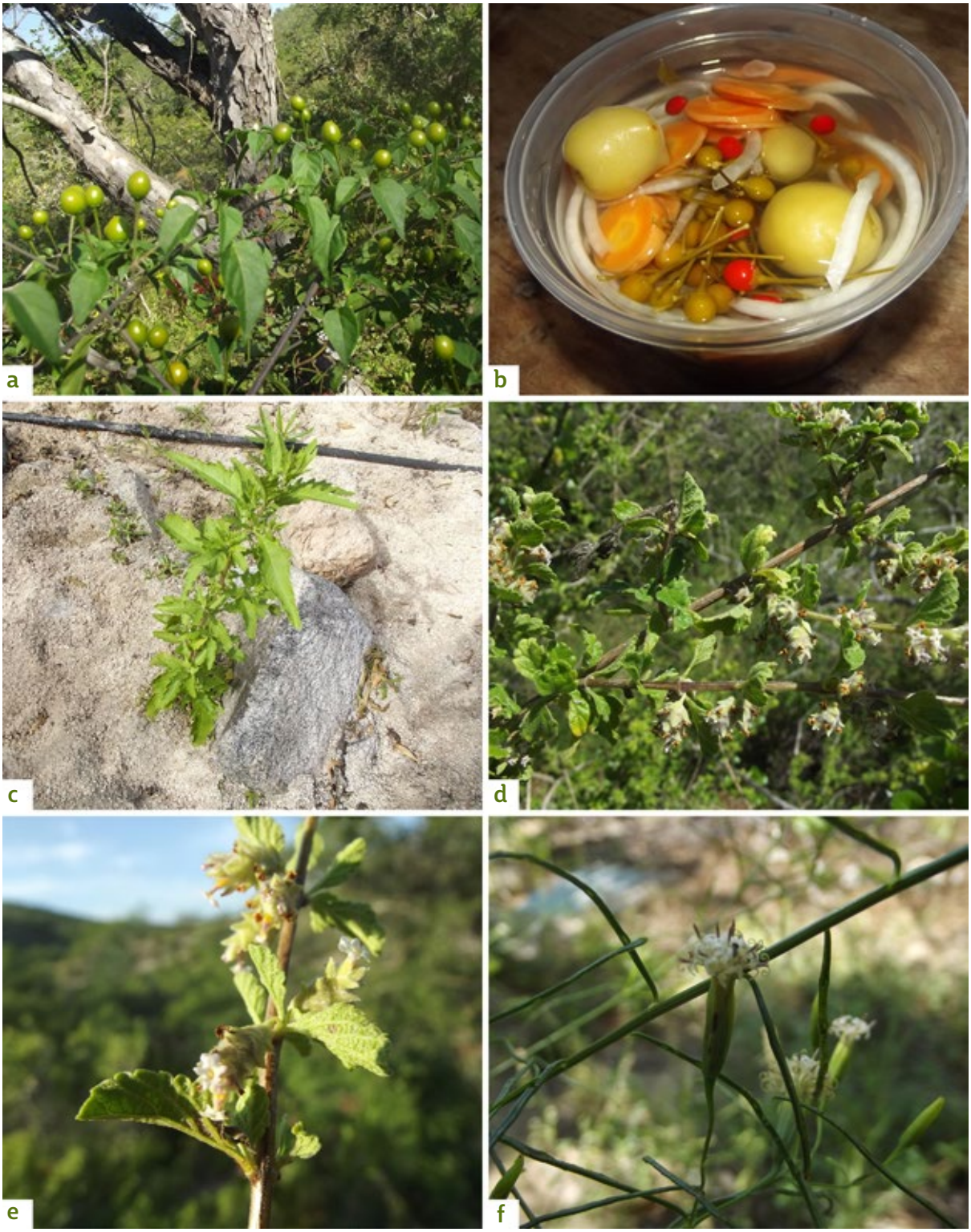


Figura 3. Algunas de las plantas silvestres comestibles (tipo condimentos y tés) más representativas de Baja California Sur: a) chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*); b) encurtido en vinagre de chiltepín y ciruela de monte; c) epazote (*Dysphania ambrosioides*); d) orégano con olor a limón (*Lippia palmeri*); e) orégano con olor típico (*L. palmeri*); f) hierva de venado (*Porophyllum gracile*);

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

g) confiturilla (*Lantana velutina*); h) margarita (*Aloysia barbata*); i) anís (*Tagetes filifolia*); j) damiana (*Turnera diffusa* var. *diffusa*); k) damiana (*T. diffusa* var. *aphrodisiaca*); l) té de anís con helecho peyote (*Pellaea ternifolia*). Fotos: Juan Fernando Pío León.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

El chiltepín (chilpitín o piquín) se distribuye en áreas sombreadas de la selva baja caducifolia de la región Los Cabos y, al igual que en el resto del país, se consume fresco (verde o maduro) o deshidratado. Un producto de chiltepín distintivo del estado es el encurtido en vinagre junto con ciruela del monte (*Cyrtocarpa edulis*) y talayote (*Matelea cordifolia*).

Por su parte, el orégano se distribuye a lo largo de todo el estado, así como en algunas islas del Pacífico y del golfo de California (Rebman *et al*. 2017). En la entidad se acostumbra a mezclar el orégano con sal y emplearlo como conservador de la carne, principalmente para elaborar carne machaca (deshidratada). En la comunidad de San Blas existe una variedad poco común de orégano que se caracteriza por su olor a limón o té limón.

Tés

El té alimenticio o recreativo es aquel que se consume por su sabor u olor y que tiene aplicaciones medicinales, pero sin ser éste el principal propósito de consumo. En el estado se reportan más de 10 plantas empleadas como tés; destacan la damiana (*Turnera diffusa*), la margarita o santimia (*Aloysia barbata*), la confiturilla (*Lantana velutina*), el anís de monte (*Tagetes filifolia*, *T. micrantha*) y el helecho peyote (*Pellaea ternifolia*; figura 3). Los usos medicinales más comunes de los tés son contra la gripe y/o la tos y como relajantes generales. Es frecuente que el ranchero sudcaliforniano empiece el día con una taza de café y la termine con una de té.

Conclusión

Muchas de las especies de plantas alimenticias descritas en este trabajo podrían ayudar a mejorar la calidad nutricional de la dieta de los sudcalifornianos y recuperar la tradición gastronómica de la región. Sin embargo, actualmente la única forma de aprovecharlas es a través de la recolección del medio silvestre y algunas de ellas tienen valor comercial. Por ello, se sugiere trabajar en la domesticación y la producción en pequeña escala de las especies clave, entre las que se encuentran la pitaya dulce, la pitaya agria, los talayotes, el chiltepín, la ciruela de monte, el caribe, la damiana y la margarita. Con ello se incrementaría su disponibilidad y se reduciría su extracción del medio silvestre para prevenir posibles daños al ecosistema.

Referencias

Bye, R. y E. Linares. 2000. Los quelites, plantas comestibles de México: una reflexión sobre intercambio cultural. *Biodiversitas* 31:11-14.

Parra-Hake, H. 1980. Introducción al estudio y al uso práctico de las plantas alimenticias del estado de Baja California. En: *v Simposio sobre el medio ambiente del golfo de California, Mexicali y puerto San Felipe*. México.

Pío-León, J.F. 2017. *Etnobotánica de plantas silvestres comestibles en la comunidad de rancheros de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna: recomendaciones para el aprovechamiento sustentable*. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

Pío-León, J.F. y A. Ortega-Rubio. 2016. Caribe (*Cnidoscolus maculatus*), desert chocolate: rescuing the tradition for sustainable development in the Sierra la Laguna Biosphere Reserve, Baja California Sur. Áreas Naturales Protegidas *Scripta* 2:23-35.

Pío-León, J.F., F. Delgado-Vargas, J.L. León-de la Luz *et al*. 2017a. Priorizando las plantas silvestres comestibles con uso potencial para nuevos cultivos con base en el conocimiento tradicional del bosque caducifolio. *Botanical Science* 95:1-13.

Pío-León, J.F., F. Delgado-Vargas, B. Murillo-Amador *et al*. 2017b. Environmental traditional knowledge in a natural protected area as the basis for management and conservation policies. *Journal of Environmental Management* 201:63-71.

Pío-León, J.F., A. Nieto-Garibay, J.L. León-de la Luz *et al*. 2018. Plantas silvestres consumidas como tés recreativos por grupos de rancheros en Baja California Sur, México. *Acta Botanica Mexicana* 123:7-19.

Rebman, J.P., J. Gibson y K. Rich. 2017. *Annotated checklist of the vascular plants of Baja California, Mexico*. San Diego Natural History Museum, San Diego.

Reygadas-Dahl, F. y C. Landa-Romo. 2013. Cultura del rancho sudcaliforniano dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 135-232.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Aprovechamiento de macroalgas marinas

Elisa Serviere Zaragoza, Margarita Casas Valdez, Gustavo Hernández Carmona y Alejandra Mazariegos Villarreal

Introducción

Generalmente, las macroalgas marinas crecen en el fondo del mar adheridas a diversos sustratos. La presencia de algunas de ellas es evidente cuando por su tamaño y abundancia forman mantos visibles sobre la superficie del mar, como en los bosques de algas cafés (*Macrocystis pyrifera* o *Sargassum* spp., figura 1). Las macroalgas se clasifican en tres grandes grupos de acuerdo con los pigmentos que utilizan para llevar a cabo la fotosíntesis: las algas verdes (división Chlorophyta), las algas cafés (división Heterokontophyta-Phaeophyceae) y las algas rojas (división Rhodophyta).

Las macroalgas proveen hábitat, refugio y alimento a diversas especies de peces e invertebrados marinos, son la base de la cadena alimenticia y producen oxígeno. El ser humano las utiliza como fuente directa de alimento, forrajes o aditivos en la producción de alimentos para animales, en la elaboración de fertilizantes, así como materia prima para la extracción de compuestos que se encuentran en su pared celular (ficocoloides), entre otros.

Los ficocoloides (agar, carragenanos y alginatos), son polisacáridos con propiedades para formar geles y soluciones altamente viscosas, por lo que se emplean en la industria alimenticia, textil, farmacéutica, cosmética y biotecnológica. En este sentido, en México se han aprovechado comercialmente cuatro especies de macroalgas como suministro de materia prima para la industria productora de ficocoloides: el alga parda o sargazo gigante (*Macrocystis pyrifera*); y tres especies de algas rojas, el sargazo rojo (*Gelidium robustum*), el pelo de cochi (*Chondracanthus canaliculatus*) y el fideo de mar (*Gracilariopsis lemaneiformis*).

El sargazo rojo (*G. robustum*) se cosecha para la producción nacional de agar; mientras que el pelo de cochi (*C. canaliculatus*) y el fideo de mar (*G. lemaneiformis*) constituyen la materia prima para la producción de carragenanos (Zertuche-González 1993, SAGARPA 2012). La exportación del sargazo gigante (*M. pyrifera*) como materia prima para la obtención de alginatos concluyó en 2004, y actualmente se ocupa directamente como alimento en el cultivo de abulón o para la producción de fertilizantes (Hernández-Herrera *et al.* 2018). Recientemente, el uso y aprovechamiento que se le ha dado a las algas por diversas etnias y comunidades en el país ha sido documentado por Lobato-Benítez y colaboradores (2018).

Serviere-Zaragoza, E., M. Casas-Valdez, G. Hernández-Carmona y A. Mazariegos-Villarreal. 2025. Aprovechamiento de macroalgas marinas. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 206-214.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Bosques de sargazo (*Sargassum* spp.) en San Juan de la Costa. Foto: Gustavo Hernández-Carmona.

Aprovechamiento potencial regional

En México se cuenta con diversos recursos macroalgales susceptibles de aprovechamiento comercial, en las costas del Pacífico y del Atlántico (Aguilar-Rosas *et al.* 1998, Robledo-Ramírez y Freile-Pelegrín 1998). En Baja California Sur algunas instituciones académicas[1] orientan sus esfuerzos para conocer los recursos disponibles en ambas costas del estado y valorar su aprovechamiento potencial. Particularmente, esto se ha realizado con las macroalgas abundantes en la región, como el sargazo gigante, con una cosecha estimada de 97 804 t de peso húmedo (Hernández-Carmona *et al.* 1991); *Sargassum* spp. con una cosecha estimada de 19 206 t de peso húmedo (Casas-Valdez *et al.* 2016); y el alga verde (*Ulva* spp.) presente en playas de la bahía de La Paz, donde causa un impacto negativo por su olor y aspecto desagradable (Aguilera-Morales *et al.* 2005). Además de estas algas, se cuenta con trabajos sobre el uso y aprovechamiento potencial de 62 macroalgas marinas registradas en el estado (cuadro 1).

Consumo humano

El contenido de minerales, carbohidratos, ácidos grasos omega 3 y 6, aminoácidos, betacarotenos y vitaminas de las macroalgas en las costas sudcalifornianas, demuestran su potencial para consumo humano y la elaboración de alimento para animales (Castro-González *et al.* 1994, Carrillo-Domínguez *et al.* 2002, Casas-Valdez 2009, Hernández-Carmona *et al.* 2009). Las algas verdes del género *Ulva* (= *Enteromorpha*), se recomiendan para el consumo humano, debido a que son ricas en minerales (principalmente calcio y fósforo), tienen cantidades aceptables de nueve de los 10 aminoácidos esenciales, presentan compuestos como la hemicelulosa que mejora la digestión y aumento en la producción de bilis para la digestión de ácidos grasos, y tienen poca energía (Aguilera-Morales *et al.* 2005). El alga parda *Sargassum* spp. ha sido adicionada en harinas suaves para la elaboración de galletas, con la finalidad de proporcionar nuevos alimentos funcionales a la población (figura 2; Velasco-González *et al.* 2013).

Forrajes o aditivos en la producción de alimentos para animales

La harina del alga parda *Sargassum* spp. y el sargazo gigante se ha probado para elaborar alimentos balanceados para bovinos, caprinos, ovinos y pollos de engorda (figura 3; Carrillo *et al.* 1990, Marín *et al.* 2003, Casas-Valdez *et al.* 2006a, Mora-Castro *et al.* 2009). La inclusión de especies de *Sargassum* y *Ulva* en dietas para gallinas de postura, mejoraron la calidad del huevo y disminuyeron la concentración de

1 El Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Macroalgas marinas con potencial de aprovechamiento en la entidad.

Especie	Usos
Grupo Chlorophyta	
Caulerpa sertularioides	OXI[31], REP[32]
Cladophora sp.	BAC[21]
Cladophora spp.	OXI[37]
C. sericea	CUA[20]
Codium amplivesiculatum	CUA[20], BAC[21, 27], OXI[31, 37]
C. brandegeei	CUA[20]
C. fragile	BAC-INC[24]
C. simulans	CUA[20], BAC[21], OXI[31, 37]
Ulva spp.	PYG[16, 26]
U. lactuca	CAM[40], BAC-INC[24], OXI[31], REM[40], FER[34]
U. rigida	CUA[20], BAC[21]
U. taeniata	BAC[21], OXI[37]
Grupo Ochrophyta	
Colpomenia sinuosa	BAC[21]
C. tuberculata	BAC[21]
Dictyopteris delicatula	BAC[21], OXI[37]
D. undulata	BAC[21]
Dictyota flabellata	BAC[21, 24], INC[24], OXI[31]
Eisenia arborea	ALG[1, 13], CUA[20, 35], BAC[21], OXI[35, 37]
Hydroclathrus clathratus	CUA[20], BAC[21], OXI[37]
Macrocystis pyrifera	PYG[3, 9, 16, 26], BOV[6], CAP[19], ALG[1, 2, 4, 5, 10], BAC[21], OXI[37]
Padina concrescens	BAC[21,24], INC[24], OXI[37]
P. mexicana	CUA[20], BAC[21]
Pseudochnoospora implexa	CUA[20], BAC[21]
Rosenvingea intricata	CUA[20], BAC[21], OXI[37]
Sargassum spp.	HUM[30], OVI[8, 18], BOV[6], CAP[11], CAM[12], PYG[25], FER[34]
S. horridum	CUA[20, 38], BAC[21, 38] REP[32], OXI[37, 38]
S. lapazeanum	REM[23]
S. macdougalii	ALG[1]
S. sinicola	PYG[16, 26], ALG[1, 17], REM[14, 23, 28], FER[14]
Stephanocystis osmundacea	BAC[21], OXI[37]

Especie	Usos
Grupo Rhodophyta	
Acanthophora spicifera	BAC[21], OXI[37]
Amphiroa valonioides	BAC[21], OXI[37]
Corallina sp.	BAC[21]
C. vancouveriensis	BAC[21]
Chondracanthus canaliculatus	BAC[21]
Dudresnaya colombiana	CUA[20]
Ganonema farinosum	CUA[20], BAC[21]
Gelidium robustum	AGA[7], CUA[20], BAC[21], OXI[37]
Gracilaria mammillaris	AGA[29], CUA[20], BAC[21]
G. marcialana	BAC[21]
G. parvispora	AGA[22]
G. subsecundata	CUA[20], BAC[21]
G. textorii	OXI[31]
G. vermiculophylla	AGA[15, 29], CUA[20], BAC[21], OXI[31]
Gymnogongrus martinensis	BAC-INC[24]
Hypnea cervicornis	DEN[36]
H. johnstonii	BAC[21]
H. spinella	OXI[31]
H. valentiae	CUA[20], BAC[21]
Laurencia sp.	BAC[21]
L. gardneri	BAC[21, 39], OXI-CIT[39]
L. johnstonii	CUA[20], BAC[21, 24, 39], INC[24], OXI-CIT[39]
L. lajolla	REP[32]
L. pacifica	BAC[21, 39], CIT[33, 39], OXI[39]
Liagora californica	BAC[21]
Neorhodomela larix	BAC[21], OXI[37]
Palisada perforata	BAC-OXI-CIT[39]
Polyostea bipinnata	BAC[21]
Pyropia perforata	BAC[21]
Rhodymenia californica	BAC[21], OXI[37]
Sarcodiotheca dichotoma	CUA[20]
Spyridia filamentosa	CUA[20], BAC[21]

HUM: consumo humano. Alimento para animales: BOV: bovino; CAP: caprino; OVI: ovino; PYG: pollos de engorda o gallinas de postura; CAM: camarones. Ficocoloides: ALG: alginatos; AGA: agar. Compuestos bioactivos: BAC: antibacteriana; CUA: anticuagulante; DEN: antidengue; INC: antiincrustante; OXI: antioxidante; REP: repelente; CIT: citotóxico; REM: bioremediación; FER: biofertilizante. Fuente: elaboración propia con datos de [1]Casas-Valdez 1982, [2]Hernández-Carmona y Casas-Valdez 1985, [3]Carrillo *et al.* 1990, [16]2008, [25]2012a, [26]b, [4]Hernández-Carmona *et al.* 1991, [5]Casas-Valdez y Hernández-Carmona 1992, [6]Gojón-Baéz *et al.* 1998, [7]Freile-Pelegrín *et al.* 1999, [8]Marín *et al.* 2003, [18]2009, [9]Rendón *et al.* 2003, [10]Reyes-Tisnado *et al.* 2004, [11]Casas-Valdez *et al.* 2006a, [12]b, [13]Arvizu *et al.* 2007, [14]Yabur *et al.* 2007, [15]Arvizu-Higuera *et al.* 2008, [17]Rodríguez-Montesinos *et al.* 2008, [29]2013,[19]Mora-Castro *et al.* 2009, [20]Muñoz-Ochoa *et al.* 2009, [21]2010, [22]Vergara-Rodarte *et al.* 2010, [23]Patrón-Prado *et al.* 2011, [28]2013, [24]Águila-Ramírez *et al.* 2012, [27]Marín-Álvarez *et al.* 2013, [30]Velasco-González *et al.* 2013, [31]Zenteno-Savín *et al.* 2013, [32]González-Castro *et al.* 2014, [33]Zaleta-Pinet *et al.* 2014, [34]Ruiz-Espinoza *et al.* 2016, [35]Landa-Cansigno *et al.* 2017, [36]Pardo-Fuentes *et al.* 2017, [37]Tenorio-Rodríguez *et al.* 2017, [38]Di Filippo-Herrera *et al.* 2018, [39]García-Davis *et al.* 2018, [40]Elizondo-González *et al.* 2018.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

colesterol (figura 4; Rendón *et al.* 2003, Carrillo *et al.* 2008, 2012a, b). En acuicultura, la incorporación de harina de *Sargassum* en la dieta del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y el camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*), mostró buenos resultados en los parámetros productivos y una disminución de colesterol en el producto (Casas-Valdez *et al.* 2006b, Elizondo-González *et al.* 2018).

Producción de ficocoloides

En el estado se tiene un desarrollo tecnológico a nivel de planta piloto para la producción de ácido algínico y sus sales de calcio, sodio y potasio (figura 5), obtenidas por la optimización de las diferentes etapas del proceso de extracción y el aprovechamiento del alga café (*Macrocystis pyrifera*; Casas-Valdez y Hernández-Carmona 1992, Hernández-Carmona *et al.* 2012). También se han realizado experimentos con *Eisenia arborea, Sargassum macdougalii* y *S. sinicola* (Casas-Valdez 1982). El rendimiento y la calidad del agar obtenido del alga roja (*Gracilaria parvispora, G. vermiculophylla*) procedente de la laguna San Ignacio, la hacen un recurso potencial para la extracción de agar grado alimenticio (Arvizu-Higuera *et al.* 2008, Vergara-Rodarte *et al.* 2010, Krueger-Hadfield *et al.* 2016).

Compuestos bioactivos

En 56 macroalgas en el estado se evaluó la presencia de compuestos biológicamente activos (cuadro 1). Destacan *Eisenia arborea* por su actividad anticoagulante (Muñoz-Ochoa *et al.* 2009); *Ulva lactuca*, *Dictyota flabellata* y *Laurencia johnstonii* por su actividad antibacteriana y anti-incrustante (Águila-Ramírez *et al.* 2012); y *E. arborea*, *Padina concrescens* y *Stephanocystis osmundacea* (= *Cystoseira osmundacea*) por su actividad antioxidante (Zenteno-Savín *et al.* 2013, Tenorio-Rodríguez *et al.* 2017). Recientemente, en *E. arborea* y *Sargassum horridum* se describió la presencia de compuestos con actividad anticoagulante, antioxidante y antibacterial (Landa-Cansigno *et al.* 2017, Di Filippo-Herrera *et al.* 2018). Hernández-Herrera y colaboradores (2018) hicieron una revisión sobre la aplicación de extractos de algas marinas en la agricultura en el país, que incluye especies de Baja California Sur como *E. arborea* y *M. pyrifera*.

Figura 2. Galletas que contienen harina de *Sargassum* spp. Foto: Margarita Casas-Valdez.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. Cabras alimentadas con el alga parda *Sargassum* spp. Foto: Margarita Casas-Valdez.

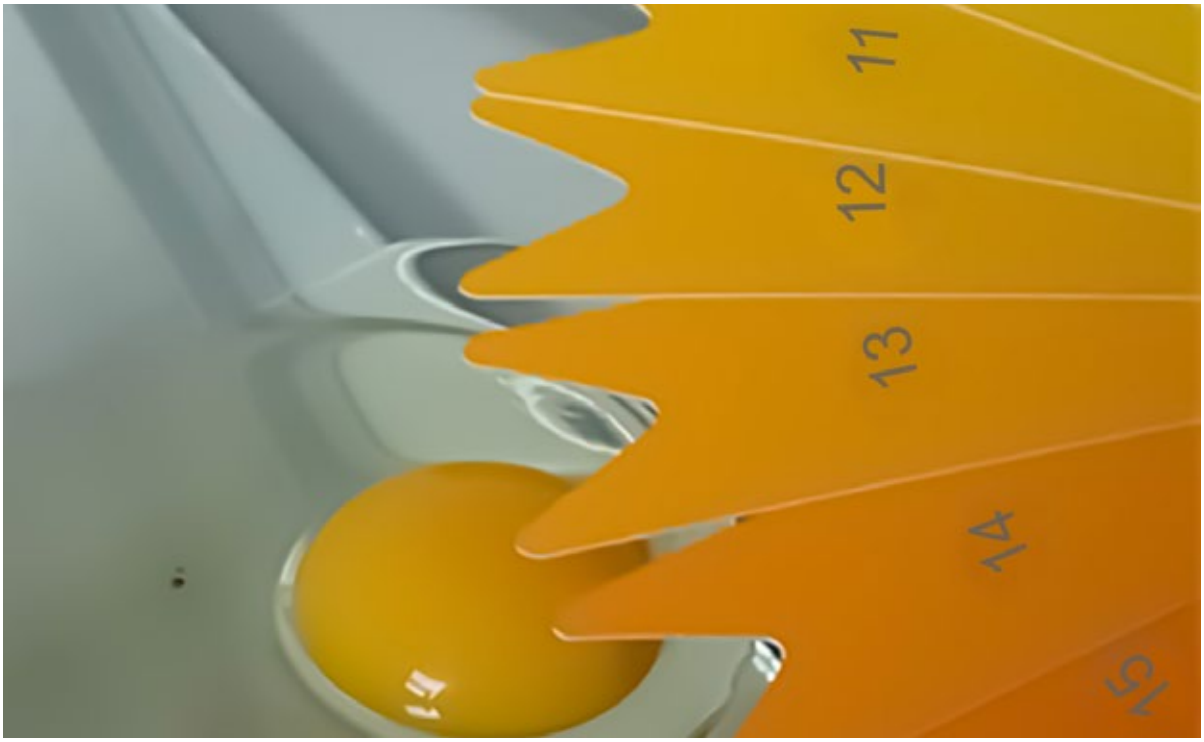


Figura 4. Huevo de gallinas alimentadas con una dieta que contiene 4% de alga parda *Sargassum* spp. Escala del Abanico de Roche para medir el color de la yema de huevo. Foto: Silvia Carrillo Domínguez.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Biorremediación

Algunas especies del género *Sargassum* se identificaron como materiales biosorbentes muy eficientes y disponibles en grandes cantidades (Davis *et al.* 2000), por lo que se pueden ocupar en la remoción de metales traza, presentes en efluentes de distintas industrias. Ensayos realizados en un sistema estático (*batch*) y de flujo continuo con *Sargassum sinicola* y *S. lapazeanum* mostraron que ambas especies tienen capacidad para la remoción de cadmio y cobre (Patrón-Prado *et al.* 2011, 2013). En acuicultura, la presencia del alga verde *Ulva lactuca* en estanques, promueve condiciones ambientales saludables para el crecimiento del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), al mejorar la calidad del agua y el uso eficiente de los alimentos (Elizondo-González *et al.* 2018); asimismo, también se ha experimentado con el alga verde *Caulerpa sertularioides* (Porchas-Cornejo *et al.* 1999, Portillo-Clark *et al.* 2013).

Conclusiones y recomendaciones

El aprovechamiento potencial de las macroalgas considera la disponibilidad de éstas a partir de mantos naturales en cantidades suficientes para abastecer la demanda. Sin embargo, la variación en la disponibilidad de recursos en el medio natural, hace evidente que el aprovechamiento, así como la diversificación de los recursos comerciales, deberá considerar el desarrollo de cultivos a escala comercial para algunas especies. Por ello, es necesario fortalecer la formación de profesionales que impacten en el desarrollo tecnológico de las macroalgas a partir de la información básica y aplicada con que se cuenta, así como la generación de conocimiento nuevo.

Figura 5. Planta piloto para la producción de alginatos en instalaciones del CICIMAR-IPN, en Baja California Sur. Foto: Gustavo Hernández-Carmona.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Águila-Ramírez, R.N., A. Arenas-González, C.J. Hernández-Guerrero *et al.* 2012. Antimicrobial and antifouling activities achieved by extracts of seaweeds from the Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica* 22:8-15.

Aguilar-Rosas, R.A., J. Espinoza-Avalos y L.E. Aguilar-Rosas. 1998. Usos de las algas marinas en México. *Ciencia y Desarrollo* 143:65-73.

Aguilera-Morales, M., M.M. Casas-Valdez, S. Carrillo-Domínguez *et al.* 2005. Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha* spp. as a potential food source. *Journal of Food Composition and Analysis* 18:79-88.

Arvizu, D.L., Y.E. Rodríguez, G. Hernández *et al.* 2007. Chemical constituents of *Eisenia arborea* Areschough from Baja California Sur, México. *Investigaciones Marinas Valparaíso* 35:63-69.

Arvizu-Higuera, D.L., Y.E. Rodríguez-Montesinos, J.I. Murillo-Álvarez *et al.* 2008. Effect of alkali treatment, time and extraction time on agar from *Gracilaria vermiculophylla*. *Journal of Applied Phycology* 20:515-519.

Carrillo, D.S., V.M.M. Casas, G.M.L. Castro *et al.* 1990. Empleo del alga marina *Macrocystis pyrifera* en dietas para pollos de carne. *Investigación Agraria, Producción y Sanidad Animal* 5:137-142.

Carrillo, S., E. López, M.M. Casas *et al.* 2008. Potential use of seaweeds in the laying hen ration to improve the quality of n-3 fatty acid enriched eggs. *Journal of Applied Phycology* 20:721-728.

Carrillo, S., A. Bahena, M. Casas *et al.* 2012a. El alga *Sargassum* spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46:181-186.

Carrillo, S., V.H. Ríos, C. Calvo *et al.* 2012b. n-3 Fatty acid content in eggs laid by hens fed with marine algae and sardine oil and stored at different times and temperatures. *Journal of Applied Phycology* 24:593-599.

Carrillo-Domínguez, S., M. Casas-Valdez, F. Ramos-Ramos *et al.* 2002. Algas marinas de Baja California Sur, México: valor nutrimental. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52: 400-405.

Casas-Valdez, M.M. 1982. *Avance para la industrialización de los alginatos en México*. CICIMAR-IPN, La Paz.

—. 2009. El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae) en el desarrollo regional. En: *Recursos marinos y servicios ambientales en el desarrollo regional.* J. Urciaga-García, L.F. Beltrán-Morales y D. Lluch-Belda (eds.). CIBNOR/UABCS/CICIMAR-IPN, La Paz, pp. 139-126.

Casas-Valdez, M. y G. Hernández-Carmona. 1992. *Desarrollo de la tecnología para la producción de alginato de sodio en México. FAO Informe de Pesca* 441(suplemento):1-20.

Casas-Valdez, M., H. Hernández-Contreras, A. Marín-Álvarez *et al.* 2006a. El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino. *Revista de Biología Tropical* 54:83-92.

Casas-Valdez, M., G. Portillo-Clark, N. Águila-Ramírez *et al.* 2006b. Efecto del alga marina *Sargassum* spp. sobre las variables productivas y concentración de colesterol en el camarón café, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 41:97-105.

Casas-Valdez, M., I. Sánchez-Rodríguez, E. Serviere-Zaragoza y R.N. Águila-Ramírez. 2016. Temporal changes in the biomass and distribution of *Sargassum* beds along the southeastern coast of the Baja California Peninsula. *Ciencias Marinas* 42:99-109.

Castro-González, M.I., S. Carrillo-Domínguez y F. Pérez-Gil. 1994. Composición química de *Macrocystis pyrifera* (sargazo gigante) recolectada en verano e invierno y su posible empleo en la alimentación animal. *Ciencias Marinas* 20:33-40.

Davis, T.A., B. Volesky y R.H.S.F. Viera. 2000. *Sargassum* seaweed as biosorbent for heavy metals. *Water Research* 34:4270-4278.

Di Filippo-Herrera, D.A., G. Hernández-Carmona, M. Muñoz-Ochoa *et al.* 2018. Monthly variation in the chemical composition and biological activity of *Sargassum horridum*. *Botanica Marina* 61:91-102.

Elizondo-González, R., E. Quiroz-Guzmán, C. Escobedo-Fregoso *et al.* 2018. Use of seaweed *Ulva lactuca* for water bioremediation and as feed additive for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *PeerJ* 6:e4459.

Freile-Pelegrín, Y., D. Robledo y E. Serviere-Zaragoza. 1999. *Gelidium robustum* agar: quality characteristics from exploited beds and seasonality from an unexploited bed at southern Baja California, México. *Hydrobiologia* 398:501-507.

García-Davis, S., I. Murillo-Álvarez, M. Muñoz-Ochoa *et al.* 2018. Bactericide, antioxidant and cytotoxic activities from marine algae of genus *Laurencia* collected in Baja California Sur, México. *International Journal of Pharmacology* 14:391-396.

Gojón-Báez, H.H., D.A. Siqueiros-Beltrones y H. Hernández-Contreras. 1998. Digestibilidad ruminal y degradabilidad *in situ* de *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp. en ganado bovino. *Ciencias Marinas* 24:463-481.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

González-Castro, A.L., M. Muñoz-Ochoa y A. Rodríguez-Cuautle. 2014. Repellent activity of marine macroalgae extracts against *Diaphorina citri*. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 4:27-30.

Hernández-Carmona, G. y M.M. Casas-Valdez. 1985. Precipitación del ácido algínico y su conversión a alginato de sodio en muestras de *Macrocystis pyrifera*. *Investigaciones Marinas* CICIMAR 2:18-28.

Hernández-Carmona, G., S. Carrillo-Domínguez, D.L. Arvizu-Higuera *et al.* 2009. Monthly variation in the chemical composition of *Eisenia arborea* J.E. Areschoug. *Journal of Applied Phycology* 21:607-616.

Hernández-Carmona, G., Y.E. Rodríguez-Montesinos, M.M. Casas-Valdez *et al.* 1991. Evaluación de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta, Laminariales) en la Península de Baja California, México. III. Verano de 1986 y variación estacional. *Ciencias Marinas* 17:121-145.

Hernández-Carmona, G., Y.E. Rodríguez-Montesinos, D.L. Arvizu-Higuera *et al.* 2012. Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México. *Ingeniería Investigación y Tecnología* 13:155-168.

Hernández-Herrera, R.M., F. Santacruz-Ruvalcaba, D.R. Briceño-Domínguez *et al*. 2018. Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica* 28:129-140.

Krueger-Hadfield, S., G. Hernández-Carmona, R. Terada *et al.* 2016. New record of the non-native seaweed *Gracilaria parvispora* in Baja California - a note on Vergara-Rodarte *et al*. (2016). *Cryptogamie, Algologie* 37:257-263.

Landa-Cansigno, C., G. Hernández-Carmona, D.L. Arvizu-Higuera *et al.* 2017. Bimontly variation in the chemical composition and biological activity of the brown seaweed *Eisenia arborea* (Laminariales: Ochrophyta) form bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Applied Phycology* 29:2605-2615.

Lobato-Benítez, C., P.M. Arenas y L.E. Mateo-Cid. 2018. Mexican ethnophycology: perspectives and challenges. *Ethnoscientia* 3:1-16.

Marín, A., M. Casas, S. Carrillo *et al.* 2003. Performance of sheep fed rations with *Sargassum* spp. sea algae. *Cuban Journal of Agricultural Science* 37:119-123.

Marín, A., M. Casas-Valdez, S. Carrillo *et al.* 2009. The marine algae *Sargassum* spp. (Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions. *Revista de Biología Tropical* 57:1271-1281.

Marín-Álvarez, A., J.I. Murillo-Álvarez, M. Muñoz-Ochoa y G.M. Molina-Salinas. 2013. Chemical constituents and bioactivity of *Codium amplivesciculatum* Setchell & N.L. Gardner (Chlorophyta; Bryopsidales). CICIMAR *Oceánides* 28:1-6.

Mora-Castro, N., M. Casas-Valdez, A. Marín-Álvarez *et al.* 2009. The kelp *Macrocystis pyrifera* as nutritional supplement for goats. *Revista Científica* FCV-LUZ 19:63-70.

Muñoz-Ochoa, M., J.I. Murillo-Álvarez, Y.E. Rodríguez-Montesinos *et al.* 2009. Anticoagulant screening of marine algae from Mexico and partial characterization of the active sulfated polysaccharide from *Eisenia arborea*. CICIMAR *Oceánides* 24:41-51.

Muñoz-Ochoa, M., J.I. Murillo-Álvarez, L.A. Zermeño-Cervantes *et al.* 2010. Screening of extracts of algae from Baja California Sur, Mexico as reversers of the antibiotic resistance of some pathogenic bacteria. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences* 14:739-747.

Pardo-Fuentes, P.E., J.S. Salas-Benito, C.H. Mejía-Ruiz *et al.* 2017. Actividad anti-dengue *in vitro* del alga marina *Hypnea cervicornis*. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 48:74-79.

Patrón-Prado, M., M. Casas-Valdez, E. Serviere-Zaragoza *et al.* 2011. Biosorption capacity for cadmium of brown seaweed *Sargassum sinicola* and *Sargassum lapazeanum* in the Gulf of California. *Water Air and Soil Pollution* 22:137-144.

Patrón-Prado, M., P. Lodeiro, D.B. Lluch-Cota *et al.* 2013. Efficiency of copper removal by *Sargassum sinicola* in batch and continuous systems. *Journal of Applied Phycology* 25:1933-1937.

Porchas-Cornejo, M.A., L. Martínez-Córdova, F. Magallón Barajas *et al.* 1999. Efecto de la macroalga *Caulerpa sertularioides* en el desarrollo del camarón *Penaeus californiensis* (Decapoda: Peneidae). *Revista de Biología Tropical* 47:437-442.

Portillo-Clark, G., R. Casillas-Hernández, R. Servín-Villegas y F.J. Magallón-Barajas. 2013. Growth and survival of the juvenile yellowleg shrimp *Farfantepenaeus californiensis* cohabiting with the green feather alga *Caulerpa sertularioides* at different temperatures. *Aquaculture Research* 44:22-30.

Rendón, U., S. Carrillo, L.G. Arellano *et al.* 2003. Composición química del residuo de la extracción de alginatos (*Macrocystis pyrifera*). Su aprovechamiento en la alimentación de gallinas ponedoras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37:291-297.

Reyes-Tisnado, R., G. Hernández-Carmona, F. López-Gutiérrez *et al.* 2004. Sodium and potassium alginates extracted from *Macrocystis pyrifera* algae for use in dental impression materials. *Ciencias Marinas* 30:189-199.

Robledo-Ramírez, D. y Y. Freile-Pelegrín. 1998. Macroflora marina de interés económico de las costas de Yucatán. En: *Aspectos económicos sobre la biodiversidad de México*. H. Benítez-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Díaz, E. Vega-López, A. Peña-Jiménez y S. Ávila-Foucat (eds.). CONABIO/SEMARNAT, México, pp. 167-180.

Rodríguez-Montesinos, Y.E., D.L. Arvizu-Higuera y G. Hernández-Carmona. 2008. Seasonal variation on size and chemical constituents of *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner from bahía de La Paz, Baja California Sur, Mexico. *Phycological Research* 56:33-38.

Rodríguez-Montesinos, Y.E., D.L. Arvizu-Higera, G. Hernández-Carmona *et al*. 2013. Seasonal variation of the agar quality and chemical composition of *Gracilaria veleroae* and *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyceae, Gracilariaceae) from Baja California Sur, Mexico. *Phycological Research* 61:116-123.

Ruiz-Espinoza, F.H., E.R. Hernández, F.A. Beltrán-Morales *et al*. 2016. Macroalgas como componente en el sustrato para producción de plántula de albahaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17:3543-3555.

SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. *Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo para la Pesquería de Macroalgas en Baja California, México*. Publicado el 30 de noviembre de 2012 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Tenorio-Rodríguez, P.A., J.I. Murillo-Álvarez, A.I. Campa-Córdova y C. Angulo. 2017. Antioxidant screening and phenolic content of ethanol extracts of selected Baja California Peninsula macroalgae. *Journal of Food Science and Technology* 54:422-429.

Velasco-González, O., S. Echavarría-Almeida, A. Sifuentes-Díaz-de-León y M. Casas-Valdez. 2013. Uso del alga marina *Sargassum* spp. adicionada a la harina de trigo para preparar galletas alimenticias para consumo humano. *Bioagro* 25:189-194.

Vergara-Rodarte, M.A., G. Hernández-Carmona, Y.E. Rodríguez-Montesinos *et al*. 2010. Seasonal variation of agar from *Gracilaria vermiculophylla*, effect of alkali treatment time and stability of its colagar. *Journal of Applied Phycology* 22:753-759.

Yabur, R., Y. Bashan y H. Hernández-Carmona. 2007. Alginate from the macroalgae *Sargassum sinicola* as a novel source for microbial immobilization material in wastewater treatment and plant growth promotion. *Journal of Applied Phycology* 19:43-53.

Zaleta-Pinet, D.A., I.P. Holland, M. Muñoz-Ochoa, J.I. Murillo-Álvarez *et al*. 2014. Cytotoxic compounds from *Laurencia pacifica*. *Organic and Medicinal Chemistry Letters* 4:1-8.

Zenteno-Savín, T., P.A. Tenorio-Rodríguez, L.C. Méndez-Rodríguez *et al*. 2013. Antioxidant substances and trace element content in macroalgae from a subtropical lagoon in the west coast of the Baja California Peninsula. *Vitamins & Trace Elements* 2:108.

Zertuche-González, J. 1993. Situación actual de la industria de las algas marinas productoras de ficocoloides en México. En: *Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe*. J.A. Zertuche-González (ed.). FAO, Roma, pp. 33-38.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

De la prehistoria a la cultura del rancho sudcaliforniano

Fermín Reygadas Dahl

Introducción

Baja California Sur se distingue por estar aislada del macizo continental, en un marco geográfico limitado por una península larga y angosta. Los vestigios arqueológicos y las fuentes etnográficas muestran que las formas de subsistencia de las comunidades indígenas peninsulares pericúes, guaycuras y cochimíes, como sus antecesores, siempre se orientaron a la caza, la recolección, la pesca y la extracción de moluscos. Nunca compartieron elementos agrícolas de Mesoamérica, por ende, nunca se practicó la tala-roza-quema, que caracterizó a las sociedades agrícolas. De igual forma, no existen vestigios ni elementos religiosos como monumentos piramidales, ni técnicos como el uso de cerámica u otros. El potencial alimenticio para las comunidades indígenas siempre estuvo íntimamente relacionado con la flora y la fauna silvestres, por lo que el éxito de su bienestar alimenticio dependió profundamente del conocimiento de la localización geográfica y las temporadas de presencia-ausencia del alimento.

Las diferencias con el macizo continental son evidentes, una de ellas es la agricultura, la cual no se estableció hasta la colonización tardía con las misiones jesuitas, a principios del siglo XVIII. El conocimiento que tenían los indígenas sobre los recursos naturales silvestres fue profundo y la transmisión de este conocimiento a los colonizadores que llegaron con las misiones fue vital para que éstos sobrevivieran en un ambiente nuevo. El establecimiento de las temporalidades, es decir los campos agrícolas y los ranchos ganaderos, fue fundamental para el funcionamiento de las misiones.

Esta situación dio como resultado que la población rural aislada en el interior y en las serranías del estado, los llamados rancheros sudcalifornianos, sea profunda conocedora del uso de las plantas silvestres para satisfacer las diferentes necesidades de una población que vivió alejada de los productos de un mercado nacional clásico. Por otro lado, el descubrimiento de la península en el siglo XVI y el arribo de barcos de diferentes confines del mundo introdujeron enfermedades que mermaron drásticamente la escasa población indígena. Posteriormente, la población sobreviviente a la colonización y al resultante ecocidio, se integró al *modus vivendi* del pueblo misional, habiendo ya dejado atrás su cultura de adaptación al entorno natural.

Aprovechamiento de la flora

En la región norte del estado se encontraron vestigios de plantas que fueron parte importante de la dieta de los pobladores de la península. En particular, en la excavación de la cueva de Salermo, en la sierra de Guadalupe, se identificaron por el autor del presente artículo,

Reygadas Dahl, F. 2025. De la prehistoria a la cultura del rancho sudcaliforniano. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 215-226.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

una serie de plantas[1] entre las que sobresalen por la cantidad de restos, las pencas y el bagazo de mezcales (*Agave* sp.; figura 1a), los cuales se asaban antes de consumirse. Asimismo, hay vestigios de pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*, figura 1b), raquetas de nopal (*Opuntia* sp., figura 1c), frutos de biznaga (*Ferocactus* sp., figura 1d), guayparín (*Diospyros californica*, figura 1e), semillas de palo verde (*Parkinsonia florida*) y mezquite (*Prosopis* sp., figura 1f), y vainas de ejotón (*Ebenopsis confinis*, figura 1g). Además, se identificó cordelería de pita de mezcal (*Agave* sp.) entorchada que, en algunos casos, estaba engarzada con canutillos o cuentas de carrizo de la flecha (*Phragmites australis*, figura 1h).

En el interior y en las serranías de la península es muy común encontrar vestigios arqueológicos de metates (figura 2a), que reflejan el patrón de asentamiento temporal para la colecta de diversas semillas duras, como las de cactáceas y leguminosas. El análisis de estos metates es útil para conocer más sobre la dieta prehispánica. Por su parte, en las crónicas de la colonización misional (1697-1767) son abundantes las referencias sobre el uso de la flora por los indígenas de las diferentes etnias. En este caso destaca la contribución del padre Miguel del Barco (1973), así como las ilustraciones de flora y fauna del padre Ignacio Tirsch (figura 2b; Nunis 1972).

Asimismo, el padre Clemente Guillén en la narración de su entrada por tierra desde Loreto hasta La Paz en 1720, da razón sobre el uso de la flora y menciona que cuando se les agotaron los víveres se veían en la necesidad de comer los corazones de agave asados que les ofrecían los guaycuras de la zona, los cuales fueron de su agrado. Sin duda alguna el agave fue la base alimenticia de las comunidades indígenas, especialmente de los guaycuras y los cochimíes del norte del estado. Ésta es una planta que se puede aprovechar prácticamente todo el año, a diferencia de la recolección de los frutos y las semillas que se dan por temporadas.

Para las comunidades de los rancheros que habitan en los lugares más aislados y remotos, el tatemado de agaves persistió hasta hace unos cuarenta años como una alternativa para los momentos de escasez. Su aprovechamiento se diversificó con el auge minero de Santa Rosalía (fines del siglo XIX), mediante la destilación del zumo de los corazones tatemados para elaborar licor de mezcal (figura 2c).

Por otro lado, el consumo de pitayas, tanto dulces en el verano como agrias en el otoño, es muy popular entre las comunidades rurales actuales del estado. En algunos ranchos se continúa con la tradición de elaborar mermeladas y jaleas con la pulpa de esta fruta; mientras que en otros, cuelan las pequeñas semillas para darle más calidad al producto. Cabe señalar que, el padre Del Barco hizo referencia a que las mujeres pericúes del sur solían preparar una conserva dentro de sus cestas, llamadas coritas, donde mezclaban el agave tatemado con el fruto de la pitaya agria. Además, hace referencia sobre la principal festividad de los guaycuras, la cual se celebraba durante la temporada de recolección de la pitaya dulce, y en la que se reunían grupos de diferentes regiones para llevar a cabo sus fiestas.

Los indígenas mostraron a los misioneros la forma de recolectar las plantas que ellos consumían. Así se observa en las pinturas del padre Tirsch (Nunis 1972), en donde se aprecia a un grupo de mujeres que salen de la Misión de Santiago rumbo al monte para recolectar pitayas (figura 2d). Respecto a otras plantas registradas por Del Barco (1973), sobresalen por su apariencia las que a primera vista son peligrosas, pero que resultaron ser aprovechables, como:

- El caribe (*Cnidoscolus angustidens*, figura 2e), una hierba anual urticante cuyas semillas, al secarse, son comestibles como pepitas o tostadas para preparar una bebida.
- La cacachila (*Karwinskia humboldtiana*, figura 2f), un matorral leñoso que se distingue por su carácter tóxico, con hojas siempre verdes y que da una frutilla de color parecido al café maduro. De esa planta, el padre Del Barco previno a las mujeres pericúes que si la comían se iban a enhuilar, es decir paralizar hasta llegar a morir. Sin embargo, las pericúes le aclararon que la semilla era la venenosa más no el fruto, y que ellas las recolectaban en abundancia y aprovechaban la drupa para hacer dulce.

1 Trabajo realizado por la arqueóloga Laura Esquivel Macías del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en Baja California Sur.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. a) Bagazo y trozo de penca de mezcal (*Agave* sp.); b) fruto de pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*); c) raqueta de nopal (*Opuntia* sp.); d) frutos de biznaga (*Ferocactus* sp.); e) fruto de guayparín (*Diospyros californica*); f) semillas de palo verde (*Parkinsonia florida*) y mezquite (*Prosopis* sp.); g) vaina de ejotón (*Ebenopsis confinis*); h) cordel entorchado de pita de agave, con canutillos de carrizo de la flecha (*Phragmites australis*) engarzados. Fotos: Fermín Reygadas Dahl.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. a) Metates y manos de metate en La Trinidad, sierra de Guadalupe; b) acuarela de la flora de la Antigua California, por el padre Tirsch a fines del siglo XVIII; c) corazones de agave listos para hornearse, antes de ser tapados con una lámina y cubiertos con tierra; d) mujeres de la Misión de Santiago preparándose para recolectar pitayas en el monte con ayuda de sus hüichutas, acuarela por el padre Tirsch a fines del siglo XVIII; e) ejemplar de flor de caribe (*Cnidoscolus angustidens*); f) frutos de cacachila, semilla y drupa (*Karwinskia humboldtiana*). Fuente/foto: Fermín Reygadas Dahl (a, c, e, f), Nunis 1972 (b, d).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Plantas medicinales

El uso de remedios procedentes de las plantas es muy común en la cultura rural sudcaliforniana. Se cuenta con varias plantas y se conocen algunos de sus usos, lo cual es gracias a las investigaciones realizadas por Encarnación-Dimayuga (1996), así como a la información de algunas habitantes de la zona, en especial de Catarino Rosas del rancho El Refugio, cañón de San Dionisio (cuadro 1).

Plantas forrajeras

Además de los forrajes convencionales, en las rancherías se utilizan las siguientes plantas silvestres como alimento de ganado: dipúa (*Parkinsonia microphylla*), mezquites (*Prosopis* spp.), palo blanco (*Lysiloma candidum*), bledo (*Celosia floribunda*, figura 3a), palo zorrillo (*Senna atomaria*), zalate (*Ficus palmeri*, figura 3b), pitaya agria (*Stenocereus gummosus*), pitaya dulce (*S. thurberi*), y palo amarillo (*Esenbeckia flava*). Cuando la sequía es muy prolongada los rancheros queman las espinas de las choyas (*Cylindropuntia cholla*) y cardones (*Pachycereus pringlei*), y los productos resultantes se aprovechan como forraje debido a su contenido de agua y alimento; mientras que de la biznaga (*Ferocactus* spp.) se aprovecha la pulpa.

Materias primas para construcción

Los ranchos y las comunidades rurales aprovechan varias especies de plantas nativas como materiales rústicos de construcción que se usan para techos, horquetas, vigas, postes, paredes y madera en general. Las materias primas más comunes y populares son la palma colorada o real (*Washingtonia robusta*, figura 3c) que se utilizan tanto para techos de casa como de patios y cobertizos, al amarrar la hoja a un enjaule hecho de carrizo (*Arundo donax*, figura 3d), de palo de arco (*Tecoma stans*) o de fajillas y vigas de madera de la misma palma colorada (figura 3e).

Las horquetas en las que descansan el enjaule y las vigas son, preferentemente, de palo amarillo (*Esenbeckia flava*), mauto (*Lysiloma microphylla*), palo

Cuadro 1. Plantas utilizadas con fines medicinales en los ranchos de Baja California Sur.

Nombre común	Especie	Uso
Chicura	*Ambrosia ambrosioides*	Sirve para la circulación y las várices
Damiana	*Turnera diffusa*	• Planta presumiblemente afrodisiaca • Se toma en infusión para el padecimiento de nervios • Se utiliza para los piquetes de alacrán y como saborizante de licores como la original bebida margarita, la cual lleva un toque de licor de damiana
Garambullo	*Lophocereus schotti*	• Asado es aplicado como fomento sobre las heridas • Se utiliza para reumatismos, fractura de huesos, piquetes de alacrán y como cura del cáncer
Guachichila	*Loeselia involucrata*	Se usa la raíz y la hoja en infusión para bajar la temperatura intensa
Guatamote	*Baccharis salicifolia*	Se utiliza en reumatismos y en infusión se emplea para la rabia
Hierba del indio	*Aristolochia monticola*	• Los bulbos se ocupan como desparasitante • Se usa como infusión para el dolor de estómago y la temperatura interna
Lomboy	*Jatropha cinerea*	Se emplea para cicatrizar y para las hemorroides
Lomboy serrano o colorado	*J. vernicosa*	Las hojas masticadas se usan para combatir las úlceras y la colitis
Pitahaya dulce	*Stenocereus thurberi*	• Se usa para atender mordeduras de víbora, piquetes de bitaches o avispas, y mantarrayas • Como cataplasma se utiliza para cicatrizar las heridas
Sauco	*Aralia scopulorum*	Se usa para bajar la temperatura, tos, ulcera y parásitos
Quina	*Colubrina glomerata*	Introducida por los misioneros jesuitas; "los polvos de quina" se utilizaron para combatir el paludismo

Fuente: elaboración propia con datos de Encarnación-Dimayuga 1996, Rosas 2010.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. a) Ejemplar de bledo (*Celosia floribunda*); b) fruto del zalate o higo silvestre (*Ficus palmeri*); c) hojas de palma real (*Washingtonia robusta*); d) construcción con enjaule de carrizo (*Arundo donax*); e) vigas elaboradas a partir de *W. robusta*; f) chiname de palo de arco (*Tecoma stans*); g) detalle de la madera de palo chino (*Havardia mexicana*); h) petates de carrizo (*Arundo donax*). Fotos: Fermín Reygadas Dahl.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

zorrillo (*Senna atomaria*) o palo blanco (*Lysiloma candidum*). De acuerdo con Reygadas Dahl y Landa Romo (2013), en las paredes de la cocina y de algunos cuartos se usa el chiname entreverado de palo de arco (figura 3f); en tanto que en los ranchos localizados a mayor altitud (sierras), el chiname se hace con guayabillo (*Dodonaea viscosa*).

Las maderas más cotizadas por su calidad para fabricar sillas, muebles, mesas, puertas y marcos de puerta son el palo chino (*Havardia mexicana*, figura 3g) y el güeribo (*Populus brandegeei*). El primero se localiza solo en el sur de la entidad, en el fondo de los cañones de la Sierra La Laguna; y el güeribo en la misma sierra y, en menor grado, en el fondo de los cañones de las sierras La Giganta y de Guadalupe. Cabe señalar que, en esta última sierra se extrajo la madera de güeribo para el primer barco que se construyó en el periodo misional jesuita.

Al norte de La Paz, son comunes las paredes de carrizo en forma de petate (figura 3h) y los amarres de corteza de vinorama (*Acacia farnesiana*). Para los corrales, preferentemente, se usan maderas duras como las del palo amarillo, palo zorrillo y ocote (*Gochnatia arborescens*); y para los cercos perimetrales se utilizan toda clase de palos y, en muchos casos, estacas de palo Adán (*Fouquieria diguetii*) y lomboy (*Jatropha cinerea*), las cuales retoñan a menudo y se vuelven cercos vivos. Cabe mencionar que los cercos de maderas introducidas suelen durar poco debido a que se apolillan fácilmente.

Otros tipos de aprovechamiento

Las cestas, llamadas coritas, por estar fabricadas de fibras de matacora (*Jatropha cuneata*), sirvieron como recipientes para los pericúes. En ellas ponían agua y la calentaban añadiéndole piedras ardientes, de tal forma que muchos alimentos los cocían en su interior.

Por su parte, los taninos son sustancias astringentes que están presentes en algunas partes de las plantas (p.e. corteza, raíz, frutos u hojas), y se usan para curtir y dar color al cuero. En Baja California Sur, los taninos se obtienen del palo blanco (*Lysiloma candidum*, figura 4a), mauto (*Lysiloma microphylla*), torote blanco (*Bursera odorata*) y copalquín (*Pachycormus discolor*). La tinta que se utiliza para darle color a la gamuza y al sayal de borrego se extrae de la raíz del mezquitillo (*Krameria parvifolia*, figura 4b). El padre Del Barco (1973:104) menciona que "Esas raíces servían para teñir las gamuzas de pieles de venado (que allí no solo los soldados, sino también muchos de los indios saben adobar muy bien), dándoles un color acaramelado, más claro o más subido, según quieren"; lo anterior, queda representado en las actuales cueras de los vaqueros sudcalifornianos (figura 4c).

El tabaco silvestre (*Nicotiana obtusifolia*, figura 4d), como lo llaman los rancheros, tuvo un importante uso ceremonial y medicinal para los guaycuras. Sus chamanes acostumbraban a usar unas pipas de piedra cilíndricas, llamadas chacuacos (figura 4e), con unas perforaciones cónicas al interior, de tal forma que la parte más estrecha se encuentra en el centro. La pipa se rellenaba con hojas de tabaco silvestre seco y se ahumaba al enfermo dentro del ritual de curación. En la actualidad, en algunos ranchos se puede encontrar todavía tabaco doméstico (*Nicotiana tabacum*, figura 4f) disperso en las huertas. Este tabaco fue popular hasta mediados del siglo XX, cuando los rancheros forjaban sus propios cigarros y los prendían con un eslabón y una mecha. Actualmente, los cigarros comerciales lo han sustituido.

Durante el periodo antiguo (con poblaciones nativas) se utilizaba la resina del palo brea (*Parkinsonia praecox*, figuras 4g y 4h) para pegar las tablas mezcaleras, mencionadas por Reygadas Dahl y Velázquez Ramírez (1990); estos autores suponen que los pericúes las usaban para cortar las pencas de los agaves. Para tal fin, se utilizaba una tabla del largo de un antebrazo, que era probablemente de encino arroyero (*Quercus brandegeei*). En uno de sus extremos se le pegaba, con resina, un diente fósil de tiburón (*Carcharodon megalodon*), el cual se ataba con una correa de cuero, de tal forma que las tablas servían para despencar los agaves a distancia y evitar la urticaria típica que produce su sabia.

Por último, se puede mencionar el uso que los rancheros sudcalifornianos le dan a la corteza del palo Adán (*Fouquieria diguetii*) como jabón, en especial para quitar las manchas en la ropa. En este sentido, se reconoce una gran diversidad de plantas que han sido empleadas desde tiempos prehispánicos y que actualmente se siguen utilizando por rancheros del estado (apéndice 50).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 4. a) Cascalote de palo blanco (*Lysiloma candidum*); b) raíz del mezquitillo (*Krameria parvifolia*); c) vaquero sudcaliforniano con cuera de gamuza; d) tabaco silvestre (*Nicotiana obtusifolia*); e) chacuacos de diversas rocas; f) tabaco doméstico (*N. tabacum*); g) resina del palo brea (*Parkinsonia praecox*); h) ejemplar de palo brea en floración. Fotos: Fermín Reygadas Dahl.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Aprovechamiento de la fauna terrestre y marina

En Baja California Sur, el aprovechamiento de la biodiversidad se refleja desde las primeras manifestaciones artísticas de los grupos prehistóricos que poblaron la península, como las pinturas rupestres de las sierras de San Francisco y Guadalupe, en el norte de la entidad, clasificadas por los especialistas como el periodo Arcaico del Gran Mural, con una antigüedad entre 9 000 y 1 000 años a.C. (Viñas y Rosell 2009). Estos grandes murales (figuras 5a, 5b y 5c), plasmados sobre abrigos rocosos, cuevas y cantiles, se reconocen como de los más importantes del continente americano y se caracterizan por su realismo y abstracción de estilo propio.

En los grandes murales rupestres de la zona se representa una fauna variada terrestre y marina, que acompaña a figuras humanas con colores predominantes en ocre y negro; sin embargo, llama la atención la ausencia de elementos notorios de la flora. Entre las especies representadas, es común la presencia del venado bura (*Odocoileus hemionus*, figura 5d), borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), conejos y liebres; y en menor número, berrendos (*Antilocapra americana peninsularis*), pumas (*Puma concolor*), coyotes (*Canis latrans*), felinos pequeños, víboras y alacranes. En el caso de las aves, se pueden apreciar zopilotes (*Cathartes aura*), águilas, pelícanos (*Pelecanus* sp.) y garzas. Entre las especies marinas están las mantarrayas, tortugas, ballenas y una variedad de peces. En la cueva La Pintada, Viñas y Rosell (2009) identificaron mamíferos, aves, fauna marina y reptiles. En el mural de este sitio, es notoria la presencia de 283 venados, de los cuales 42 son machos con cornamentas definidas y algunos de ellos flechados, así como 35 hembras, 157 cervatillos y 49 indefinidos, ninguno de ellos con la representación de estar flechado.

Recursos marinos

Los sitios arqueológicos en la costa (también denominados concheros), muestran una gran variedad de especies que contribuyeron con la dieta de los pobladores de la península (figura 5e). Principalmente, los vestigios constan de moluscos y peces, y en algunos casos de mamíferos marinos. Las fuentes históricas ayudan a entender la forma en que se aprovecharon los recursos marinos. Las notas del padre Del Barco (1973) relatan cómo los indígenas solían ir a sus pesquerías a la costa, donde buceaban para atrapar moluscos, y cómo los salaban y secaban al sol. Posteriormente, los ensartaban en una pita de mezcal para hacer una sarta de collares con ellos y después los llevaban a sus rancherías para abastecer a su gente. Los trabajos de Reygadas Dahl y Velázquez Ramírez (1990, 2005) confirman la importancia de estos recursos ya que en los concheros desde La Paz hasta Los Cabos, en ambas costas, se identificaron 75 especies de moluscos (apéndice 51) pertenecientes a 32 familias, sobresaliendo por su abundancia: la madre perla (*Pinctada mazatlanica*), la almeja indio (*Glycymeris gigantea*), la garra de león (*Ostrea fisheri*), la pata de mula (*Anadara multicostata*), el caracol burro (*Strombus galeatus*) y la almeja roñosa (*Chione californiensis*). El sitio de pesca con mayor diversidad se encuentra en la bahía de Muertos (45 especies); mientras que la costa del Pacífico (al sur de los 24° N) cuenta con menor diversidad (8 especies).

En estos concheros suele haber una gran cantidad de moluscos, pero al realizar excavaciones arqueológicas se encontró un número considerable de sitios con restos quemados de diferentes especies de delfines (*Delphinus* spp.), y en menor número de lobos marinos (*Zalophus californianus*) y tortugas marinas, lo que demuestra la diversidad de la dieta original. Asimismo, se han reportado restos de delfines en los sitios arqueológicos El Conchalito, en la ensenada de La Paz (Rosales-López y Fujita, 2000, Reygadas Dahl observación personal); así como en la ensenada de Muertos (Rosales-López 2019), Las Tinajas (Fujita *et al.* 2002), isla Cerralvo (Reygadas Dahl y Velázquez Ramírez 2005) y El Médano, en Cabo San Lucas (Fujita *et al.* 2002). Cabe señalar que para el sitio Las Tinajas, Fujita y colaboradores (2002) diagnosticaron 75 bullas timpánicas que indican la presencia de siete especies de delfines, de las cuales 50% pertenecieron a individuos de delfín común (*Delphinus delphis*); menos de 5% a delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), delfín de Risso (*Grampus griseus*), delfín tonina (*Tursiops truncatus*) y delfín de costados blancos (*Lagenorhynchus obliquidens*); y menos de 3% a delfín moteado (*Stenella attenuata*) y delfín tornillo (*S. longirostris*).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Las pinturas rupestres de los sitios arqueológicos como Cuevas Pintas (figura 5f) en la Sierra La Giganta, muestran evidencias de la presencia de tortugas marinas, representadas por carapachos. En los vestigios arqueológicos costeros o concheros se encuentra un gran número de huesos de tortuga. En este sentido, sobresale la ensenada de Muertos, para la cual Lizárraga (2013) reportó alrededor de 20 mil fragmentos que sumaron más de 30 kg. Todos los restos corresponden a la familia Cheloniidae, y solo para siete de ellos fue posible la identificación hasta el nivel de especie, debido a la falta de huesos diagnósticos. Las especies identificadas fueron las tortugas golfina (*Lepidochelys olivacea*) y prieta (*Chelonia mydas*).

Hasta hace algunos años, en Baja California Sur, la sopa de tortuga caguama fue un platillo tradicional regional que se consumía en las celebraciones y en las reuniones políticas de proselitismo, que incluso fueron conocidas como caguamadas. Sin embargo, a raíz de la expedición del decreto de la veda de captura de tortugas en el territorio nacional en el 2000, esta tradición se erradicó a pesar de la resistencia generada por las costumbres, y pasó a ser sustituida por la caguamanta, que es un platillo elaborado con mantarraya.

De acuerdo con las fuentes históricas del estado, se tienen indicios del aprovechamiento (incluso con el uso de herramientas especializadas, figura 5g) de otras especies que fueron parte de la alimentación de los antiguos californios. Por ejemplo, Alonso González Barriga al llegar el 4 de febrero de 1644 a Cabo San Lucas reportó lo siguiente: "Vaxó una Vallena en la Costa, y en cinco días la hicieron pedacos los indios con sus achas que son de piedra; los Indios de la tierra dentro con quien traen guerra y se llaman los guayairos (guaycuras) quisieron venir a la ballena, pero los Marítimos (pericúes) dieron a entender necesitaban de fauor de los Españoles y personas los llevaron a unos cerros desde donde vieron gran número de Indios con sus armas, los cuales sabiendo tenían gente forastera en su ayuda, con que los del Reyno quedaron agradecidos" (Mathes y Cota Sandoval 1980:47).

En 1721, el corsario inglés George Shelvocke reportó para el extremo sur y refiriéndose a los pericúes y sus habilidades en el mar: "un día cuando estaba allá una especie de monstruoso pez llano (plano) estaba tomando el sol en la superficie del agua cerca de la playa. Al verle, salieron doce de los indios al agua y le cercaron; y al verse estorbado se sumergió y ellos le prosiguieron, y con mucha dificultad les escapó la primera vez. Una hora después volvió, y 16 o 17 indios salieron nadando, y le cercaron de nuevo y al atormentarle en una manera especial, por su arte, le forzaron hasta la playa: pues todas sus fuerzas juntas no eran comparables a él dentro del agua. Cuando su barriga tocó tierra, la fuerza con que pegó la playa con sus aletas es inexpresable, así como era la agilidad de los indios que estaban alrededor intentando matarle para evitar que la marea le vuelva a flotar...pronto le cortaron en pedazos que distribuyeron a todos que llegaron. Este pez, por el cálculo más próximo tenía 14 o 15 pies de ancho y no tanto de largo; aunque era del tipo llano estaba muy grueso y tenía una boca grande y horrible" (Mathes y Cota Sandoval 1980:63).

Fauna marina como parte de ofrendas

Entre las ofrendas asociadas a los entierros humanos de la época prehispánica, sobresale el hallazgo localizado en el cementerio de nativos peninsulares El Conchalito, en una terraza marina ubicada en la boca de la bahía de La Paz (Reygadas Dahl y González Barba 2003). El hallazgo fue un cráneo, de una mujer de aproximadamente 20 años, que en el proceso de una segunda acequia se le puso una corona de dientes de tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) y tiburón toro (*Carcharhinus leucas*) pegados con resina de palo brea a la altura de la sien y pasando por atrás del occipital (figura 5h); lamentablemente, una mitad de esta diadema fue arrancada *in situ*.

En otros restos de entierros humanos, de la región Los Cabos, se encuentran ofrendas de conchas como collares de caracol brilloso (*Oliva* spp.), ornamentos circulares y lanceolados de madre perla y, más al norte del estado, ornamentos de abulón (*Haliotis* spp.; Massey 1966). En el cerro de La Calavera, en la bahía de La Paz, se encontró una perla con un surco a su alrededor para sujetarse con un cordel (Hambleton 2002), como la que se menciona en las fuentes históricas.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 5. a) Representación de venado macho en color negro (*Odocoileus hemionus*) en el mural de la cueva Piedra Pintada, Sierra San Francisco; b) figura de venado macho en color ocre de la cueva de La Flecha, Sierra San Francisco; c) pintura rupestre de borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en la cueva Pintada, Sierra San Francisco; d) representación de venados (*Odocoileus hemionus*) macho y hembra a diferente escala, en La Trinidad; e) sitio arqueológico tipo conchero en Pichilingue, La Paz; f) representación rupestre del interior de un carapacho de tortuga, en el sitio Cuevas Pintas; g) hacha bifaz de riolita que, por su tamaño, se sugiere que fue utilizada para destazar grandes mamíferos; h) cráneo de una mujer con incrustaciones de dientes de tiburones blanco y toro en forma de corona. Fotos: Fermín Reygadas Dahl.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones

De los apartados incluidos en este escrito se destacan dos aspectos. En primer lugar, los hallazgos arqueológicos, las fuentes históricas y la información etnológica asientan la importancia de incluir el aporte de estas tres disciplinas a los estudios de biodiversidad, debido a que pueden contribuir en la apertura de nuevas posibilidades para el uso racional de los recursos biológicos. En segundo lugar, la abundante información sobre el uso de la biodiversidad por los grupos indígenas de Baja California Sur permite reflexionar cómo el entorno geográfico, desde la perspectiva de los cazadores-recolectores-pescadores, fue un territorio muy rico y diverso; en especial en su flora terrestre y fauna marina, dando sustento a diferentes sociedades de la prehistoria por varios milenios. Esto contrasta con la visión de una región agreste y árida que se acuñó a partir del establecimiento de los pueblos misionales sedentarios y de la introducción de las especies domésticas para la agricultura y la ganadería, que requieren de un uso intensivo del agua, lo que lamentablemente continúa siendo la visión generalizada de la población sudcaliforniana.

Referencias

Del Barco, M. 1973. *Historia natural y crónica de la Antigua California*. UNAM, México.

Encarnación-Dimayuga, R. 1996. *Medicina tradicional y popular de Baja California Sur*. SEP/UABCS, México.

Fujita, J., J. Porcasi y G. Poyatos de La Paz. 2002. Explotación intensiva de delfines en Las Tinas No. 3, Baja California Sur. *Revista Arqueología INAH* 28:5-20.

Hambleton, E. 2002. Espíritu Santo una isla de perlas. En: *Isla Espíritu Santo*. Fundación Mexicana para la Educación Ambiental A.C., México.

Lizárraga, E. 2013. *Restos arqueozoológicos de las tortugas marinas en Ensenada de Muertos, Baja California Sur*. Tesis de licenciatura. UABCS, Baja California Sur.

Massey, W.C. 1966. Archaeology and ethnohistory of lower California. En: *Handbook of Middle American Indians*. University of Texas Press, EUA, pp. 38-58.

Mathes, M. y A. Cota Sandoval. 1980. *Importancia de Cabo San Lucas*. FONAPAS/Municipio de Los Cabos, México.

Nunis, D.B. Jr. 1972. *The drawings of Ignacio Tirsch, a jesuit missionary in Baja California*. Dawson's Book Shop, Los Ángeles.

Reygadas Dahl, F. y G. González Barba. 2003. Ornamento elaborado con dientes de tiburón impregnado a un cráneo humano del sitio prehispánico El Conchalito (Ensenada de La Paz), Baja California Sur, México. En: *Presencia de la Arqueoictiología en México, 12a reunión del grupo de trabajo en restos de peces del Consejo Internacional para la Arqueozoología*. CONACULTA/INAH, México, pp. 145-149.

Reygadas Dahl, F. y C. Landa Romo. 2013. Cultura del Rancho Sudcaliforniano dentro de los límites de la reserva de la biosfera Sierra La Laguna. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la reserva de la biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. CIBNOR, La Paz, pp. 195-232.

Reygadas Dahl, F. y G. Velázquez Ramírez. 1990. Extracción de moluscos por los grupos indígenas en la región austral de la Baja California. En: *Etnoarqueología Primer Coloquio Bosch-Gimpera*. UNAM, México, pp. 241-262.

—. 2005. Archaeaology and ethnohistory of shellfish exploitation in Baja California Sur, Mexico. En: *Archaeology without limits, papers in honor Clement W. Meigan*, Labyrinthos, pp. 189-204.

Rosales-López, A. 2019. *Investigador del Instituto Nacional de Antropología e Historia*. Comunicación personal, febrero.

Rosales-López, A. y H. Fujita. 2000. *La Antigua California prehispánica: la vida costera en El Conchalito*. Colección Científica 423. INAH, México.

Rosas, C. 2010. Ranchero sudcaliforniano en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna. Comunicación personal, enero.

Viñas, R. y J. Rosell. 2009. Las representaciones rupestres de fauna de Cueva Pintada: Los cérvidos (Sierra de San Francisco, Baja California Sur, México). *Arqueobios* 3(1):88-103.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Actividad cinegética del borrego cimarrón (*Ovis canadensis weemsi*)

Jesus Rafael Cruz López, Patricia Galina Tessaro, Sergio Álvarez Cárdenas y María Elizabeth González Payan

Introducción

El borrego cimarrón del desierto (*Ovis canadensis weemsi*) es la más sureña de las seis subespecies de borregos de montaña distribuidas en Norteamérica. Se encuentra desde el volcán de Las Tres Vírgenes, al norte de Baja California Sur, hasta la sierra El Mechudo, en el extremo norte de la bahía de La Paz; también se distribuye en la Isla del Carmen, frente a la localidad de Loreto (Jiménez *et al*. 1996, DeForge *et al*. 1997, Álvarez-Cárdenas 2004, Álvarez-Cárdenas *et al*. 2005).

Es la especie más representativa del estado, y uno de los trofeos más relevantes desde el punto de vista cinegético (o de la cacería deportiva). Además, se trata de una especie registrada como sujeta a protección especial en la NOM-059 (SEMARNAT 2010); por lo cual posee un alto potencial para ser conservada a través de su aprovechamiento sustentable en el estado. Cabe señalar que históricamente, en México la administración de los recursos cinegéticos se enfocó básicamente en establecer tasas de aprovechamiento, regiones de caza y vedas (cuadro 1).

Las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), cuyo marco legal aparece en 1996, son predios o instalaciones registradas por propietarios o poseedores, destinadas al aprovechamiento sustentable de las especies silvestres, las cuales operan con base en un estudio técnico llamado plan de manejo. En este plan se describen y programan las actividades para el manejo de las especies silvestres y su hábitat, y se establecen metas e indicadores de éxito en función del monitoreo del hábitat y las poblaciones (SEDUE 1988, SEMARNAP 2000, CONABIO 2012, SEMARNAT 2015). En general, existen dos modalidades de UMA: extensivas, basadas en técnicas de manejo del hábitat y monitoreo de poblaciones de las especies de interés con vistas a un aprovechamiento sostenido; e intensivas, basadas en el manejo zootécnico o fitotécnico de ejemplares confinados para la reproducción (SEMARNAP 2000).

UMA de borrego cimarrón en el estado

Durante 2018 en el territorio sudcaliforniano operaron 12 UMA de borrego cimarrón; 10 son de propiedad ejidal y dos de propiedad privada (Isla del Carmen y El Palo Amarillo). Asimismo, 11 fueron de manejo extensivo (en vida libre) con aprovechamiento cinegético del borrego cimarrón, y una de conservación.

En muchos casos, las UMA ejidales las manejan a través de un representante legal del ejido designado por mayoría de votos en asamblea, con ayuda y ase-

Cruz-López, J.R., P. Galina-Tessaro, S. Álvarez-Cárdenas y M.E. González-Payan. 2025. Actividad cinegética del borrego cimarrón (*Ovis canadensis weemsi*). En: La *biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 228-233.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Cronología de la administración del borrego cimarrón y otros recursos cinegéticos en México.

Periodo	Acontecimiento
1917	Primera veda de borrego cimarrón decretada en Baja California
1922	Veda nacional por 10 años
1933	Extensión de la veda por 10 años más
1944	Declaración de veda permanente
1963	La Secretaría de Agricultura y Ganadería suspendió la veda, y para regular la actividad cinegética se dio autorización del aprovechamiento solo para fines de caza deportiva
1964-1968	Organización de cacerías experimentales
1969	Se autorizaron temporadas anuales, únicamente para ejemplares de trofeo
1974	El gobierno federal puso en marcha el Programa Nacional del Borrego Cimarrón
1976	Primera estimación numérica de la población de Baja California
1982	Gestión a cargo de a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE); y estudios en la Península de Baja California con la participación de la Universidad Autónoma de Baja California
1987	Incorporación del Consejo Nacional de la Fauna A.C. a la coordinación de las temporadas de caza: 1987-1989 en Baja California, y 1987-1993 en Baja California Sur y Sonora
1990-1991	Veda para temporada de caza únicamente para la subespecie *O. canadensis cremnobates* en Baja California
1991	México se suscribe en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)
1993	La Dirección General de Aprovechamiento Ecológico de los Recursos Naturales (DGAERN), integrada a la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL),[1] suspendió la actividad cinegética para las temporadas 1993-1994 y 1994-1995 por no existir elementos técnicos que permitieran fijar una tasa de aprovechamiento
1994	La NOM-059-ECOL-1994 establece a *O. canadensis* bajo la categoría sujeta a protección especial
1995-1996	• Creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) • Nuevos sistemas de gestión basados en el Programa Nacional de Medio Ambiente 1995-2000 • Creación de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) y un programa nacional de vida silvestre: lineamientos, estrategias e instrumentos para el manejo sustentable de las especies de vida silvestre, entre éstas las especies consideradas prioritarias • Creación del marco legal para las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA)
1997	SEMARNAP pone en operación el Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural: 1997-2000, para integrar las estrategias ambientales, económicas, sociales y legales enfocadas a la vida silvestre, que permitieran promover una participación social amplia y crear incentivos económicos realistas para su correcto manejo

[1] Actualmente Secretaría de Bienestar (BIENESTAR). Fuente: elaboración propia con datos de SEMARNAP 2000.

soría de responsables técnicos, quienes son los encargados de realizar los trámites de solicitud de una tasa de aprovechamiento. Para obtener esta tasa o permiso de aprovechamiento es necesaria la realización de dos censos terrestres cada temporada cinegética, para determinar la condición actual de la población, así como las evaluaciones y los monitoreos periódicos de la disponibilidad de hábitat adecuado en las llamadas zonas borregueras.

Eventualmente se han realizado censos aéreos (figura 1) coordinados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), en los que han participado especialistas extranjeros (Lee 2003, Lee y Alcalá 2013). En 2011 se realizó un censo con apoyo de un helicóptero de la Comisión Federal de Electricidad (DGVS 2011), y otro más en 2016 coordinado por SEMARNAT, DGVS, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), y la Unión de UMA, con el fin de determinar la tasa de aprovechamiento aplicable para las siguientes temporadas cinegéticas (figura 1). A partir de este último, se autorizó la cacería de 18 ejemplares para todo el estado.

En la actualidad existen dos tipos de comercialización de los permisos o cintillos de cacería: 1) directa (el ejido o UMA vende el derecho de cacería directamente

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Actividades para la realización de censos aéreos del borrego cimarrón en el estado: a) cartel con la lista de las UMA que realizaron censos aéreos en 2011; b) vista desde la aeronave de la realización del censo en 2011; c) grupo de ejemplares vistos en el censo de 2016. Fotos: Sergio Álvarez (a, b), Gabriela Moreno (c).

al cazador); y 2) a través de intermediarios u *outffiter* (el ejido vende el permiso de cacería, mientras que el intermediario es el encargado de contactar al cazador y llevar a cabo toda la logística cinegética).

Los permisos o cintillos son de difícil venta en México debido al elevado precio, por lo que son comercializados en Estados Unidos de América (especialmente en las ciudades de Reno y Las Vegas, Nevada) o en Canadá, generalmente durante las convenciones anuales de armas o de fundaciones de caza y pesca. Estos se ofertan en subasta, donde el precio promedio oscila en 30 mil dólares estadounidenses, aunque han alcanzado los 55 mil dólares estadounidenses. Esta ganancia se reparte entre los ejidatarios y las acciones de conservación.

Aspectos generales de la cacería

En el estado, solo hay cacería en vida libre y en las zonas designadas para ese propósito dentro de cada UMA. El tipo de arma más común es el rifle de largo alcance y de alto calibre, pero también se realizan cacerías con arcos o ballestas especiales para grandes trofeos. Las armas de fuego por lo general son propiedad de los cazadores, y debido a que el calibre utilizado no es de uso civil en México, debe tramitarse un permiso especial de importación de arma de fuego para fines cinegéticos.

Durante la cacería hay varios factores de los que depende su correcta ejecución. Un buen equipo de cacería (*hunt team*) se compone generalmente de seis

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

puestos básicos con tareas específicas: 1) el cazador (quien es el comprador del permiso de cacería); 2) el guía de la cacería o líder de la expedición; 3) el gemelero (encargado de la localización de posibles trofeos mediante el uso de binoculares); 4) el mochilero (encargado del transporte de víveres, agua y equipo de campo); 5) el supervisor del ejido (verifica la cacería); y 6) el cocinero (se dedica a la preparación de alimentos y cuidado del campamento). Además, se cuenta con un técnico de la UMA, que supervisa la actividad cinegética, y se recomienda un ayudante del guía, un camarógrafo de aventura y un biólogo capacitado para toma de muestras sanitarias.

El técnico certificado de la UMA, con la supervisión de las autoridades de la DGVS, llena un formato con datos de la cacería, medidas del trofeo (puntaje) y otros datos generales. Algunas reglas generales de la cacería del borrego cimarrón son:

- La cacería se debe limitar a una duración de diez días naturales.
- El ejido debe mostrar al cazador, por medio de la observación, que tiene al menos un ejemplar con las condiciones legales para ser cazado.
- El cazador solo puede colectar trofeos macho clase IV, de más de 10 años.
- El cazador solo tiene una oportunidad de cacería por temporada.
- El cazador puede elegir si caza o no el ejemplar trofeo presentado, bajo el riesgo de no volver a observar otro.
- El cazador no puede herir otros ejemplares aparte del que es el objetivo su cacería.
- Si el cazador hiere otro ejemplar o presenta una conducta inadecuada, puede ser objeto de multas por parte de la UMA.
- Si el cazador hiere a un ejemplar trofeo, éste será su objetivo por el resto de la cacería.
- Durante la cacería, la persona con más rango y autoridad es el guía.
- Antes de disparar, el cazador tiene que ser avalado por el guía y el supervisor del ejido.
- Si el cazador no cumple con la condición física necesaria para acceder a los sitios de cacería, este perderá su oportunidad.
- El ejido no se hace responsable por accidentes durante la cacería.
- De no morir el borrego al primer impacto, a éste se le tiene que dar un manejo rápido y respetuoso (figura 2).

Figura 2. Borrego cazado en el ejido Ley Federal de Aguas 3, sierra El Mechudo. Foto: AMBIOS Ecología y Asesoría Ambientales S.A. de C.V.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Una vez cobrado el trofeo, se procede a la medición de las características diagnósticas generales del animal y la obtención de muestras de tejidos para estudios fitosanitarios; y se realiza el primer tratamiento taxidérmico del ejemplar, que consiste en la remoción de órganos, piel del cráneo y del resto del cuerpo, para dejar los dactilares (carpos y tarsos; figura 3). En el campamento se realiza la remoción del material cerebral y de los restos de músculo del cráneo-cuernos, y se procede con la limpieza-oreado de la piel. El trofeo completo (cráneo-cuernos y piel) debe congelarse al menos durante 20 días a -10°C, previo al tratamiento taxidérmico final del mismo. El proceso de exportación del trofeo se realiza por personas capacitadas en los trámites de permisos de exportación de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), y los relacionados con las inspecciones de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), para que el trofeo pueda salir del país legalmente.

El principal beneficio para los ejidos dueños de las UMA es la derrama económica relacionada con la venta de los cintillos; mientras que un porcentaje determinado por ellos se destina para acciones de monitoreo y conservación de la especie y su hábitat. Algunas de estas acciones están encaminadas al monitoreo y control de cacería furtiva, la competencia y las enfermedades transmitidas por especies domésticas, la alteración o deterioro del hábitat, así como la disponibilidad de aguajes y calidad del agua. Otras acciones incluyen la vigilancia y control de fauna feral, el control de enfermedades, la rehabilitación de hábitat, el control de depredadores, y las evaluaciones poblacionales y del hábitat.

Figura 3. Piel del trofeo de borrego cimarrón durante el primer tratamiento taxidérmico. Foto: Rafael Cruz.

Manejo cinegético sustentable

El manejo cinegético sustentable del borrego cimarrón en la entidad depende de la aplicación de medidas adecuadas de evaluación, manejo y conservación. Es fundamental monitorear periódicamente su distribución, tamaño y estructura poblacional de los rebaños distribuidos en las UMA. Las evaluaciones poblacionales y de hábitat en cada UMA, deben estar relacionadas con la temporada cinegética correspondiente, y considerar aspectos como segregación sexual. Los censos aéreos por medio de helicóptero facilitan el conocimiento preciso y rápido de la distribución, el tamaño y la estructura poblacional de los rebaños distribuidos en el estado.

El aprovechamiento óptimo del recurso cinegético, su manejo y conservación, dependen de la disponibilidad de recursos del hábitat que le proporcionen refugio, alimentación y agua, así como sitios de parición y crianza. Se deben investigar y aplicar medidas de manejo apropiadas para mantener el reclutamiento, la disponibilidad de alimento y la calidad nutrimental, y regular o evitar actividades antrópicas, especialmente las relacionadas con la cacería furtiva. Otras medidas de manejo importantes son el mantenimiento y la conservación de los corredores naturales y el establecimiento de medidas para evitar la fragmentación del hábitat.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Por último, dentro de las comunidades locales es necesario invertir en programas de educación ambiental relacionados con la conservación y el manejo del recurso, a través de la capacitación y la habilitación de grupos de vigilancia; implementar esquemas de rehabilitación y conservación del hábitat en general, y de aguajes en particular, así como el manejo, control o erradicación de especies domésticas o ferales, como potenciales competidores por alimento, agua, refugio y transmisión de enfermedades. De igual manera, es importante tomar en cuenta que las delimitaciones de las UMA donde se aplica el manejo cinegético son hechas por el ser humano, y la especie se distribuye independientemente de éstas a lo largo de sus hábitats naturales, por lo que debe existir una coordinación efectiva entre las UMA para el éxito del manejo integral de la especie.

Referencias

Álvarez-Cárdenas, S. 2004. *Uso del hábitat por el borrego cimarrón Ovis canadensis weemsi en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México*. Tesis de doctorado. UNAM, México.

Álvarez-Cárdenas, S., R. Lee, P. Galina-Tessaro y A. Castellanos. 2005. Desert bighorn sheep distribution, abundance, and conservation status in Sierra el Mechudo, Baja California Sur, Mexico. *Desert Bighorn Council Transactions* 48:72.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2012. *Proyecto de evaluación de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) (1997-2008).* Resultados de la Fase I: Gestión y Administración. Proyectos CONABIO: HV003, HV004, HV007, HV012 y HV019. CONABIO, México.

DeForge, J.R., S. Jiménez, S.D. Ostermann *et al*. 1997. Translocation and population modeling of Weems desert bighorn in Baja California Sur, Mexico. *Desert Bighorn Council Transactions* 41:51-73.

DGVS. Dirección General de Vida Silvestre. 2011. *Monitoreo aéreo de borrego cimarrón (Ovis canadensis weemsi) en Baja California Sur 2011*. DGVS-SEMARNAT, México.

Jiménez, L., C. Hernández, J.R. DeForge y R. Valdez. 1996. Desert bighorn sheep (*Ovis canadensis weemsi*) recovery Project in Baja California Sur, Mexico. *Desert Bighorn Council Transactions* 40:8-12.

Lee, R. 2003. A review of recent wild sheep surveys in Baja California Sur, Mexico. *Desert Bighorn Council Transactions* 47:43-46.

Lee, R. y C.H. Alcalá. 2013. Status of desert bighorn sheep in Sonora, Baja California and Baja California Sur, México. *Desert Bighorn Council Transactions* 52:40-43.

SEDUE. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 11 de abril de 2022.

SEMARNAP. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. *Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón (Ovis canadensis) en México*. SEMARNAP, México.

SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

—. 2015. *Lineamientos para otorgar subsidios para el fomento a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y nativa en UMA, en zonas y comunidades rurales de la República mexicana. Ejercicio 2015*. En: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/456/Lineamientos-fomento-2015.pdf>, última consulta: 21 de mayo 2020.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Aprovechamiento histórico de los cetáceos

Jorge Urbán Ramírez, Andrea Sáenz Arroyo y Lorena Viloria Gómora

Pinturas rupestres de la Sierra de San Francisco

La historia del uso de los mamíferos marinos para el desarrollo de las sociedades humanas se ha subestimado, principalmente por la desaparición de las evidencias arqueológicas costeras como resultado de la variación en el nivel del mar. Sin embargo, los trabajos arqueológicos de Marean y colaboradores (2007) indican que los mamíferos marinos fueron cruciales en el desarrollo evolutivo y dispersión de la civilización. Asimismo, Álvarez-Fernández (2011) y Colonese y colaboradores (2011) muestran evidencia del consumo de éstos en Europa y el Mar Rojo en periodos tan largos de entre 40 y 100 mil años.

En Norteamérica, las pruebas del uso de los mamíferos marinos data desde hace más de 10 mil años, con evidencia de cacería y aprovechamiento de la ahora extinta vaca marina de Steller, que fue utilizada por los nativos de Norteamérica hasta restringir su distribución a las islas Aleutianas, siendo devastada por la cacería de los viajeros europeos del siglo XVIII (Reynolds y Odell 1991).

El uso de mamíferos marinos en la dieta de los antiguos californios se documentó por lo menos la segunda mitad del Holoceno (Porcasi *et al.* 2000). Arqueológicamente, existe más evidencia del aprovechamiento de los pinnípedos (focas, lobos marinos y parientes) que de los cetáceos (ballenas, delfines y parientes) por su relativa facilidad para cazarlos. No obstante, algunos restos de huesos de delfines tanto en California como en la Península de Baja California han conducido a los arqueólogos a hacer hipótesis sobre las técnicas de navegación y cacería de algunas culturas que hacían uso de estos recursos, conocidas como *cazadores de delfines de las Californias* (Porcasi y Fujita 2000).

El uso de los mamíferos marinos en la Península de Baja California por las poblaciones ancestrales fue de tal importancia que incluso queda registro en el arte rupestre. En Baja California Sur se encuentra la evidencia más antigua en México de una posible interacción entre las comunidades humanas y las ballenas, que se representa en las pinturas rupestres de la Sierra de San Francisco en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, municipio de Mulegé, donde se observan ballenas junto con figuras humanas, águilas, venados, pumas y berrendos, entre otros animales. Estas pinturas se realizaron entre 1100 a.C. (Anónimo 2011) y 500 a.C. (Crosby 1984), hasta 1300 d.C. (figura 1).

La discusión sobre si los antiguos habitantes eran o no capaces de cazar cetáceos sigue en debate, pero no hay duda de que podían aprovechar los varamientos, como se ha demostrado en diferentes partes del

Urbán R., J., A. Sáenz-Arroyo y L. Viloria-Gómora. 2025. Aprovechamiento histórico de los cetáceos. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 234-241.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Ballena en las pinturas rupestres en la Sierra de San Francisco. Foto: Jeff Foott 1984.

mundo. Los pobladores de la región, presumiblemente nómadas, basaban su subsistencia en la caza, la recolección y la pesca y, aunque no hay evidencias de un uso directo, es posible que hayan aprovechado algunas de las ballenas grises (*Eschrichtius robustus*), que mueren cada año en las lagunas de San Ignacio y Ojo de Liebre, en particular ballenatos recién nacidos, para el consumo de su abundante carne, huesos y barbas para la fabricación de utensilios.

Actualmente, en cada temporada invernal se registran entre 12 y 35 ballenas grises muertas en dichas lagunas, la mayoría de ellas ballenatos (LSIESP 2018); algunos de los esqueletos de estos organismos se han recolectado y armado para su exhibición en museos o instituciones públicas y privadas.

Caza de calderones de aletas cortas

Gracias a las comunicaciones personales por parte de algunos pescadores de la región de la bahía de La Paz, se sabe que en las décadas de los veinte y treinta se cazaron calderones de aletas cortas o ballenas piloto (*Globicephala macrorhynchus*), desde la bahía de Loreto hasta, al menos, la bahía de La Paz. El aceite de estos cetáceos se vendía a la tenería o Suela Viosca, fundada en 1902 por Arturo C. Nahl y el Sr. Rochell Ruffo.[1] Esta actividad terminó con el inicio de la Segunda Guerra Mundial, acompañada del declive comercial de la tenería y el inicio de la caza del tiburón en busca de su aceite del hígado y la producción de vitamina A, que fue un importante suministro para los combatientes en la guerra.

El siguiente testimonio, realizado en la ciudad de La Paz en marzo de 1998, revela el aprovechamiento del cetáceo, desde la perspectiva de los pobladores sudcalifornianos:

> "...Soy Manuel Moreno Romero, nací en Agua Verde el 14 de octubre de 1928. A los seis años nos fuimos por el rumbo de Nopoló a la pesca de la ballena piloto en donde conocimos a la gente de todos esos lugares.

1 Para más información consultar: http://lapazqueseperdio.blogspot.mx/2014/03/la-teneria.html.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

...Freideras había en Los Dolores, en Agua Verde, en San Evaristo, en la Isla San José y también al sur, o sea, donde se hacía pesca. Desde Agua Verde y todas las islas del sur, se ponían las freideras, porque costaba mucho trabajo remolcar a las ballenas. Las capturaban los pescadores certificados como arponeros. Eran contados, por decir, los que se arriesgaban. Por eso nosotros fuimos a dar para esa zona de abajo. El abuelo de Olegario, un alemán de apellido Winkler, y mi papá eran arponeros, y había otros: Alfonso Árate, el Tango León, que era tío abuelo del Antolín. Mi papá vino contratado por el papá de los Cuevas, los del Pardito. Ellos tenían dos canoas. Con mi papá vinieron otras dos canoas.

Mi papá tenía que matar tres o cuatro ballenas. Cuando se avistaba la manada, tenía que correr con remos y, ya ve, alcanzar al macho más grande. Luego esperarlo, poner la canoa de proa, así, sin movimiento a esperarlo. Era peligroso, porque tarda para morirse totalmente el cuerpo y si no se estaba pendiente podía llegar a quebrar la canoa. Nunca se mataba una hembra. En la temporada de invierno la captura se hacía casi diaria, salvo los domingos que no se trabaja. Fueron dos décadas muy activas, entre los treinta y los cuarenta. Antes no era activo, porque nadie se animaba a arponear, por (falta de) valor, por destreza. El aceite de la ballena piloto era para curtir pieles y el de la cabeza era para tratamientos muy finos, como para hacer los pergaminos en los que se escribía."

Actualmente, los calderones de aletas cortas son comunes en la zona de su caza histórica. No se cuenta con estimaciones de su abundancia, debido a que no se considera una población amenazada (figura 2; Niño-Torres *et al*. 2011).

Caza comercial de la ballena gris en el siglo XIX

La caza comercial de ballenas grises (*Eschrichtius robustus*) del siglo XIX, en el Pacífico nororiental comenzó en 1846, y continuó hasta mediados de la década de 1870. Henderson (1972) identificó tres períodos: inicial (1846-1854), bonanza (1855-1865), y declive (1866-1874). Las capturas más grandes se realizaron en las costas mexicanas. La caza de ballenas grises en México se centró en tres lagunas en la costa occidental de Baja California Sur: la bahía Magdalena (cuenca profunda con lagunas anexas de márgenes

Figura 2. Dos calderones de aletas cortas machos; nótese su cabeza globosa y su ancha aleta dorsal. Foto: Sergio Martínez 2012.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

poco profundos); la laguna San Ignacio (también conocida como *Ballenas Lagoon*); y laguna Ojo de Liebre (*Scammon's Lagoon*; Mulford 1869, Henderson 1972, 1984).

Periodo inicial

En este periodo, toda la captura se centró en bahía Magdalena, donde predominaron los barcos procedentes de los puertos de Connecticut, que representaron aproximadamente la mitad de los 50-60 barcos por temporada; además de los barcos provenientes de los puertos europeos de Havre (5 temporadas), Bremen (1) y Ámsterdam (1). La estimación de las ballenas grises capturadas en este periodo fue de 400 a 450 (Henderson 1984, Reeves 1984).

Al parecer la caza de la ballena gris se caracterizó por un esfuerzo especializado que atrajo solo a un subconjunto particular de balleneros. Scammon (1874) afirmó que la caza de ballenas en la laguna no era igualmente atractiva para todos los que la probaron. Por ejemplo, muchos de los 50 barcos que visitaron la bahía de Magdalena en el invierno de 1848 partieron en solo unos pocos días, prefiriendo pasar el período entre las temporadas de cachalotes en mar abierto.

Periodo de bonanza

El patrón antes descrito cambió en años posteriores, durante el período de bonanza, cuando en algunas temporadas una gran proporción de las flotas con base en Honolulu y San Francisco se dedicaron a la caza de ballenas grises en las lagunas y costas aledañas. Las prácticas, técnicas y equipos mejorados, en particular el uso amplio del arpón explosivo hizo que la caza de ballena gris, dentro y fuera de las lagunas, fuera más factible y menos peligrosa (Henderson 1984).

La captura (y muerte) en la caza de ballenas en las lagunas estuvo fuertemente sesgada hacia las madres con cría del año. En el complejo lagunar Magdalena-Almejas, hubo una diferencia entre la temporada de madres y crías (aproximadamente a fines de diciembre hasta mediados de febrero) y la temporada para los machos (aproximadamente la segunda mitad de febrero); además, había diferencia espacial: las madres con cría se cazaron especialmente en bahía Almejas (*Lee bay*) y los machos en la bahía Magdalena (*Weather bay* o *Main bay*; figura 3).

Figura 3. Madre y cría de ballena gris en la laguna San Ignacio. Foto: Sergio Martínez 2014.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Algunos cambios en el centro de la actividad ballenera durante la temporada también ocurrieron en la laguna Ojo de Liebre. Por ejemplo, en la temporada de 1858-1859, Scammon (1874) cazó la mayoría de las madres con cría en la región más interna, en enero y principios de febrero, y luego se trasladó hacia la laguna exterior a mediados de febrero, donde la caza de ballenas continuó hasta principios de marzo.

Estudios actuales de ballenas grises en las lagunas mexicanas, como el que se desarrolla en la laguna San Ignacio por parte de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (LSIESP 2018), indican que las madres con cría permanecen de tres a cuatro veces más de tiempo en el interior de las lagunas que los organismos solitarios (adultos sin cría; Urbán-R. *et al*. 2003). Las hembras paridas se encuentran entre las primeras ballenas que llegan a las lagunas, y las madres con cría son las últimas en abandonar las lagunas e iniciar su migración hacia el norte (figura 4; Norris *et al*. 1983, Swartz 1986). En general, Henderson (1984:178) encontró que las tácticas variaban: "Los balleneros manejaron los ataques a las madres con cría de dos maneras: algunos prefirieron arponear primero al ballenato para que la madre permaneciera cerca; otros dejaron las crías solas por temor a que los ballenatos heridos y moribundos provocaran un comportamiento más agresivo de las madres". Sin importar si los ballenatos eran golpeados, asesinados o abandonados por los balleneros, su muerte fue prácticamente segura, y por lo tanto es razonable inferir que una cría fue muerta por cada madre cazada en las lagunas. Mulford (1869) proporciona un claro ejemplo de lo que debe haber sido un resultado típico: "Remolcamos el cadáver en el costado del barco. Pero la pobre cría seguía a la madre muerta. Aún después de que hubiéramos despojado la grasa del cadáver y lo hubiéramos dejado flotando en la laguna. La pobre criatura, indefensa y hambrienta aún nadaba al lado de la madre muerta".

Figura 4. Ilustración del Capitán Scammon sobre la caza de ballenas en las lagunas de crianza, la cual aparece en la portada de su libro *Marine Mammals of the North West Coast of North America*. Fuente: tomado de Scammon 1874.

Henderson (1972) menciona que las capturas en sus lagunas de crianza consistían principalmente en madres, aunque muchas de las crías fueron sacrificadas sin sus madres. Los reportes en las bitácoras balleneras por lo general no incluían a las crías, por lo que el daño a la población fue mucho mayor que lo reportado. El número total estimado de ballenas grises capturadas (cazadas y procesadas) por los balleneros en el Pacífico mexicano fue de 5 296 (figura 5; Reeves *et al*. 2010). Los barcos balleneros estadounidenses fueron responsables de cerca de 89% de la actividad ballenera en México, con cerca de 272 embarcaciones que realizaron 587 embarcación-temporadas; les siguieron los barcos balleneros con registro en Hawái (17 embarcaciones y 32 embarcación-temporadas) y los franceses (6 y 10). Además, barcos balleneros registrados en Alemania, Holanda, Rusia, Gran Bretaña, Colombia y Chile tuvieron acción al menos una temporada (Reeves *et al*. 2010).

Periodo de declive y actualidad

En el contexto de sobreexplotación desarrollado durante el periodo de bonanza, la población de ballenas grises disminuyó drásticamente para los siguientes

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

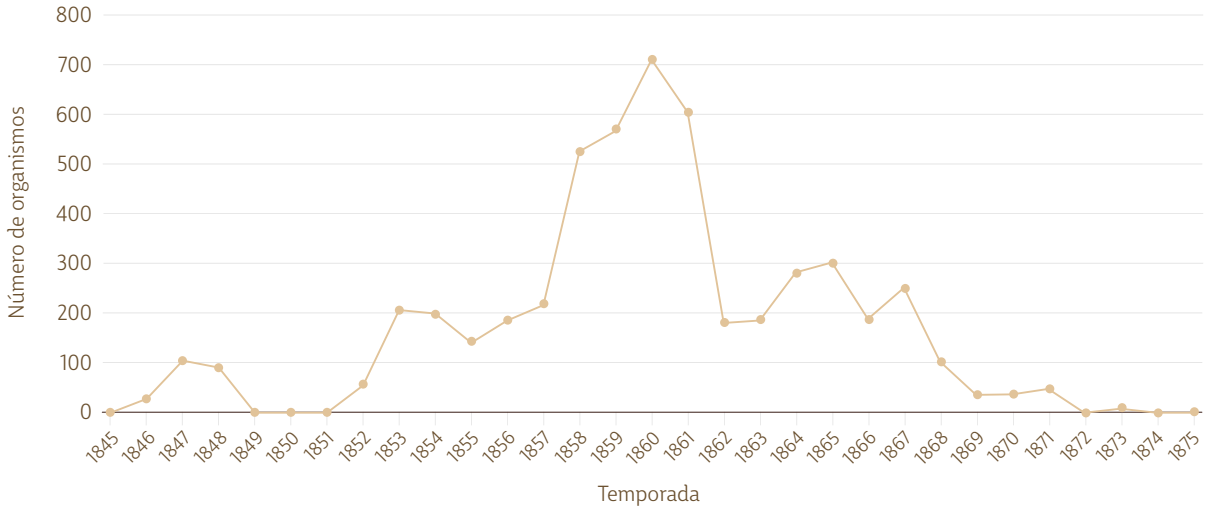


Figura 5. Número estimado de ballenas grises cazadas en Baja California Sur de 1846 a 1874. Fuente: Reeves *et al.* 2010.

años (1866 en adelante). Incluso, la caza de *E. robustus* durante siglo XX llevó a la especie casi a su extinción local, hasta que recibió protección por parte de la Comisión Ballenera Internacional en 1946. En la ausencia de la caza comercial, la población de ballenas grises del Pacífico nororiental se recuperó lentamente hasta contar con 25 individuos en 1990. En 1994, el gobierno estadounidense, considerando el tamaño de esta población, su tasa de incremento anual de 2.5% y la falta de evidencias de amenazas inmediatas, decidió retirarla de su Lista de fauna silvestre amenazada o en peligro en 1994 y lo ratificó en 1999 (NOAA 2015).

De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el estatus de la ballena es preocupación menor (Reilly *et al.* 2008). Sin embrago, el gobierno mexicano, reconociendo la importancia de las lagunas costeras para la reproducción y crianza de la ballena gris declaró a la laguna Ojo de Liebre como el primer refugio ballenero del mundo en 1972, y en 1976 a la laguna San Ignacio como refugio ballenero y zona de atracción marítima (figura 6). Ambas lagunas pertenecen a la Reserva de la Biosfera El Vizcaino declarada en 1988. Cabe señalar que el complejo lagunar de bahía Magdalena permanece fuera de alguna categoría de área natural protegida (Urbán-R. *et al.* 2003). En complemento, es importante destacar que *E. robustus* es considerada dentro de la categoría sujeta a protección especial, dentro de la normatividad mexicana (SEMARNAT 2010).

Conclusiones

El aprovechamiento de los cetáceos ha sido clave en el desarrollo de las economías prehistóricas globales, en el cual México no fue la excepción. Esta actividad permitió a culturas ancestrales establecerse en territorios hostiles, en los que la proteína derivada de los mamíferos marinos fue clave, tal es el caso de la Península de Baja California. El aprovechamiento moderno por flotas extranjeras y nacionales cómo se relata en este estudio de caso, fue importante en la economía previa al *boom* petrolero. Esta explotación histórica debió haber tenido algún efecto en la distribución y abundancia y/o diversidad genética de las poblaciones modernas, por lo que profundizar en la comprensión de los impactos históricos de esta cacería, permitirá entender mejor las dimensiones de su resiliencia.

En la actualidad, solo tres países realizan caza comercial de ballenas en sus aguas patrimoniales: Noruega, Islandia y Japón (IWC 2020). La forma moderna de aprovechar comercialmente a las ballenas es por medio del turismo de observación de estos animales en su medio natural (*Whale watching*). México es uno de los 10 principales destinos turísticos del mundo, lo que le ha conllevado a que sea actualmente el destino más popular de observación de ballenas fuera de los Estados Unidos de América (IWC 2018).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 6. Ballena gris sumergiéndose en la laguna San Ignacio. Foto: Jorge Urbán 2012.

Las ballenas de interés para esta actividad son las mismas que hace unas décadas se cazaban como la ballena gris, la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*). La observación de ballenas es una actividad que genera empleos y el sustento de numerosas familias, al menos durante los meses de diciembre a mayo que es cuando éstas visitan las costas del Pacífico mexicano. Gracias a esta actividad se reconoce que actualmente, en términos económicos y por supuesto ecológicos, vale más una ballena viva que muerta.

Referencias

Álvarez-Fernández, E. 2011. Humans and marine resource interaction reappraised: Archaeofauna remains during the late Pleistocene and Holocene in Cantabrian Spain. *Journal of Anthropological Archaeology* 30:327-343.

Anónimo. 2011. *México en la lista del patrimonio mundial de la UNESCO*. En: <http://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/pinturas-rupestres-de-la-sierra-de-san-francisco-baja-california-sur>, última consulta: 15 de febrero de 2018.

Colonese, A.C., A. Mannino, M.E. Bar-Yosef Mayer *et al*. 2011. Marine mollusc exploitation in Mediterranean prehistory: an overview. *Quaternary International* 239:86-103.

Crosby, H.W. 1984. *The cave paintings of Baja California*. Copley Books, San Diego.

Henderson, D.A. 1972. *Men & whales in Scammon's Lagoon*. Dawson's Book Shop, California.

—. 1984. Nineteenth century gray whaling: grounds, catches and kills, practices and depletion of the whale population. En: *The gray whale Eschrichtius robustus*. M.L. Jones, S.L. Swartz y S. Leatherwood (eds.). Academic Press, California, pp. 187-200.

IWC. International Whaling Commission. 2018. *Online Whale Watching Handbook*. En: <https://wwhandbook.iwc.int/en/>, última consulta: 15 de febrero de 2020.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

—. 2020. *Comercial whaling*. En: <https://iwc.int/commercial>, última consulta: 15 de febrero de 2020.

LSIESP. Laguna San Ignacio Ecosystem Science Project. 2018. *Publicaciones y recursos*. En: <https://www.sanignaciograywhales.org/research/publications/>, última consulta: 2 de febrero de 2018.

Marean, C., M. Bar-Matthews, J. Bernatchez *et al*. 2007. Early human use of marine resources and pigment in South Africa during the Middle Pleistocene. *Nature* 449:905-908.

Mulford, P. 1869. The California gray. *Overland Mon* 3:38-48.

Niño-Torres, C.A., J. Urbán R. y O. Vidal. 2011. *Mamíferos marinos del golfo de California: guía ilustrada*. Alianza WWF México/ Telcel, México.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration 2015. *Endangered species conservation*. En: <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/species/mammals/whales/gray-whale.html>, última consulta: 15 de febrero de 2018.

Norris, K.S., B. Villa-Ramírez, G. Nichols *et al*. 1983. Lagoon entrance and other aggregations of gray whales (*Eschrichtius robustus*). En: *Communication and behavior of whales*. R. Payne (ed.). American Association for the Advancement of Science, Washington D.C., pp. 259-293.

Porcasi, J.P. y H. Fujita. 2000. The dolphin hunters: a specialized prehistoric maritime adaptation in the southern California Channel Islands and Baja California. *American Antiquity* 65:543-566.

Porcasi, J.F., T. Jones y L. Raab. 2000. Trans-Holocene marine mammal exploitation on Clemente Island, California: a tragedy of the commons revisited. *Journal of Anthropological Archaeology* 19:200-220.

Reeves, R.R. 1984. Modern commercial pelagic whaling for gray whales. En: *The gray whale Eschrichtius robustus*. M.L. Jones, S.L. Swartz y S. Leatherwood (eds.). Academic Press, California, pp. 187-200.

Reeves, R.R., T. Smith D., J. Lund *et al*. 2010. Nineteenth-century ship-based catches of gray whales, *Eschrichtius robustus*, in eastern North Pacific. *Marine Fisheries Review* 72:26-65.

Reilly, S.B., J. Bannister, P. Best *et al*. 2008. *Eschrichtius robustus*. IUCN *Red List of Threatened Species. Version 2009.2*. En: <www.iucnredlist.org>, última consulta: 4 de febrero de 2010.

Reynolds, J.E. y K. Odell. 1991. *Manatees and Dugongs*. Facts on File Inc., Nueva York.

Scammon, C.M. 1874. *The marine mammals of the north-western coast of North America, described and illustrated with an account of the American whale-fishery*. John H. Carmany and Co., Nueva York.

Swartz, S.L. 1986. Gray whale migratory, social and breeding behavior. *Report International Whaling Commission* (special issue) 8:207-229.

Urbán-R., J., L. Rojas-Bracho, H. Pérez-Cortés *et al*. 2003. A review of gray whale (*Eschrichtius robustus*) on their wintering grounds in mexican waters. *Journal Cetacean Research Manage* 5:281-295.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Ballenas: un recurso turístico

Enrique Alejandro Gómez Gallardo Unzueta y Jorge Urbán Ramírez

Introducción

Si bien la observación de ballenas puede tener fines diversos como científicos, educativos o recreativos (Hoyt 2002), generalmente se relaciona más con empresas; de ahí que se clasifique como ecoturismo (Chávez Ramírez 2008). México cuenta con una de las mayores diversidades de cetáceos (orden que incluye a las ballenas, delfines y similares), en particular los mares de Baja California Sur. Se tienen registros de tres familias y siete especies de misticetos o ballenas con barbas (75 y 58% del total mundial, respectivamente), así como cuatro familias y 19 especies de odontocetos o cetáceos con dientes, como los delfines y cachalotes (44 y 27% respectivamente; Urbán *et al.* 2012). Esta gran diversidad de cetáceos ha provocado que el país y, en particular Baja California Sur, se constituyan como uno de los lugares preferidos para realizar la observación de estos animales (Chávez Ramírez y De la Cueva 2009).

A partir de la década de los noventa, el turismo recreativo de observación de ballenas y otros cetáceos creció de forma importante y, cada vez más, se ha convertido en el objetivo de turistas en el mundo (Hoyt 2001, O'Connor *et al.* 2009, Cisneros-Montemayor *et al.* 2010). Las primeras actividades sobre observación de ballenas con este fin se remontan a la década de los cuarenta con la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en las costas de California en Estados Unidos de América (SEMARNAT e INE 2006).

En la década de los cincuenta, algunas empresas estadounidenses iniciaron como actividad comercial la observación de ballenas grises migrantes en las aguas circundantes de San Diego, en California (SEMARNAT e INE 2006). En México, la primera expedición turística con este objetivo ocurrió en 1972, proveniente de Washington, hacia las lagunas de la costa occidental de Baja California Sur, lugar de reproducción y crianza de la ballena gris, con el fin de observar con más detalle y mayor cercanía a esta especie (Hoyt 2001).

La observación de mamíferos marinos, como una forma especial de turismo alternativo, creció y se expandido alrededor del mundo durante los últimos 25 años (Heckel 2001). La International Whaling Commission hace recuentos actualizados del alcance de la observación de ballenas y delfines con fines turísticos en México (IWC 2019). Desde el último estudio a nivel mundial en 1998 (Hoyt e Íñiguez 2008), la industria de avistamiento de ballenas continuó creciendo, y al mismo tiempo, el número de observadores se incrementó de 5.4 millones en 1994 a 9 millones en 1998 (Chávez Ramírez 2008). En las costas mexicanas existen alrededor de 13 comunidades donde se lleva

Gómez-Gallardo U., A. y J. Urbán R. 2025. Ballenas: un recurso turístico. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 242-248.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

a cabo el avistamiento de ballenas (cuadro 1; Hoyt e Íñiguez 2008).

En las costas sudcalifornianas se reciben cada año especies que cumplen un ciclo de migración, como la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), las cuales se distribuyen principalmente en la costa del Pacífico (ballena gris), en el golfo de California (ballena azul) o ambas (ballena jorobada), para realizar sus actividades de reproducción (apareamiento, parto y cuidado de sus crías; Gómez-Gallardo *et al.* 2014). Las primeras expediciones provenientes de los Estados Unidos de América no generaban ninguna derrama económica a las comunidades locales, debido a que traían consigo todos los insumos (alimentos, bebidas, entre otros) y los equipos para observar las ballenas (botes inflables equipados con motores fuera de borda). Sin embargo, desde 1980 a través de regulaciones nacionales que obligan el uso de pangas locales para observar ballenas, se logró que los pobladores sudcalifornianos pudieran percibir ingresos.

De esta manera, desde la década de los noventa, un mayor número de empresas en la región participan en esta actividad, con un consecuente incremento en la infraestructura turística de observación ballenera. En 1998, dicha actividad sostuvo un crecimiento importante con una derrama económica directa por encima de los 40 millones de dólares estadounidenses a nivel nacional, y una tasa de crecimiento siete veces superior al turismo convencional (Hoyt 2001). Actualmente, la actividad de observación turística de ballenas se ofrece en distintos puntos del estado (figura 1).

Ballena gris

Se ofrece la actividad de avistamiento turístico de ballenas grises como producto principal de empresas turísticas en laguna Ojo de Liebre, laguna San Ignacio, y en el complejo lagunar bahía Magdalena-bahía Almejas, que incluye el Canal de Santo Domingo (puerto Adolfo López Mateos), bahía Magdalena (puerto San Carlos) y en menor medida bahía Almejas (puertos Cancún y Chale). También se ofrece en Los Cabos, pero no es el objetivo principal. Cabe señalar que los dos principales sitios para la observación de esta especie por su derrama económica (lagunas San Ignacio y Ojo de Liebre) se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, por lo que la actividad está muy bien regulada y, en particular para la laguna San Ignacio, se considera ejemplo a nivel mundial por su responsabilidad y respeto hacia las actividades de reproducción de la especie (figura 2; Gómez-Gallardo *et al.* 2014).

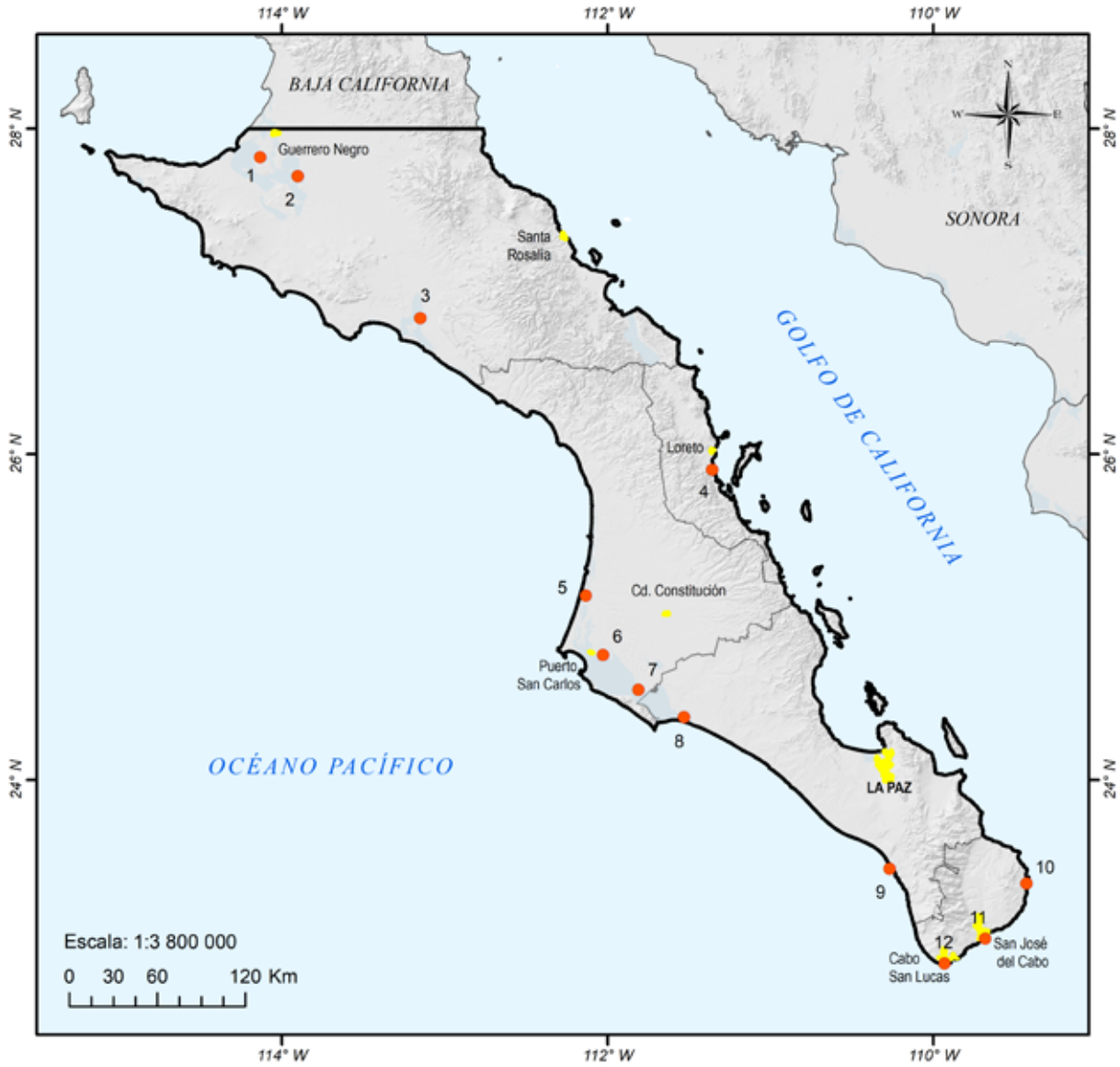
Desde inicios de la década de los ochenta se incrementó de forma considerable el número de visitas al puerto Adolfo López Mateos, por su cercanía a la ciudad de La Paz, así como la densidad de las agregacio-

Cuadro 1. Áreas costeras y comunidades en las que se realiza la actividad ecoturística del avistamiento de ballenas en México.

Área costera	Comunidades
Costa oeste de la Península de Baja California	• Ensenada/bahía de Todos los Santos • Laguna Ojo de Liebre • Laguna San Ignacio • Bahía Magdalena • Estero Boca de la Soledad • Puerto Chale
Costa este de la Península de Baja California y golfo de California	• Los Cabos • La Paz • Loreto • Bahía de los Ángeles • Puerto Peñasco • Guaymas
Costa oeste del continente-México	• Puerto Vallarta-bahía de Banderas • Nayarit
Península de Yucatán	• Costas de Yucatán

Fuente: elaboración propia con datos de Hoyt e Íñiguez 2008.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA



SIMBOLOGÍA

- Baja California Sur
- Límites estatales
- Límites municipales
- Localidades principales
- Localidades

1. Guerrero Negro / ballena gris
2. La Laguna / ballena gris
3. Laguna San Ignacio / ballena gris
4. Loreto / balllena azul
5. Puerto Adolfo López Mateos / ballena gris
6. Puerto San Carlos / ballena gris
7. Puerto Cancún / ballena gris
8. Puerto Chale / ballena gris
9. Todos Santos / ballena jorobada y ballena gris
10. Cabo Pulmo / ballena jorobada
11. San José del Cabo / ballena jorobada
12. Cabo San Lucas / ballena jorobada

Figura 1. Localidades donde se ofrece el servicio de observación turística de ballenas en Baja California Sur. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

nes de ballenas en el canal de Santo Domingo. En esta zona la regulación de las actividades turísticas no es tan firme como en laguna San Ignacio, lo que provoca un menor cuidado hacia la especie, que da lugar a escenarios de riesgo en la continuidad de la actividad de no tomarse medidas de mitigación en el corto o mediano plazo (Paredes 2017). Cabe señalar que durante 2024 se observó un importante incremento en actividades de observación de ballena gris en Bahía Almejas desde la comunidad de Puerto Chale, a raíz de una presencia notoria de la especie en la zona (Viloria *et al.* 2024).

Ballena jorobada

Es una especie cosmopolita que puede encontrarse en todos los océanos. En la entidad realiza visitas durante el invierno, con fines de reproducción, a lo largo de ambas costas, pero sus principales concentraciones se localizan al sur en la zona de Los Cabos y las aguas circundantes, desde Todos Santos hasta Cabo Pulmo (Urbán *et al.* 1997).

Si bien Los Cabos es uno de los principales destinos turísticos en México, en las últimas tres décadas ocurrió un aumento considerable en la demanda de actividades turísticas alternativas, como es el caso de la observación de ballenas (Paredes 2007). En los centros turísticos de Cabo San Lucas, San José del Cabo y Cabo Pulmo, se concentran las compañías que ofrecen el servicio de observación de ballenas, lo que para algunos es una alternativa laboral, pero también constituye la actividad principal para otros (figura 3). En esta área se ha detectado desconocimiento de la normatividad actual sobre el avistamiento de ballenas por parte de los usuarios, lo cual, aunado a la ausencia importante de autoridades para vigilar el cumplimiento de dicha normatividad, provoca descontrol y pone en riesgo la sustentabilidad de la actividad (Paredes 2007, Urbán y Gómez-Gallardo 2008).

Figura 2. Ejemplar de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la laguna San Ignacio. Foto: Sergio Martínez/PRIMMA UABCS.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en Los Cabos. Foto: PRIMMA-UABCS.

Figura 4. Ballena azul (*Balaenoptera musculus*) en Loreto. Foto: Alejandro Gómez-Gallardo/PRIMMA-UABCS.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Ballena azul

Si bien la ballena azul (figura 4) se distribuye en toda la costa sudcaliforniana, en la bahía de Loreto es donde se ubican sus principales concentraciones (Rice 1974, Gendron 1990). Esta especie migra hacia las costas central y norte de California a finales de primavera y regresan al golfo de California a fines de otoño ya que, al parecer, es una zona importante de nacimientos y crianza (Guerrero *et al*. 2006). En esta zona se han observado madres amamantando a sus crías y alimentándose a su vez de densas agregaciones de eufáusidos (pequeños camarones) durante la temporada de invierno-primavera (Gendron y Enríquez-Paredes 2005).

En la bahía de Loreto las ballenas se han convertido en una de las principales atracciones turísticas, especialmente por la presencia de la ballena azul (Ávila-Foucat *et al*. 2017). El hecho de que la economía de Loreto dependa principalmente del turismo, resalta la relevancia de la presencia de estos mamíferos marinos, ya que para el sitio se tuvo un crecimiento en la actividad turística de 4.11% en el periodo 1992-2013 (Anónimo 2013), lo que lo ubica como el tercer destino turístico en el estado (Gámez 2007).

El avistamiento de ballenas comenzó de forma desorganizada a principio de la década de los noventa, pero creció de forma importante en el periodo de 2011-2015, cuando el número de embarcaciones aumentó de 10 a 81 (Ávila-Foucat *et al*. 2017). Lo anterior provocó que los acercamientos a las ballenas se realizaran de forma incorrecta, ocasionando un cambio en su comportamiento en buceo (Gendron y Busquets 2012). Como resultado de esto y de una intensa gestión con las agencias gubernamentales, actualmente hay un acuerdo con los operadores turísticos para no acosar a las ballenas y tener un método pasivo de observación donde, una vez que la embarcación alcanza la distancia permitida, se debe esperar con el motor apagado sin seguir a la ballena (Ávila-Foucat *et al*. 2017).

Conclusiones

Gracias a la gran diversidad de cetáceos que concurren en las costas del estado, es posible realizar como actividad turística los recorridos de avistamientos de ballenas y otros cetáceos; asimismo, entre los servicios turísticos ofertados, se incluyen las visitas a islas o sitios de pesca deportiva o buceo. Lo anterior ocurre principalmente en el golfo de California, en las localidades de Cabo San Lucas, San José del Cabo, Cabo Pulmo, las bahías de La Paz y Loreto, aunque también en algunas zonas de la costa del Pacífico como Todos Santos y Bahía Magdalena.

Como se indicó anteriormente, ésta es una actividad económica que presenta un crecimiento superior al promedio dentro del sector turístico a nivel nacional. Para ejemplificar dicho crecimiento, desde 2018 se ofrece el servicio formal de observación de ballena gris en la comunidad de puerto Chale, y la porción sur del complejo lagunar Bahía Magdalena-bahía Almejas, donde antes no sucedía, lo que representa una fuente de ingresos adicional para la comunidad eminentemente pesquera.

Esto representa una riqueza natural que permite que poblaciones que se dedicaban exclusivamente a la pesca, diversifiquen sus actividades productivas (con el consecuente decremento del impacto de dicha actividad), y así obtener su sustento a partir de recursos naturales que deben ser aprovechados de una forma cuidadosa y respetando la NOM-131-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). Dicha condición propiciará un ambiente donde la riqueza natural pueda seguir sus procesos naturales, para mantener de manera sostenida la actividad de la observación turística de ballenas.

Referencias

Anónimo, 2013. *Gaceta de Baja California Sur, P. Loreto*. Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico, México.

Ávila-Foucat, S., D. Gendron, D.A. Revollo-Fernandez *et al*. 2017. Determinants of the potential demand for whale watching in Loreto Bay National Park. *Marine Policy* 81:37-44.

Chávez Ramírez, R. 2008. *El mercado de la observación de ballenas en el Pacífico Mexicano*. Tesis de maestría. CICESE/Colegio de la Frontera Norte, Baja California.

Chávez Ramírez, R. y H. De la Cueva. 2009. Sustentabilidad y regulación de la observación de ballenas en México. *Revista*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública 4:231-262.

Cisneros-Montemayor, M.A., U.R. Sumaila, K. Kaschner y D. Pauly. 2010. *The global potencial of whale watching*. Elsevier, EUA.

Gámez, A.E. 2007. Traditional and alternative toturism in Loreto. En: *Loreto the future of the first capital of the Californias*. P. Gangster, O. Arizpe y A. Ivanova (eds.). San Diego State University/UABCS, California, pp. 201-220.

Gendron, D. 1990. Relación entre la abundancia de eufáusidos y de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en el golfo de California. Tesis de maestría, CICIMAR-IPN, La Paz.

Gendron, D. y G.R. Busquets. 2012. Blue whale diving behavior during the interactions with whale-watching boats. En: *XXXIII Reunión de la Sociedad Mexicana de Mastozoología Marina A.C.* San Patricio Melaque.

Gendron, D. y L. Enríquez-Paredes. 2005. Baja California: a key area for blue whale recruitment in the Northeast Pacific. En: *16th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*. San Diego.

Gómez-Gallardo, A., L. del Monte y J. Urbán. 2014. *La observación turística de ballenas en laguna San Ignacio: de México para el mundo*. En: <https://www.jornada.com.mx/2014/03/31/eco-h.html>, última consulta: 27 de septiembre de 2019.

Guerrero, R., J. Urbán R. y L. Rojas B. 2006. *Las ballenas del golfo de California*. INE-SEMARNAT, México.

Heckel, G. 2001. *Influencia del ecoturismo en el comportamiento de la ballena gris (Eschrichtius robustus) en la bahía de Todos Santos, Baja California, y aguas adyacentes: Propuesta de un plan de manejo*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Marinas-UABC, México.

Hoyt, E. 2001. *Whale watching 2001: worldwide tourism numbers, expenditures, and expanding socioeconomic benefits*. IFAW, Yarmouth.

—. 2002. Whale watching. En: *Encyclopedia of marine mammals*. W.F. Perrin, B. Wursing y J.M.G. Thewissen (eds.). Academics Press, California, pp. 1223-1227.

Hoyt, E. y M. Íñiguez. 2008. *Estado del avistamiento de cetáceos en América Latina*. WDCS/IFAW/Global Ocean, Londres.

IWC. International Whaling Commission. 2019. *Alcance de las actividades de observación de ballenas y delfines*. En: <https://wwhandbook.iwc.int/es/country-profiles/mexico>, última consulta: 10 de marzo de 2019.

O'Connor, S., R. Campbell, H. Cortez y T. Knowles. 2009. *Whale watching worldwide: tourism numbers, expenditures and expanding economic benefits, a special report from the International Fund for Animal Welfare*. IFAW, Yarmouth.

Paredes, L. 2007. *Diagnóstico de la actividad turística de observación de la ballena jorobada (Megaptera novaeangliae, Borowski, 1781) en la región de Los Cabos, B.C.S. México*. Tesis de licenciatura. UABCS, Baja California Sur.

—. 2017. *Análisis integral del uso de la ballena gris con fines turísticos en puerto Adolfo* López Mateos, *BCS*. Tesis de maestría. UABCS, Baja California Sur.

Rice, D.W. 1974. Whales and whale research in the eastern North Pacific. En: *The whale problem: a status report*. W.E. Schevill (ed.). Harvard University Press, Cambridge, pp. 170-195.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-131-SEMARNAT-2010*. Publicada el 7 de octubre de 2011 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

SEMARNAT e INE. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, e Instituto Nacional de Ecología. 2006. *Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California*. Publicado el 15 de diciembre de 2006 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Urbán, J. y A. Gómez-Gallardo. 2008. *Manejo y conservación de ballenas en las regiones prioritarias de Loreto, La Paz y Los Cabos, Golfo de California. Informe técnico final*. Baja California Sur (inédito).

Urbán, J., G. Cárdenas y A. Gómez-Gallardo. 2012. Los cetáceos de la costa suroccidental del Golfo de California. En: *Los Cabos: prospectiva de un paraíso natural y turístico*. P. Gangster, O. Arizpe y A. Ivanova (eds.). San Diego State University Press, California, pp. 105-127.

Urbán, J., A. Gómez-Gallardo, M. Palmeros y G. Velázquez. 1997. Los mamíferos marinos de la bahía de La Paz. En: *La bahía de La Paz. Investigación y conservación*. J. Urbán y M. Ramírez (eds.). UABCS/CICIMAR-IPN/SCRIPPS, México, pp. 193-217.

Viloria, L., Y. Romero, E.A. Meza *et al.* 2024. *Informe de las actividades del monitoreo de la ballena gris (Eschrichtius robustus) temporada invernal 2024. Complejo Lagunar Bahía Magdalena, Canal La Soledad y Bahía Almejas, B.C.S. México*. UABCS, Baja California Sur.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Recursos pesqueros

Sergio Scarry González Peláez y Daniel Bernardo Lluch Cota

Introducción

La situación geográfica de Baja California Sur y su extenso litoral, de cerca de 2 705 km (23.33% del total nacional), hacen del estado un sitio privilegiado en recursos marinos. Sus costas presentan una amplia diversidad geomorfológica que, junto con la influencia de masas de agua marina templada y tropical, generan gran variedad de ecosistemas marinos dentro un amplio espectro de transición templado-tropical.

Particularmente, en su costa occidental ocurren procesos oceánicos conocidos como surgencias, que contribuyen a mantener una alta productividad primaria durante la mayor parte del año, y son el sustento de pesquerías masivas de pelágicos menores, como sardinas (*Sardinops sagax*, *Cetengraulis mysticetus*, *Opisthonema* spp.) y anchovetas (*Engraulis mordax*; Cortés-Ortiz *et al.* 2006). Esta situación genera que el estado destaque en la actividad pesquera nacional, donde se ha mantenido dentro de las 10 entidades con mayor volumen de producción. Asimismo, se tienen identificados dos centros de actividad biológica (Sebastián Vizcaíno y golfo de Ulloa), que son áreas marinas donde la producción biológica es notablemente mayor que en el resto de la costa (Martínez-García y Lluch-Belda 2000). Por el contrario, la costa oriental presenta condiciones tropicales dominantes, con temperaturas promedio de alrededor de 24°C, y una menor productividad biológica; no obstante, su productividad y diversidad se considera alta en la región (Vázquez-Robles 2018).

Dado lo anterior, se desprende que sean numerosos los recursos pesqueros identificados para el estado, donde al menos 650 especies son consideradas susceptibles de aprovechamiento para el consumo humano directo, industrializado (p.e. producción de harinas, aceites, pigmentos o enzimas; Balart 1996, Casas-Valdez *et al.* 1996), o en el caso específico de las algas marinas, para la obtención de materia prima para la producción de ficocoloides (SAGARPA 2012a). Sin embargo, en la actualidad se explotan cerca de 122 grupos de especies comestibles (Casas-Valdez *et al.* 1996), de las cuales, las de alto valor comercial son las que históricamente aportan un mayor ingreso económico a la pesca estatal, seguidas de especies de escama y moluscos (Gómez-Cabrera 2012). Para destacar la importancia de los principales recursos pesqueros de las costas sudcalifornianas (cuadro 1), su contribución se divide en los siguientes grupos:

González-Peláez, S.S. y D.B. Lluch-Cota. 2025. Recursos pesqueros. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 249-261.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Recursos de alto valor comercial

En este rubro se encuentran los abulones azul (*Haliotis fulgens*) y amarillo (*H. corrugata*), las langostas roja (*Panulirus interruptus*) y azul (*P. inflatus*), y los camarones azul (*Litopenaeus stylirostris*) y café (*Farfantepenaeus californiensis*), que representan la base de pesquerías altamente rentables y son ejes del desarrollo del sector social, en particular del que se localiza en la zona del Pacífico norte de la entidad (Casas-Valdez *et al.* 1996). Su demanda en los mercados internacionales y su bajo volumen de captura promueven que el valor de producción pesquera aumente consideradamente.

Recursos de alto volumen de captura en peso desembarcado[1]

Este es el caso particular de la sardina, que es capturada principalmente por embarcaciones de pesca de altura. En 2018, este recurso registró más de 110 564 mil toneladas, lo que significó 57.7% del volumen total de la pesca del estado, y pese a su bajo valor económico, ocupó el quinto sitio respecto al valor de los recursos.

Recursos generadores de empleos

En este grupo se encuentra lo que se conoce genéricamente como escama, que integra peces óseos de hábitos costeros, bentónicos, demersales o pelágicos, asociados o no a lagunas y bahías (Ponce-Díaz *et al.* 2009). Los más frecuentes son: guachinango (*Lutjanus peru*), cabrilla (varias especies de los géneros *Mycteroperca*, *Paralabrax* y *Epinephelus*), pierna (*Caulolatilus princeps* y *C. affinis*), curvina (*Atractoscion nobilis*, *Cheilotrema saturnum*, *Cynoscion othonopterus*, *C. parvipinnis*, *C. squamipinnis* y *C. xanthulus*), mero (*Cirrhitus rivulatus*, *Cephalopholis panamensis*, *Dermatolepis dermatolepis* y *Epinephelus itajara*) y sierra (*Scomberomorus sierra*), entre otros, que en conjunto integran cerca de la tercera parte del volumen de captura estatal.

Si bien éstas no tienen un valor comercial alto con respecto a otras especies, su volumen de producción y el empleo que generan las hacen importantes. Para dimensionar esto, bastará con indicar que los 9 221 productores pesqueros empadronados en el estado (1.14% de la población) operan embarcaciones ribereñas en aproximadamente 420 localidades a lo largo de la línea de costa, algunas de las cuales se componen de pequeños asentamientos que enfrentan condiciones de ruralidad. Destaca que, los patrones de operación de las embarcaciones ribereñas pueden ser modificados debido a factores ambientales y administrativos como regulación de artes de pesca, control del esfuerzo pesquero y restricciones espaciales y temporales; por ello, se mantiene un proceso dinámico y complejo debido al uso de diversas artes, áreas y temporadas de pesca (Vázquez-Robles 2018).

En este contexto, la pesca ribereña o de pequeña escala se caracteriza por ser multiespecífica y multiarte. Esta plasticidad favorece la captura de otras especies, entre las que destacan las almejas chocolata (*Megapitaria squalida*), roja o reyna (*M. aurantiaca*), blanca (*Dosinia ponderosa*), roñosa (*Periglypta multicostata*); así como el callo de hacha (*Pinna rugosa*), como componentes importantes de la pesca en la bahía de La Paz (Sánchez-Brito *et al.* 2013). Por su parte, en la costa Pacífico, en la zona de influencia de bahía Magdalena, dentro de las capturas destacan la almeja catarina (*Pecten circularis*), además de camarones (*L. stylirostris* y *F. californiensis*) y callos de hacha (*P. rugosa* y *Atrina maura*; García-Martínez y Chávez-Ortiz 2007).

Zonas pesqueras y principales recursos

Las diferencias en cuanto al tipo de recursos pesqueros y su uso, permite delimitar cuatro zonas pesqueras en la entidad: Pacífico Norte, Pacífico Centro, Los Cabos y Golfo (figura 1; Ponce-Díaz *et al.* 2002).

1 Se refiere al peso que conserva el producto al ser declarado al desembarque en sus diversas modalidades: descabezado, fileteado, desviscerado, en pulpa, rebanado u otras.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Participación de los principales recursos pesqueros en 2018.

Especie/grupo	Volumen[a]	Valor[b]	Participación en el valor (%)	
			Individual	Acumulado
Langosta	2 528	610	21.2	21.2
Almeja	18 761	546	19.0	40.2
Camarón	4 823	426	14.8	55.0
Cabrilla	7 943	124	4.3	59.3
Sardina	110 564	117	4.1	63.3
Guachinango	2 741	111	3.8	67.2
Jurel	2 453	97	3.4	70.6
Mero	1 424	76	2.6	73.2
Tiburón	4 292	68	2.4	75.6
Pulpo	1 684	65	2.3	77.8
Lenguado	1 641	51	1.8	79.6
Pargo	1 654	47	1.6	81.2
Raya y similares	3 011	44	1.5	82.8
Ostión	2 309	41	1.4	84.2
Pierna	2 162	37	1.3	85.5
Corvina	1 690	36	1.3	86.7
Abulón	111	28	1.0	87.7
Cazón	1 383	27	0.9	88.7
Jaiba	797	25	0.9	89.5
Sierra	1 183	21	0.7	90.3
Otras	18 462	280	9.7	100.0
Total	**191 616**	**2 877**	**100.0**	

[a]Peso total del producto en toneladas al momento de su captura; [b]en millones de pesos. Fuente: elaboración propia con datos de CONAPESCA 2018.

Zona 1. Pacífico Norte

Se ubica al noroeste del estado, en el municipio de Mulegé, entre las lagunas de Ojo de Liebre y San Ignacio. Destaca por la extracción de especies de alto valor comercial, como el abulón, la langosta, el pepino de mar (*Parastichopus parvimensis*, figura 2) y el caracol panocha (*Megastraea undosa* y *M. turbanica*). En la zona, la pesquería de langosta tiene una historia de más de 100 años, lo que la hace una de las más antiguas y organizadas de México. Es una pesquería típicamente ribereña, de tipo artesanal y comunitaria que se desarrolla por las sociedades cooperativas de producción pesquera con áreas de pesca bien delimitadas desde las aguas someras, hasta profundidades entre 70 y 90 m con el uso de trampas langosteras. Por su parte, las pesquerías de abulón, pepino de mar y caracol panocha se realizan mediante buceo.

Zona 2. Pacífico Centro

Comprende la costa desde la laguna de San Ignacio hasta Todos Santos, e incluye parte del golfo de Ulloa y el complejo lagunar bahía Magdalena-Almejas. Esta zona se reconoce por su alta riqueza en biodiversidad y productividad (Bizzarro 2008, Rodríguez-Romero *et al.* 2008). Los recursos pesqueros de esta zona producen entre 55 y 60% de la captura total del estado, lo que representa cerca de 40% del valor económico (Ojeda-Ruiz *et al.* 2018).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

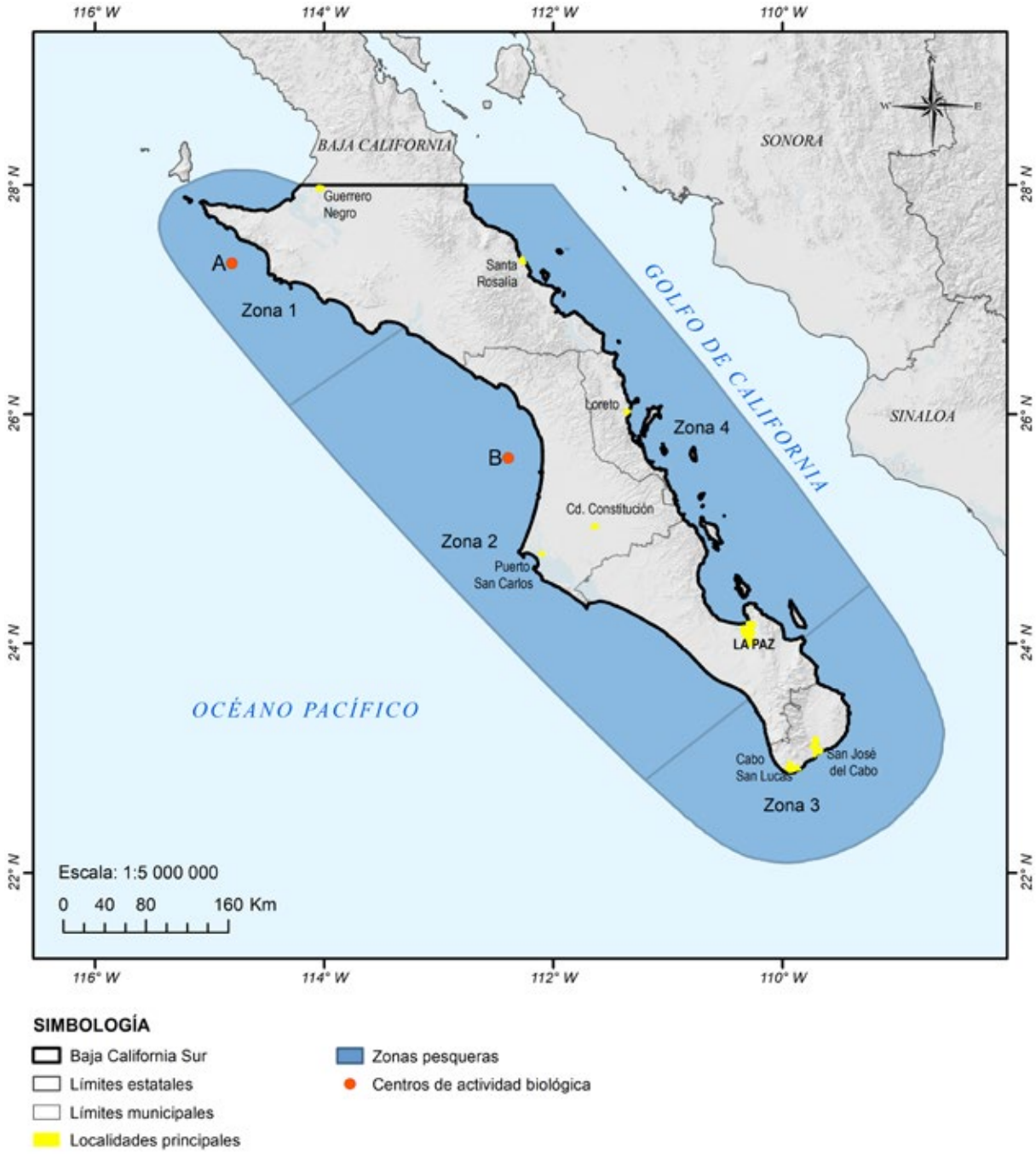


Figura 1. Zonas pesqueras en Baja California Sur y ubicación de los dos centros de actividad biológica: bahía Sebastián Vizcaíno (A) y golfo de Ulloa (B). Fuente: elaboración propia con datos Ponce-Díaz *et al.* 2002.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Ejemplares de alto de valor comercial para el Pacífico: a) abulón azul (*H. fulgens*); b) langosta roja (*P. interruptus*); c) pepino de mar (*P. parvimensis*). Fotos: Sergio S. González-Peláez.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Principalmente, la pesca se realiza por la flota de altura, que captura grandes volúmenes de pelágicos menores, donde la sardina Monterey (*Sardinops sagax*) es la especie objetivo, y en menor medida pelágicos mayores, que incluyen al atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y el barrilete negro (*Euthynnus lineatus*). Los ejemplares pescados se descargan en los puertos Adolfo López Mateos y San Carlos para su procesamiento industrial de enlatado y producción de harina de pescado (Ojeda-Ruiz *et al.* 2018).

Por su parte, la pesca ribereña captura diversas especies de escama (p.e. cabrilla, curvina y mero, entre otras), tiburones (azul, sedoso, mako, cazón aleta deshilachada y cornuda prieta),[2] moluscos (almeja catarina, almeja generosa,[3] almeja chocolata y callo de hacha), y crustáceos (camarón y jaibas[4]; Ojeda-Ruiz de la Peña y Ramírez-Rodríguez 2012, Díaz-Uribe *et al.* 2013, Ojeda-Ruiz *et al.* 2018). Aunque es variada la cantidad de recursos en la zona, las pesquerías de camarón y almeja catarina son fundamentales para la economía de las comunidades pesqueras de bahía Magdalena, especialmente en puerto San Carlos (García-Martínez y Chávez-Ortiz 2007, Díaz-Uribe *et al.* 2013).

Zona 3. Los Cabos

Corresponde a las costas en la porción sur del estado y destaca por su importancia en la pesca deportiva, debido a su riqueza de especies, lo cual genera una considerable derrama económica para el estado en cuanto a ingresos por divisas y creación de empleos. Se ha indicado que incluso la ganancia generada en torno a la pesca deportiva supera a la pesca comercial en la entidad (Gómez-Cabrera 2012).

Las especies capturadas por la flota deportiva se pueden dividir en pesca mayor (picudos) y pesca menor. Entre las primeras se incluye marlín rayado (*Kajikia audax*), pez vela (*Istiophorus platypterus*), marlín azul (*Makaira nigricans*) y marlín negro (*Makaira indica*); mientras que el segundo grupo incluye principalmente dorado (*Coryphaena hippurus*), atún aleta amarilla (*T. albacares*), el wahoo (*Acanthocybium solandri*), y el pez gallo (*Nematistius pectoralis*; Pérez-Valencia 2004).

Zona 4. Golfo

Es la porción de costas dentro del golfo de California que corresponde al estado. A lo largo de ésta se encuentran las poblaciones de La Paz, Loreto y Santa Rosalía, que se identifican como centros receptores y distribuidores en la entidad. En la zona opera principalmente la pesca ribereña la cual cuenta con al menos 66 especies disponibles, de los cuales el guachinango, el jurel (*Caranx* spp.), la cabrilla, el pargo (*Lutjanus* spp.), la sierra, las rayas (*Dasyatis brevis*, *Gymnura marmorata*, *Manta birostris*), el callo de hacha y la almeja chocolata componen cerca de 90% del volumen de captura; mientras que el resto de las especies aportan el volumen restante (Díaz-Uribe *et al.* 2013). El calamar gigante puede llegar a aportar 80% del volumen, y 70% del valor económico total de la zona; sin embargo, la cantidad de biomasa de esta pesquería está condicionada a fluctuaciones impredecibles de los periodos de abundancia (Nevárez-Martínez *et al.* 2008).

Producción

De acuerdo con las fuentes de información oficial, Baja California Sur aportó en promedio 174 mil toneladas anuales a la producción pesquera del país en el periodo 2000-2018, lo cual corresponde a 10.5% del promedio nacional y 8.91% para el último año. En términos generales, la captura se mantuvo entre 144 y 200 mil toneladas, con una amplia variación a partir de 2009 (figura 3). Las fluctuaciones observadas, particularmente desde 2014, pueden responder a las variaciones en los volúmenes de captura de sardina, recurso que aportó 50.6% de la producción estatal promedio de 2009 a 2018.

Se ha documentado que la abundancia de la sardina depende de la variabilidad ambiental en la costa occi-

2 *Prionace glauca*, *Carcharhinus falciformis*, *Isurus oxyrinchus*, *Mustelus henlei* y *Sphyrna zygaena*, respectivamente.
3 *Panopea globosa*.
4 *Callinectes bellicosus*, *C. arcuatus*, *C. toxotes*.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

dental sudcaliforniana, donde los periodos de calentamiento crean una redistribución de su población hacia zonas norteñas de la corriente de California, lo cual afecta de manera negativa las capturas en la zona comprendida entre isla Cedros y bahía Magdalena (Quiñonez-Velázquez *et al.* 2007). El modelo de distribución anual de la sardina, indica que las altas temperaturas superficiales del mar favorecen los movimientos de la población hacia el norte de bahía Magdalena durante el verano y otoño; mientras que la disminución de temperatura en invierno y primavera provocan desplazamientos hacia el sur de isla Cedros. Por ello, es posible que este movimiento pueda aumentar su escala espacial y temporal, en cuanto a la presencia de la anomalía térmica denominada El Niño Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés; Alvarado-Castillo *el al.* 1994). De igual manera, las variaciones de la temperatura del mar, productividad primaria y velocidad de los vientos y corrientes marinas modifican la dinámica poblacional de otros recursos, ya sea en su reclutamiento (Aburto-Oropeza *et al.* 2010) o mortalidad natural (Morales-Bojórquez *et al.* 2008), que ocasionan variaciones interanuales de las capturas y de la captura por unidad de esfuerzo (Robinson *et al.* 2016).

Por su parte, la participación porcentual estatal a la producción pesquera nacional (2000-2018) presenta una ligera disminución en los registros de los últimos años (figura 4), lo que puede interpretarse como un rezago en cuanto al crecimiento de la actividad pesquera del estado respecto al nacional. Si bien la situación de los principales recursos pesqueros en Baja California Sur –declarados en la Carta Nacional Pesquera como deteriorados o aprovechados al máximo sustentable (SAGARPA 2018)– no permite incrementar la producción en términos de capturas, es importante destacar que en general el sector pesquero estatal presenta un rezago en materia de procesamiento y comercio, lo cual se debe a una cadena productiva desarticulada, con una infraestructura deficiente y falta de modernización de la planta industrial para dar valor agregado a la mayoría de los productos pesqueros. Parte del rezago se explica por la lejanía de las localidades pesqueras de las zonas de comercialización del producto, y a la carencia de una flota pesquera de mayor autonomía y radio de operación, así como la falta de aprovechamiento de nuevas pesquerías, como la de merluza (*Merluccius productus*) y langostilla (*Pleuroncodes planipes*).

El valor de la producción pesquera estatal en el periodo 2000-2018 representó en promedio 1 387 millones de pesos anuales, y tuvo una tendencia al crecimiento que se acentuó a partir de 2013 (figura 5). El crecimiento se comparó con la tasa de inflación anual para el país (datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía) y la tasa de cambio del dólar americano (datos del Banco de México) para el mismo periodo,

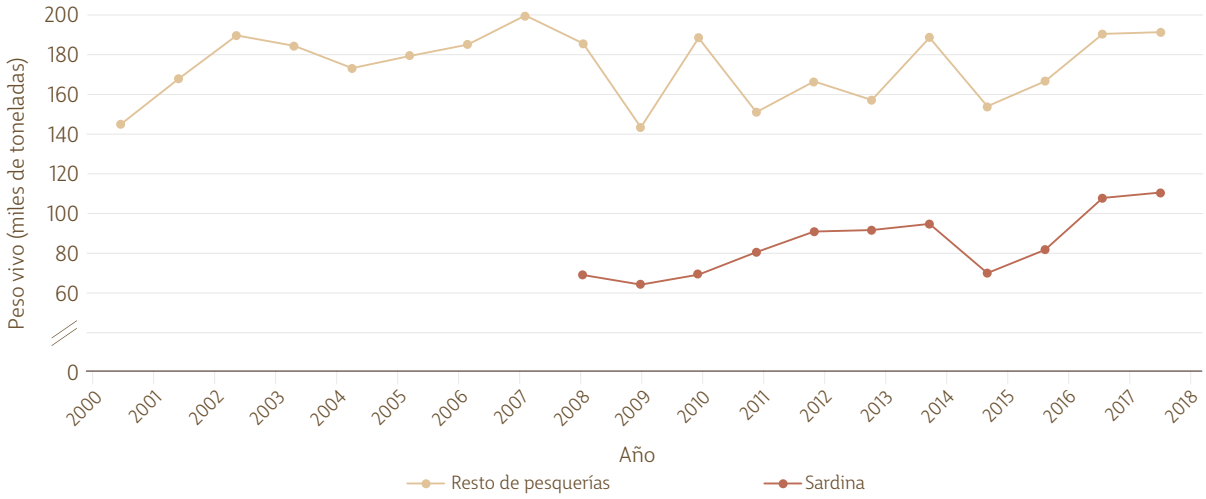


Figura 3. Desembarque en peso vivo de las pesquerías sudcalifornianas en el periodo 2000-2018 y datos de peso vivo de la captura de sardina en el periodo 2008-2018. Fuente: elaboración propia con datos de CONAPESCA 2018, 2020.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

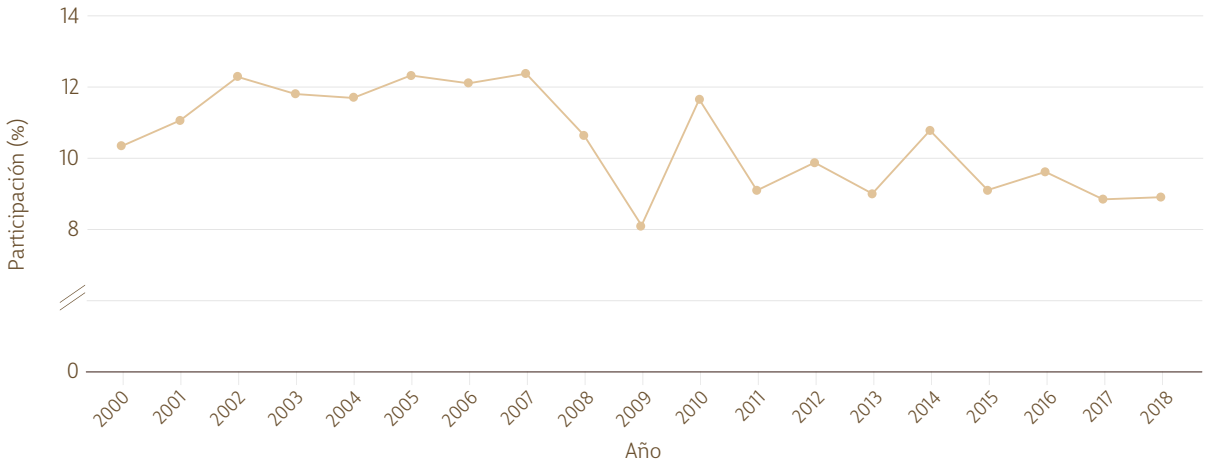


Figura 4. Participación estatal a la captura nacional pesquera para el periodo 2000-2018. Fuente: elaboración propia con datos de CONAPESCA 2018, 2020.

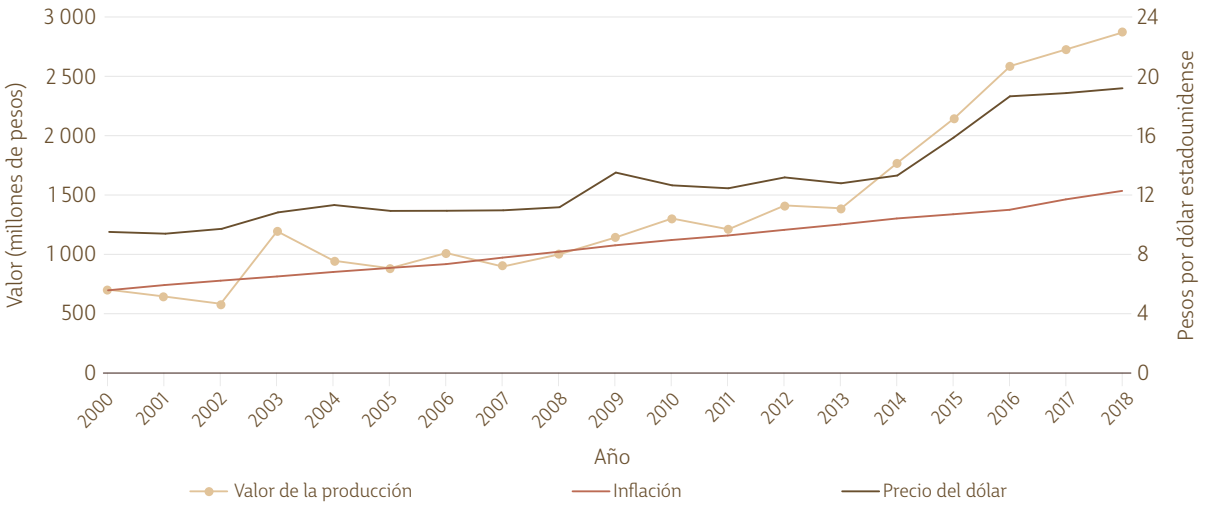


Figura 5. Valor de las pesquerías a nivel estatal, valor simulado con la tasa de inflación anual y valor del dólar estadounidense durante el periodo 2000-2018. Fuente: elaboración propia con datos de CEFP 2019, CONAPESCA 2018, 2020.

a fin de tener elementos económicos para explicar el incremento del valor económico en el periodo descrito. De esta manera, se observó que el incremento en el valor de la pesquería desde 2000 y hasta 2013 se comportó según la tasa de inflación anual del país, para posteriormente crecer al ritmo de incremento del precio del dólar. Sobre la base de lo anterior sobresalen dos aspectos:

1) El incremento en el valor de la captura no refleja una mejora para el sector pesquero, debido a que es el resultado del incremento del valor del producto por motivos de la inflación y ajustes al precio de los productos por depreciación de la moneda.
2) El comportamiento del valor después de 2013 permite suponer que el incremento se debe al efecto de la exportación de recursos, particularmente los de alto valor comercial (langosta, abulón y camarón) y por volumen (productos industrializados derivados de la sardina).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Lo anterior destaca la importancia estratégica de los recursos de alto valor y señala el potencial de otorgar valor agregado a otros recursos para el desarrollo económico y social estatal (Ponce-Díaz *et al.* 2009). Actualmente, la producción pesquera (incluida en las actividades primarias junto con la ganadería y la agricultura) aporta 4.1% del producto interno bruto estatal (INEGI 2016). En relación con las personas que se dedican a esta actividad, la pesca genera empleo directo para 1.1% de la población y un estimado de 36 884 empleos indirectos en los diversos sectores económicos involucrados; si se considera para ello un factor multiplicador de cuatro personas (como aproximación del número de integrantes en una familia promedio), se logra una población próxima a 46 100 personas (5.7% del estado) que se benefician de la pesca.

Flota pesquera

En 2017, Baja California Sur contaba con una flota pesquera compuesta por 2 988 embarcaciones, de las cuales 2 972 (>99 %) correspondían a embarcaciones menores dedicadas a la pesca ribereña, por lo general pertenecientes al sector social (cooperativas), y 16 a embarcaciones pertenecientes al sector social y privado dedicadas a la pesca de altura de camarón, atún, escama y pelágicos menores (CONAPESCA 2020). Desde 2010, la flota ribereña se mantiene sin cambios importantes en el número de unidades registradas; en contraste, el número de embarcaciones activas para pesca de altura disminuyó de 61 a 16 en 2017, particularmente las camaroneras y las escameras (cuadro 2). Al respecto, cabe señalar que se reportan conflictos entre ambas flotas (de altura y ribereña) por el uso de las mismas áreas de pesca dentro de bahía Magdalena (Ojeda-Ruiz *et al.* 2018). Para detallar los rasgos específicos que caracterizan la flota pesquera de la entidad, a continuación, se presenta la descripción de las unidades operativas.

Pesca ribereña

Se define como la captura o extracción que se realiza en bahías, sistemas lagunares o estuarinos y en el mar, hasta un límite de tres millas náuticas (5.6 km) de la costa. En la mayoría de los casos, se practica con embarcaciones menores a 10.5 m de eslora con motor fuera de borda, y autonomía de operación reducida (menor a 10 horas). Estas embarcaciones cuentan con equipos de pesca limitados, y generalmente operan en ausencia de dispositivos de seguridad y sistemas de comunicación. El producto tiene que entregarse unas cuantas horas después de la captura debido a la ausencia de sistemas de conservación abordo.

Pesca de altura

Se define como el tipo de captura que realizan los barcos, desde profundidades y distancias a la costa propicias para su operación hasta las aguas oceánicas, que rebasan incluso los límites del mar territorial y la zona

Cuadro 2. Embarcaciones activas en la entidad.

Año	Pesca de altura					Ribereñas	Total
	Camarón	Atún	Sardina	Escama	Subtotal		
2010	27	3	7	24	61	3 277	3 338
2011	27	3	7	24	61	2 939	3 000
2012	27	3	7	24	61	3 530	3 591
2013	16	2	2	10	30	2 477	2 507
2014	10	1	2	11	24	3 234	3 258
2015	3	1	6	11	21	2 960	2 981
2016	2	3	7	10	22	2 972	2 994
2017	1	2	4	9	16	2 972	2 988

Fuente: elaboración propia con datos de CONAPESCA 2020.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

económica exclusiva. Las embarcaciones cuentan con equipos mecanizados y sistemas de conservación abordo, autonomía mayor a 10 días, equipos de navegación y ecodetección para realizar operaciones de pesca con mayor agilidad, dispositivos de seguridad y equipos de pesca con mayor poder de captura en un radio de acción mayor. En la entidad hay un barco camaronero (20 a 25 m de eslora y capacidad de bodega entre 60 y 90 t); dos barcos atuneros (15 a 25 m de eslora y capacidad de bodega entre 20 a 100 t); cuatro sardineros (más de 20 m de eslora y capacidad de bodega de 40 a 90 t); y nueve escameros (10 y 25 m de eslora y capacidad de bodega entre 10 y 80 t).

Situación actual de los recursos pesqueros

Al realizar un diagnóstico de la situación actual de los principales recursos pesqueros de Baja California Sur, con base en la información publicada en la Carta Nacional Pesquera y sus actualizaciones hasta 2017 (SAGARPA 2018), se concluye que los recursos presentan de manera generalizada un estatus que no permite incrementar sus niveles de producción actuales. Algunos ejemplos de pesquerías que se encuentran en el nivel de aprovechamiento máximo sustentable incluyen la langosta, la almeja, el camarón, la cabrilla y la sardina, que son los principales productos y que en conjunto aportaron 75.5% del volumen de captura y 63.3% del valor económico en 2018. Esto significa que se está aprovechando la producción excedente de las poblaciones de estos recursos (una vez repuestas las pérdidas naturales de una biomasa), a un nivel de extracción que teóricamente puede mantenerse indefinidamente, sin afectar el equilibrio de la relación entre la explotación del recurso y su capacidad de renovación biológica (SEMARNAP 2000). Por su parte, algunos recursos que se reportan en deterioro según la edición de 2017 de la Carta Nacional Pesquera (SAGARPA 2018), son el abulón y la almeja catarina, los cuales sostienen pesquerías de importancia estratégica, tanto por su valor económico como por su capacidad de generación de empleos, respectivamente.

En relación las especies que se aprovechan en la pesca deportiva recreativa, los indicadores señalan que el marlín (rayado, azul y negro) se encuentra cercano a su máximo sustentable (SAGARPA 2010); mientras que para el caso del pez vela se indica que su aprovechamiento ha superado al máximo sustentable (SAGARPA 2012b). En la misma Carta Nacional Pesquera se menciona un efecto importante del ambiente que condiciona la abundancia de estas especies, lo que implicaría que la variabilidad observada en sus capturas no son totalmente adjudicables al esfuerzo pesquero. No obstante, se han propuesto estrategias que permitan mantener la pesca deportiva en niveles de sustentabilidad, entre las cuales destaca la promoción de la práctica de captura y liberación, misma que ha tenido una buena aceptación, principalmente por parte de los pescadores extranjeros (Von Borstel-Juárez *et al*. 2019). Se considera que mantener sensibilizados a los usuarios y prestadores de servicios acerca de los beneficios que proporciona esta práctica es la base de un manejo adecuado.

Cabe señalar que, la pesca ilegal pone en riesgo la sustentabilidad de los recursos pesqueros, que en el caso de la langosta y el abulón se estiman en 27 y 5% de la captura comercial, respectivamente (Ponce-Díaz *et al*. 2013). Asimismo, el cambio climático impondrá un reto aun mayor que tendrá que enfrentar el sector pesquero estatal. Los escenarios futuros de cambio climático proyectan incrementos en la temperatura y acidificación de la costa occidental de la Península de Baja California (Martínez-Arroyo *et al*. 2011), condiciones que podrían afectar el mantenimiento de las poblaciones marinas si se sobrepasan los niveles óptimos en los que se desempeñan. Como ejemplo de lo anterior, se ha documentado que el incremento en la temperatura superficial del mar por el fenómeno de El Niño reduce la supervivencia y fijación de larvas de langosta roja (SAGARPA 2018).

En este contexto, se deberían generar estrategias de adaptación y mitigación para enfrentar los posibles efectos del cambio climático; sin embargo, esto dependerá de la información de calidad en el ámbito biológico, oceanográfico, pesquero y social. Si se considera que este problema va más allá de los límites de la entidad, los gobiernos federal, estatal y municipal, así como las autoridades en la materia, deberán integrar en sus agendas mecanismos que ayuden a incentivar y promover la investigación que permita comprender mejor los impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos y los recursos pesqueros, así como sus interacciones con la sociedad humana.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Es importante destacar la vulnerabilidad que enfrenta la continuidad de la pesca cuando por sus operaciones se ponen en riesgo especies carismáticas o protegidas. Ejemplo de ello es la pesca ribereña que se realiza en el gofo de Ulloa, misma que ha sido fuertemente relacionada con el varamiento de tortuga caguama o tortuga amarilla (*Caretta caretta*), lo cual ha tenido como consecuencia el establecimiento de la moratoria pesquera decretada en el segundo semestre de 2016, y que implica el cese de las actividades pesqueras (Narchi *et al*. 2018).

Oportunidades

Desde hace más de dos décadas, se planteó que el estado tenía capacidad de crecimiento económico por medio del valor agregado que otorga a los productos pesqueros (particularmente de especies de escama), si se diversifican sus formas de presentación y se accede a mercados que ofrezcan mejores precios (Casas-Valdez *et al*. 1996). La industria del procesamiento de productos pesqueros puede incrementar el valor económico de los productos y generar empleos adicionales. Por ejemplo, los sectores económicos de puerto San Carlos se componen por la industria pesquera (60%), la procesadora (20%), el comercio (15%) y en época de observación de ballenas, el turismo (5%; García-Martínez y Chávez-Ortiz 2007).

Otra vía de crecimiento es la apertura de nuevas pesquerías de recursos con potencial de explotación. Los mejores casos para ejemplificar esta ruta son la pesquería de merluza, para la cual se realizaron estimaciones de abundancia en la costa occidental de la entidad cercanas a las 150 mil toneladas (Salinas-Zavala 2013); asimismo, para la pesquería de la langostilla algunas estimaciones más conservadoras indican un potencial pesquero cercano a 73 600 t (Balart 1996). Estos valores potenciales de producción representan respectivamente 86 y 42%, del promedio anual de capturas estatales en el periodo 2000-2018.

Aunque pareciera contraproducente, las condiciones de aridez y aislamiento que han limitado el desarrollo industrial y agrícola en el estado, así como su densidad poblacional relativamente baja, son una oportunidad para el sector pesquero, debido a que se refleja en escasos asentamientos humanos que permiten que las aguas costeras sudcalifornianas estén prácticamente libres de contaminantes, lo que se traduce en condiciones de excelente calidad para fines de producción acuícola y de inocuidad de sus productos pesqueros (Casas-Valdez *et al*. 1996). Esta es una situación privilegiada que constituye un invaluable activo que el estado debe aprovechar. Recientemente, la presencia de microplásticos como elemento contaminante en los productos pesqueros de México, particularmente en peces, evidenció la relación de estos elementos con el grado de urbanización entorno a las zonas de pesca. Al respecto, la región de La Paz presentó menor porcentaje de peces afectados (21%) respecto a peces capturados en el Caribe (56%) y el golfo de México (96%; Reyes-Bonilla *et al*. 2020).

Conclusiones

Si se considera que el sector pesquero es estratégico para el desarrollo del estado por ser generador de alimentos, divisas, empleo e ingreso para su población, resulta indispensable garantizar su viabilidad a largo plazo. Por ello, se deberá implicar la combinación de estrategias de promoción de la actividad, con acciones permanentes de modernización y adecuación de las artes de pesca, diversificación de los recursos y sistemas productivos (p.e. acuicultura), la observancia estricta de esquemas de manejo basados en conocimiento y el ordenamiento pesquero en comunión con otras prioridades de la entidad, como la conservación, el turismo y otras actividades económicas.

Acorde con lo indicado por Cortés-Ortiz y colaboradores (2006), la sustentabilidad de la actividad pesquera está relacionada con distintos criterios para la toma de decisiones, entre los cuales destacan los biológicos y los ecológicos (p.e. conocimiento de la dinámica del recurso pesquero y efecto de la pesca en el ecosistema); técnicos (p.e. artes y equipos de pesca); económicos (p.e. precios, ingresos, incentivos para la conservación); sociales (p.e. empleo) y de administración pesquera (p.e. vedas, tallas mínimas de captura, control de la presión de pesca, marco legal); además del cuidado del medio ambiente, entre otros. Por tal motivo, se deberá procurar el enfoque multidisciplinario que haga posible el uso, manejo y conservación de estos recursos naturales, con una base de sustentabilidad a largo plazo.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Aburto-Oropeza, O., G. Paredes, I. Mascareñas-Osorio y E. Sala. 2010. Climatic influence on reef fish recruitment and fisheries. *Marine Ecology Progress Series* 410:283-287.

Alvarado-Castillo, R.M., R. Félix-Uraga y R. Carmona. 1994. Modelo de distribución anual de la subpoblación de *Sardinops caeruleus* en la costa oeste de la Península de Baja California. En: *Memories of the Annual Conference of the Californian Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*. California.

Balart, E.F. 1996. Recurso Langostilla. En: *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. M. Casas Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.). SEMARNAP/Gobierno del Estado de Baja California Sur/FAO/UABCS/CIBNOR/CICIMAR-IPN/INAPESCA/CET del Mar, México, pp. 167-180.

Bizzarro, J.J. 2008. A review of the physical and biological characteristics of the bahia Magdalena lagoon complex (Baja California Sur, Mexico). *Bulletin, Southern California Academy of Sciences* 107(1):1-24.

Casas-Valdez, M., G. Ponce-Díaz, A. Hernández-Llamas *et al*. 1996. Recursos pesqueros y acuícolas de Baja California Sur: estado actual y perspectivas de aprovechamiento y desarrollo. En: *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. M. Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.). SEMARNAP/Gobierno del Estado de Baja California Sur/FAO/UABCS/CIBNOR/CICIMAR-IPN/INAPESCA/CET del Mar, México, pp. 1-14.

CEFP. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. 2019. *Series históricas de indicadores macroeconómicos de México a 2018*. En: <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/documento/2019/cefp0202019.pdf>, última consulta: 11 de octubre de 2020.

CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2018. *Base de datos de producción anuario 2018*. En: <https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/anuarios/BASE_DE_DATOS_DE_PRODUCCION_ANUARIO_2018.zip>, última consulta: 8 de octubre de 2020.

—. 2020. *Historial de anuarios*. En: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>, última consulta: 8 de octubre de 2020.

Cortés-Ortiz, R.A., G. Ponce-Díaz y M. Ángeles-Villa. 2006. El sector pesquero en Baja California Sur: un enfoque insumo-producto. *Región y Sociedad* 18(35):107-1029.

Díaz-Uribe, J.G., V.M. Valdez-Ornelas, G.D. Danemann *et al*. 2013. Regionalización de la pesca ribereña en el noroeste de México como base práctica para su manejo. *Ciencia Pesquera* 21(1):41-54.

García-Martínez, S. y E.A. Chávez-Ortiz. 2007. La pesquería de camarón en puerto San Carlos, bahía Magdalena: una perspectiva socioeconómica. En: *Estudios ecológicos en bahía Magdalena*. R. Funes-Rodríguez, J. Gómez-Gutiérrez y R. Palomares-García (eds.). CICIMAR-IPN, La Paz, pp. 277-287.

Gómez-Cabrera, I.D. 2012. *Pesca deportiva y pesca ribereña en Baja California Sur, México: comparación del valor económico*. Tesis de doctorado. UABCS, Baja California Sur.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2016. *Anuario estadístico y geográfico de Baja California Sur*. INEGI, México.

Martínez-Arroyo, A., S. Manzanilla-Naim y J. Zavala-Hidalgo. 2011. Vulnerability to climate change of marine and coastal fisheries in México. *Atmósfera* 24(1):103-123.

Martínez-García, M. y D. Lluch-Belda. 2000. Cambio climático global y centros de actividad biológica. En: *BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano*. D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 1-11.

Morales-Bojórquez, E., M.O. Muciño-Díaz y J.A. Vélez-Barajas. 2008. Analysis of the decline of the Abalone fishery (*Haliotis fulgens* and *H. corrugata*) along the westcentral coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Shellfish Research* 27(4):865-870.

Narchi, N.E., W. Domínguez y D. Rodríguez-Armenta. 2018. El ocaso de la abundancia: pescadores y pesquerías en Bahía Magdalena en el siglo XXI. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad* 39(153):167-198.

Nevárez-Martínez, M.O., E. Morales-Bojórquez y I. Rivera-Parra. 2008. La pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) del golfo de California y su relación con la variabilidad ambiental. En: *Variabilidad ambiental y pesquerías de México*. J. López-Martínez (ed.). CONAPESCA, México, pp. 129-139.

Ojeda-Ruiz de la Peña, M.A y M. Ramírez-Rodríguez. 2012. Interacciones de pesquerías ribereñas en bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. *Región y Sociedad* 24(53):189-204.

Ojeda-Ruiz, M.Á., E.A. Marín-Monroy, G. Hinojosa-Arango *et al*. 2018. Development of fisheries in Bahía Magdalena-Almejas: The need to explore new policies and management paradigms. *Ocean and Coastal Management* 161:1-10.

Pérez-Valencia, S.A. 2004. *Estudio de la pesca deportivo-recreativa en la región de Los Cabos, BCS, con énfasis en el destino de las capturas*. Tesis de maestría. CIBNOR, La Paz.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Ponce-Díaz, G., J.S. Sánchez Hernández y O. Ramírez Gómez. 2002. Flujos comerciales de productos pesqueros en Baja California Sur. En: *Comercio y desarrollo sustentable en Sudcalifornia (siglos XIX y XX)*. I. Boncheva, M. Cariño y O. Ramírez (comps.). UABCS/SEP/CONACYT, México, pp. 467-513.

Ponce-Díaz, G., F. Arreguín-Sánchez, A. Hernández-Llamas *et al*. 2013. Estimating illegal catch of abalone and lobster along the coast of the Baja California Peninsula. *Ciencias Marinas* 39(2):1-7.

Ponce-Díaz, G., M.C. Valdez, D.L. Belda *et al*. 2009. *Propuesta de carta estatal pesquera y acuícola del estado de Baja California Sur*. SAGARPA/CONAPESCA/Gobierno del Estado de Baja California Sur/Secretaría de Pesca de Baja California Sur/CIBNOR/CONACYT/CICIMAR-IPN, México.

Quiñonez-Velázquez, C., R. Félix-Uraga, F.N. Melo Barrera y E. Morales-Bojórquez. 2007. Manejo pesquero: la pesquería de sardina en Baja California Sur. En: *Recursos marinos y servicios ambientales en el desarrollo regional*. J.I. Urciaga, L.F. Beltran y D. Luch (eds.). CIBNOR/UABCS/CICIMAR-IPN, México, pp. 197-226.

Reyes-Bonilla, H., L. Alvarez-Filip, H. Pérez-España y D. Santillo. 2020. *Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México*. Greenpeace, México.

Robinson, C.J., J. Gómez-Gutiérrez, U. Markaida y W.F. Gilly. 2016. Prolonged decline of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California is associated with chronically low wind stress and decreased chlorophyll *a* after El Niño 2009-2010. *Fisheries Research* 173:128-138.

Rodríguez-Romero, J., D.S. Palacios-Salgado, J. López-Martínez *et al*. 2008. Composición taxonómica y relaciones zoogeográficas de los peces demersales de la costa occidental de Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 56(4):1765-1783.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2010. *Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera*. Publicado el 2 de diciembre de 2010, en el Diario Oficial de la Federación.

—. 2012a. *Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo para la Pesquería de Macroalgas en Baja California, México*. Publicado el 30 de noviembre de 2012 en el Diario Oficial de la Federación.

—. 2012b. *Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera*. Publicado el 24 de agosto de 2012 en el Diario Oficial de la Federación.

—. 2018. *Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera*. Publicado el 11 de junio de 2018 en el Diario Oficial de la Federación.

Salinas-Zavala, C.A. 2013. *Propuesta de paquete tecnológico para desarrollar en México la pesquería de Merluza (Merluccius productus)*. Informe técnico SAGARPA/CONACYT, México.

Sánchez-Brito, I., H. Ramírez-Aguirre, J. Díaz-Uribe y L. Palos-Arcoha. 2013. Indicadores de Sustentabilidad de primera generación de la pesca artesanal en Baja California Sur: caso San Evaristo y bahía de La Paz. En: *Opciones de gestión para recursos naturales en Baja California Sur*. L. Palos-Arocha, V. Hernández-Trejo, G. Avilés-Polanco y M.A. Almendarez-Hernández (eds.). UABCS, Baja California Sur, pp. 35-54.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. *Acuerdo por el que se aprueba la Carta Nacional Pesquera*. Publicado el 17 de agosto de 2000 en el Diario Oficial de la Federación.

Vázquez-Robles, L.M. 2018. *Patrones de operación de la pesca ribereña del corredor San Cosme a Punta Coyote, BCS, México*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

Von Borstel-Juárez, O.S., L.F. Beltrán-Morales, G. Ponce-Díaz *et al*. 2019. Caracterización socioeconómica de la pesca deportiva en tres localidades de Baja California Sur, México. *Sociedad y Ambiente* 21:207-226.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Ostras perleras: un tránsito de la pesquería a la maricultura sustentable

Martha Micheline Cariño Olvera y Mario Monteforte Sánchez

Introducción

La historia sudcaliforniana ha estado estrechamente ligada al uso de su biodiversidad marina y terrestre. Desde los primeros pobladores hasta la actualidad, tanto las sociedades tradicionales como las modernas, han basado su sustento en la abundancia de sus recursos marinos y en la belleza de sus paisajes.

Las ostras perleras son los recursos de larga duración empleados en la historia regional. Éstas proveían de alimento, herramientas y objetos de ornato a los pobladores originarios desde hace 10 mil años, hasta la virtual extinción del recurso a finales del siglo XVIII. La abundancia de madreperla (*Pinctada mazatlanica*) y concha nácar (*Pteria sterna*) en la costa occidental del golfo de California, facilitó su obtención mediante el buceo tradicional, llamado de chapuz. Estos moluscos eran arrojados a las fogatas, para que al relajarse los animales la apertura de sus valvas fuera sencilla. Después de haber consumido el animal, las conchas se utilizaban como objetos punzo cortantes y las menos dañadas por el fuego, como pectorales. Las perlas que se encontraban en ellas fueron empleadas por el grupo pericú, que habitó el sur de la península, como adornos que trenzaban en sus largos cabellos.

Fue por este tipo de uso que los exploradores españoles, al llegar a las costas peninsulares en 1533, se percataron de la existencia de perlas en el golfo de California. Desde ese año hasta la colonización llevada a cabo por la Compañía de Jesús a partir de 1697, transcurrieron 17 décadas durante las cuales las exploraciones perleras se sucedieron para extraer esta riqueza, empleando la destreza de los buzos indígenas. Entre 1740 y 1748, el soldado Manuel de Ocio desafió la prohibición de pescar perlas impuesta por los jesuitas, y se enriqueció pescándolas en la región media y septentrional del golfo. Con los recursos obtenidos financió la explotación de oro y plata en la sierra de San Antonio, y continuó la pesca en los sitios con abundancia perlera del sur de la península (Cariño y Monteforte 2009).

Primera experiencia de maricultura de ostras perleras en el mundo

Durante el siglo XIX, la riqueza perlera permitió que La Paz ascendiera en 1830 a la categoría de puerto de altura, y que la actividad de las armadas perleras[1] y el comercio crecieran sin cesar (Cariño-Olvera 1998). Bajo este esquema productivo entró a la escena el

1 Flotas constituías por una embarcación mayor y varias canoas.

Cariño, M. y M. Monteforte. 2025. Ostras perleras: un tránsito de la pesquería a la maricultura sustentable. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 262-268.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

nácar, el cual era altamente demandado por la industria europea de botonería e incrustación. Las perlas se convirtieron en una ganancia extra, pues la rentabilidad de las armadas perleras era asegurada por la exportación de toneladas de nácar (figura 1). Con la introducción de la pesca con escafandra en 1874 (en la que se utiliza un traje que provee aire al buzo desde borda), la explotación perlera se agudizó, debido a que este tipo de inmersiones logró vencer los factores de temperatura y profundidad que limitaban el buceo tradicional (figura 2).

Durante el Porfiriato, los elevados costos del buceo mecanizado se compensaron con la política de concesiones territoriales exclusivas que se otorgaron a un número cada vez más reducido de compañías perleras. Hacia finales del siglo XIX todas las costas del Pacífico mexicano estaban concesionadas a la compañía británica La Mangara Exploration Co. Ltd., a excepción de las tres islas cercanas a la bahía de La Paz: San José, Espíritu Santo y Cerralvo. Estas islas fueron objeto de la primera concesión porfirista y se otorgó a la familia Ruffo, que tenía una práctica de varias décadas tanto en la pesca de perlas y nácar, como en el comercio. Con base en esta concesión, en 1903 el sudcaliforniano de origen francés Gastón J. Vives fundó la Compañía Criadora de Concha y Perla de la Baja California S.A. (CCCP; figura 3; Cariño y Monteforte 1999).

La CCCP fue la primera experiencia de maricultura en el continente americano. Vives contribuyó con la innovación científica para el cultivo de la madreperla y los hermanos Ruffo aportaron la concesión territorial de las mencionadas islas y el capital para iniciar los trabajos. Vives fue el primer científico en el mundo que logró cultivar las ostras perleras con base en estudios de bioquímica que había realizado en Francia y con un estudio detallado de las condiciones ecológicas de los ambientes perleros. Fue así como diseñó las tres etapas del cultivo y una serie de innovaciones en infraestructura y herramientas:

- Etapa 1. Consistía en la captación de semilla, asegurada por el conocimiento de las corrientes marinas y por enormes cajas que llamó incubadoras.
- Etapa 2. Comprendía la pre-engorda, que se realizaba en un complejo sistema de 36 canales y esclusas que construyó al separar (con un dique de 500 m) la bahía de la ensenada de San Gabriel en la isla Espíritu Santo (figura 3).

Figura 1. Desde la época colonial hasta principios de 1930, la zona costera oriental de Baja California Sur fue uno de los principales suministros de nácar y perlas naturales en el mundo, siendo La Paz el centro de acción. Centenares de armadas perleras barrían los fondos del golfo de California. Fuente: Archivo histórico del Estado de Baja California Sur Pablo L. Martínez.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

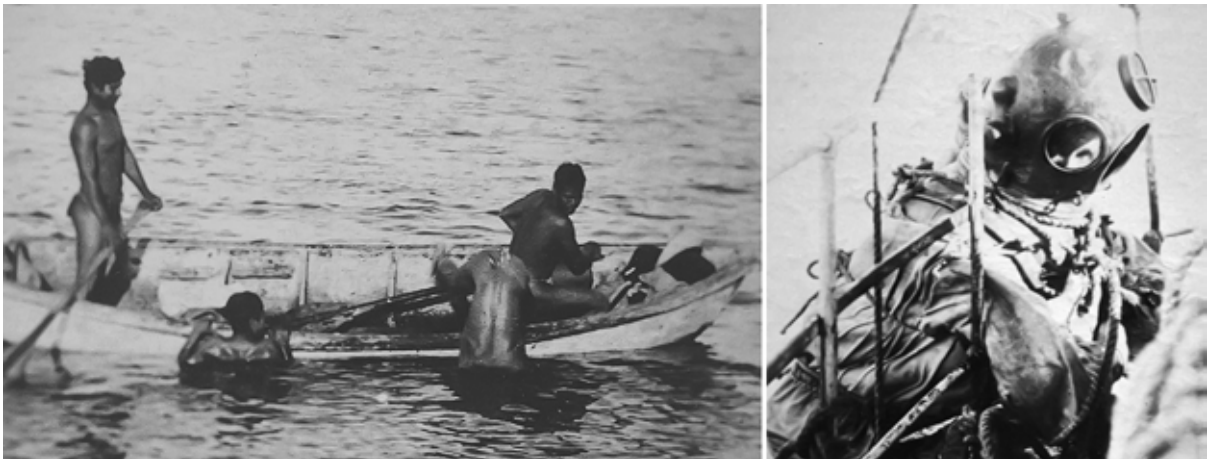


Figura 2. La introducción de escafandras en 1874 intensificó la explotación de ostras perleras en condiciones de amplia ventaja comparado con el tradicional buceo "de chapuz" restringido a áreas someras y en época cálida. Fuente: Archivo histórico del Estado de Baja California Sur Pablo L. Martínez.

- Etapa 3. La engorda se llevó a cabo protegiendo cada ostra con una coraza de metal (dotada de un corcho para mantenerlas a flote) e instalándolas en el fondo marino, donde además eran resguardadas por jaulas.

Este sistema fue altamente intensivo en mano de obra y muy productivo, logrando producir anualmente hasta 10 millones de ostras perleras, lo que ninguna otra empresa ha conseguido obtener, ni con tecnología moderna. Vives no buscó producir perlas cultivadas puesto que en esa época eran consideradas falsas.

En 1914, la CCCP fue destruida por Miguel L. Cornejo, un acérrimo enemigo y competidor de Vives, al amparo de las revueltas revolucionarias. Vives salvó la vida huyendo en un buque norteamericano anclado en la bahía de La Paz y se trasladó a la Ciudad de México, donde durante varios años luchó por obtener apoyo gubernamental para reanudar las actividades acuícolas, argumentando la ventaja del repoblamiento de un recurso que constituía la principal fuente de riqueza en la región. Sin embargo, nadie comprendió las positivas implicaciones de la maricultura perlera, aun cuando él afirmaba que el "futuro de la Baja California está en sus mares". Vives murió en 1939, el mismo año que cesaron actividades las armadas perleras, cuando las ostras fueron encontradas muertas en su lecho marino.

La tradición popular culpa a los japoneses de envenenar el mar con el fin de eliminar la competencia en el mercado de las perlas sudcalifornianas, pero la explicación más plausible es el barraje del río Colorado por una docena de presas que se construyeron entre 1908 y 1966. Destaca la presa Hoover, puesta en marcha desde 1935 (guarda un volumen de aproximadamente 36 millones de decámetros cúbicos[2]), que es la más grande de todas; luego la Imperial y la Parker puestas en funcionamiento en 1938, y la Lake Powell, que opera desde 1966 (con aproximadamente 33.3 millones de decámetros cúbicos). Así, a finales de la década de los treinta el impacto de esas presas en la calidad de agua del golfo de California habría influido en la mortalidad de ostras perleras, cuya población ya se encontraba fuertemente afectada por la sobreexplotación debido a que la pesca había sido liberada desde 1912 como uno de los primeros y más importantes logros populares de la Revolución mexicana en la región. Aunque seguramente otras especies también fueron perturbadas, la mortalidad de las ostras perleras llamó más la atención por su importancia económica.

2 Un decámetro cúbico (dam^3) equivale a 1 000 m^3, es decir, 1 000 000 litros.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. a) Gastón Vives Gourieux (1859-1938) quien implementó una tecnología de cultivo extensivo para madreperla (*Pinctada mazatlanica*) en la granja de la Compañía Criadora de Concha y Perla de la Baja California S.A., en isla Espíritu Santo; b) colecta de semilla que se realizaba con grandes cajas que permanecían varios meses sumergidas; c) pre-engorda en un sistema de canales que funcionaba con el dique sobre bahía San Gabriel, hoy recubierto por manglares; d) en tierra se puede notar el sitio de las antiguas instalaciones donde pocos objetos han dejado los coleccionistas. Fuente: Archivo histórico del Estado de Baja California Sur Pablo L. Martínez.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

En 1939, ante el desastre económico que implicó el agotamiento de la madreperla, al fin se dictó una veda permanente sobre la pesca de *P. mazatlanica*. Desde entonces y hasta mediados de 1980, se conoce una veintena de proyectos que intentaron sin éxito cultivar perlas en el golfo de California, prácticamente todos ubicados en la bahía de La Paz. Solo en cuatro o cinco se realizaron ensayos de cultivo extensivo, pero fueron abandonados por diferentes razones. Los demás apuntaron a la perlicultura utilizando el mermado recurso natural para entrenar técnicos inexpertos, con gran mortalidad de ostras y sin lograr ninguna cosecha (Cariño y Monteforte 1999).

Investigación contemporánea para el desarrollo de la maricultura

A inicios de 1988 se comenzó a desarrollar investigación sistemática en torno a la biología, ecología y cultivo de *P. mazatlanica* y *P. sterna* en la bahía de La Paz, en el marco de varios proyectos con financiamiento nacional y extranjero exitosamente realizados en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), por Mario Monteforte y el extinto Grupo Ostras Perleras (GOP; figura 4). En 1996, los resultados de estos proyectos culminaron con la consolidación de un paquete tecnológico probado y demostrado, cuya orientación fue conocer las condiciones reales para poner en obra un sistema productivo de perlería, que actuara como elemento de valor en la conversión-diversificación de pescadores ribereños.

Cabe señalar que este modelo no era una idea nueva, debido a que se concibió con base en el sólido historial de factibilidad que desde 1960 permitió la creación de un mercado multimillonario con enormes implicaciones en el bienestar de comunidades aisladas y vulnerables en el Indo-Pacífico. La principal fuente de inspiración fue el plan de manejo que el Group d'Intérêt Économique (GIE) implantó desde 1964 en la Polinesia Francesa; mientras que un rico

Figura 4. Memorabilia del extinto Grupo Ostras Perleras (1988-1998) del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Trabajos en la granja experimental que estuvo en la actual Área de Protección de Flora y Fauna Balandra. Fuente: Martha Micheline Cariño Olvera y Mario Monteforte Sánchez.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

acervo bibliográfico permitió establecer la estructura técnica primaria de lo que en ese momento se concibió como futuro escenario de un mito perlero moderno en la bahía de La Paz (Monteforte y Cariño 2012).

Si bien esta idea nunca se concretó, ahora operan en el golfo de California dos empresas privadas que aprovecharon la información histórica, científica y tecnológica mundial y la acumulada por el GOP en torno al cultivo de ostras perleras, en particular lo concerniente a las especies locales (Monteforte 2013). La primera de estas granjas privadas arrancó operaciones en 1996 en Guaymas, Sonora, con apoyo del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). La segunda inició en 2001, en el seno de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) en la bahía de La Paz, tras algunos intentos anteriores que no prosperaron.

Resaltan casos puntuales y esporádicos (de la academia y privados) que desde 1997 hasta la fecha han buscado instalar y/o realizar estudios acerca de granjas perleras en diversos sitios costeros de México, no solo con ostras perleras del Pacífico sino también con las pequeñas especies caribeñas, como el caso de una granja en la isla de Cozumel que trabaja con *Pinctada imbricata* y *Pteria colymbus*. Además, el interés por la perlería ha extendido a otros países latinoamericanos que poseen estos recursos, como Venezuela, Costa Rica, Ecuador y Perú. En todos los casos, la modalidad de utilización de los bancos naturales fue sustituida por la maricultura.

Así, en 1994 la madreperla (*P. mazatlanica*) ingresó en la actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994[3] que contenía una larga lista de especies en alguna categoría de riesgo. En 2013, el gremio perlero mexicano promovió la publicación de la NOM-058-SAG/PESC/SEMARNAT-2013 para regular el cultivo de las cuatro especies de ostras perleras en el país (*P. mazatlanica* y *P. sterna* en la costa del Pacífico, y *P. imbricata* y *P. colymbus* en el Atlántico; SAGARPA 2013). Esta regulación implica homogeneizar ciclos de cultivo, buenas prácticas de manejo, mantener la calidad de las perlas, no tocar los bancos naturales excepto para fines de estudio y repoblamiento, así como proteger el recurso como bien patrimonial restringiendo la exportación de reproductores o productos germinales. En términos reales, los lineamientos de esta norma retoman muchas lecciones aprendidas en otras regiones perleras del mundo, particularmente en la Polinesia Francesa.

Conclusiones

En pleno siglo XXI es evidente que la maricultura es el mejor medio para aprovechar, conservar y recuperar las ostras perleras como un activo regional, incluso a pesar de que su rentabilidad ha dejado de ser tan alta como lo fue hasta finales de la década de los noventa debido a la proliferación de granjas y a la gradual saturación del mercado, con la incorporación de China al mercado mundial. Es por lo que, la diversificación hacia el policultivo (principalmente de moluscos comestibles y perleros) es una tendencia que microempresas sociales han abordado cada vez con mayor frecuencia en el mundo, y constituyen ejemplos que se debieran retomar en México.

Adenda: historial de las fotografías antiguas en las figuras 1, 2 y 3

Durante la época de la CCCP, Leon Diguet, un naturalista francés que realizaba exploraciones en el golfo de California por parte del Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, visitó La Paz en varias ocasiones en particular a Gastón Vives (Cariño y Monteforte 1999). Sin duda eran buenos amigos. Diguet publicó varios trabajos sobre la CCCP con fotografías; las impresiones originales (tal vez todas o la mayor parte) quedaron en manos de Vives, y la otra colección (doble-impresión u originales) se encontrará en algún compartimento del dicho museo parisino. Tras la muerte de don Gastón en 1939, sus pocas pertenencias salvadas de la rapiña en 1914 (las fotos entre eso) fueron legadas a sus hijos Yolanda y Juan Gastón Vives. Después, estos materiales quedaron en el olvido hasta la década de los sesenta, cuando se detectan los primeros indicios de cultivo de ostras perleras (Cariño y Monteforte 1999). Sin embrago, la reivindicación histórica de la obra de Gastón Vives comenzó en 1987 con la honra que tu-

3 Actualmente NOM-059 (SEMARNAT 2010), cuya última actualización solo incluye a *Pinctada mazatlanica* en la categoría sujeta a protección especial.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

vieron a bien conferir Yolanda y Juan Gastón al donar estas fotografías y otros documentos a Micheline Cariño, y por ende, al Archivo Histórico Pablo L. Martínez, en La Paz.

El libro publicado en 1998 *El Porvenir de la Baja California está en sus mares: Vida y legado de Don Gastón J. Vives Gourieux, el primer maricultor de América* (Cariño-Olvera 1998), y otros trabajos entre medio, marcaron esa línea hasta la actualidad. De las fotografías donadas, con autorización de los señores Vives, se obtuvieron copias en impresión: una colección de éstas se encuentra en resguardo por los autores del presente trabajo, y otra copia, junto con los originales, está en la biblioteca del citado archivo. En publicaciones de varios autores, incluyéndonos, este material se ha re-fotografiado en repetidas ocasiones, hasta en archivos digitales e internet. Las imágenes que se presentan en las figuras 1, 2 y 3 de este trabajo provienen de disco duro personal, admitiendo que quizá no sean la primera copia hecha de los originales correspondientes. En todos los casos se trata de archivos trabajados con programas de edición.

Referencias

Cariño-Olvera, M.M. 1998. *El porvenir de la Baja California está en sus mares. Vida y legado del primer maricultor de América: Don Gastón J. Vives*. H. Congreso del Estado de Baja California Sur/UABCS/SEP, La Paz.

Cariño, M. y M. Monteforte. 1999. *El Primer Emporio Perlero Sustentable del Mundo: la Compañía Criadora de Concha y Perla de la Baja California S.A., y sus perspectivas para Baja California Sur*. UABCS/SEP/FONCA-CONACULTA, México.

—. 2009. Nacres and pearls through environmental history: fisheries, cultivation and commerce. *Global Environment* 3:48-71.

Monteforte, M. 2013. *Instalación y operación de granjas perleras: un manual para Pinctada mazatlanica y Pteria sterna*. Académica Española/Lambert Publishing, Alemania.

Monteforte, M. y M. Cariño. 2012. Episodes of environmental history in the Gulf of California: fisheries, commerce and aquaculture of nacre and pearls. En: *A land between waters. Environmental histories of modern Mexico*. C.R. Boyer. (ed.). The University of Arizona Press, EUA, pp. 245-276.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2013. *Norma Oficial Mexicana NOM-058-SAG/PESC/SEMARNAT-2013*. Publicada el 23 diciembre 2013 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Pesquería de sardina y otros peces pelágicos menores

Casimiro Quiñonez Velázquez y Cinthia Karely Grijalva Calderón

Introducción

La pesquería de pelágicos menores comprende peces como sardinas, anchovetas, macarelas y arenques. En México, esta pesquería se desarrolla en el golfo de California y en la costa del Pacífico, con barcos equipados con redes de cerco. El interés en este tipo de pesquerías se debe a los grandes volúmenes de captura que se obtienen y al rápido restablecimiento de su abundancia, como respuesta a los cambios en el ambiente. La derrama económica generada por esta pesquería posiciona a Baja California Sur en el cuarto lugar de importancia nacional por su valor comercial. La captura de pelágicos en la entidad representa alrededor de 60% de la captura total (CONAPESCA 2013).

Historia de la pesquería

La pesquería de pelágicos en la entidad inició alrededor de 1960, pero se comenzaron a obtener registros fiables a partir de 1981; las capturas eran marginales y poco frecuentes previo a ese año. Hasta el año 2000, la zona de pesca era el interior del complejo lagunar bahía Magdalena-Almejas; posteriormente, la flota amplió su zona de pesca hasta el norte del golfo de Ulloa. Las especies más importantes en la captura son: la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*), la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*), la anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*), la macarela (*Scomber japonicus*), y la japonesa (*Etrumeus acuminatus*). La especie objetivo de este tipo de pesquería es la sardina del Pacífico, con ~70% de la captura total promedio (figura 1).

La captura total de pelágicos menores en la costa sudcaliforniana del Pacífico (figura 2), se incrementó de alrededor de 12 mil toneladas durante el periodo 1981-1989 a 50 mil toneladas en el periodo 2000-2014, con disminuciones importantes que coincidieron con eventos El Niño (1982-1983, 1991-1992, 1997-1998, 2009-2010 y 2015-2016). Este evento oceánico-atmosférico afectó los rendimientos de la sardina del Pacífico (figura 2), particularmente durante el periodo 1997-1998, cuando se obtuvieron niveles inferiores a 3 mil toneladas (Quiñónez-Velázquez *et al.* 2000, 2017). Los rendimientos máximos se presentaron en el periodo 2000-2012 cuando se capturaron en promedio 43 900 t/año, con un mínimo de 23 600 t en 2010 y un máximo de 57 100 t en 2006; sin embargo, las capturas disminuyeron a 27 mil toneladas en 2015 a consecuencia del fenómeno El Niño.

El inicio de la pesquería de pelágicos menores en la costa del Pacífico en la entidad, coincide con la segunda fase cálida del cambio de régimen u Oscilación

Quiñonez-Velázquez, C. y C.K. Grijalva-Calderón. 2025. Pesquería de sardina y otros peces pelágicos menores. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 270-274.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

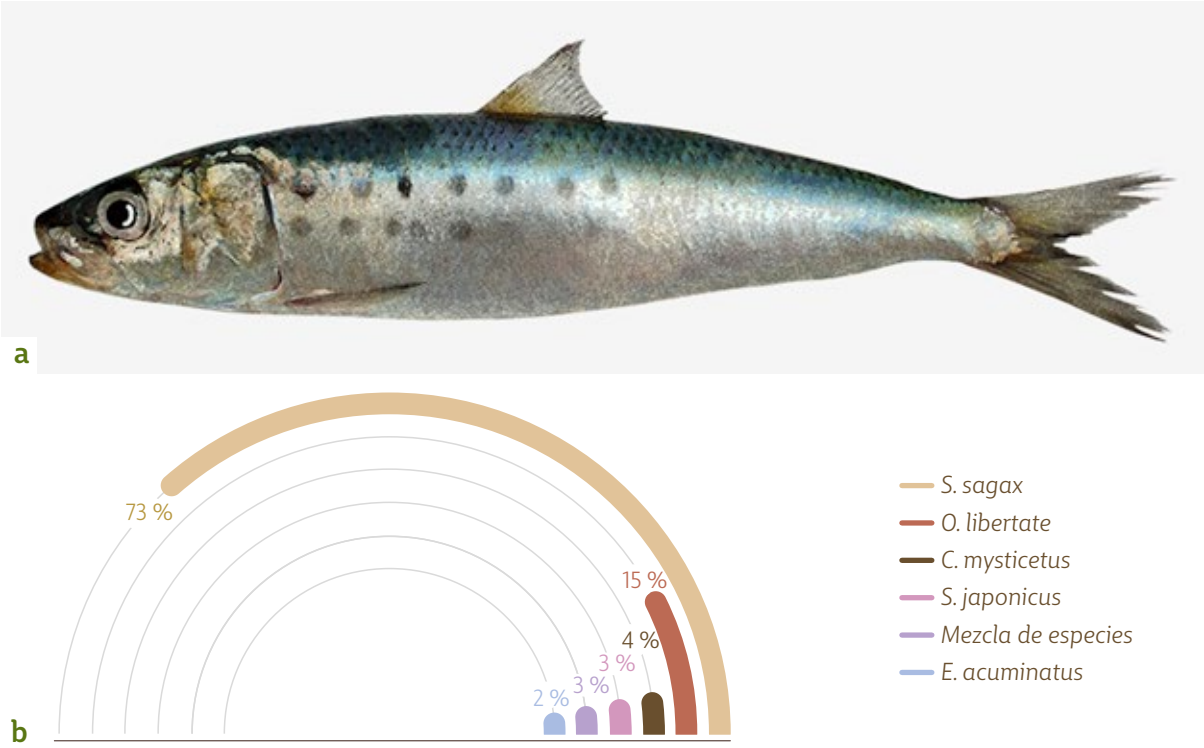


Figura 1. a) Sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*); b) porcentaje por especie de la captura de pelágicos menores en el periodo 1981-2016. Fuente/foto: Sergio de la Rosa Martínez/Banco de imágenes CONABIO (a), elaboración propia con datos del Laboratorio de Dinámica de Poblaciones CICIMAR-IPN (b).

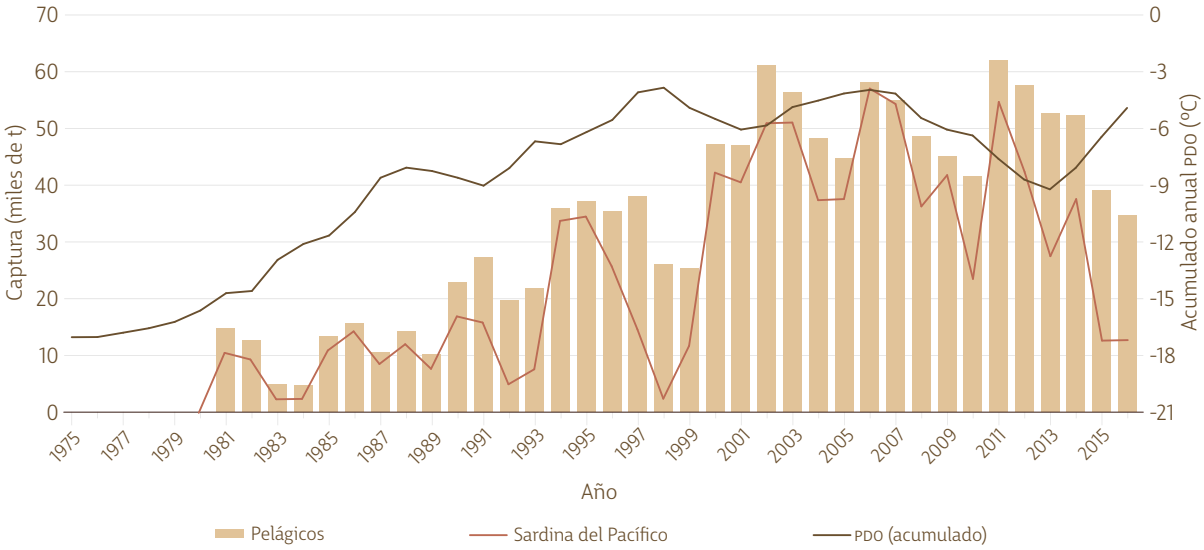


Figura 2. Variación anual de la captura de pelágicos (barras) y de la sardina del Pacífico (línea marrón) en la costa del Pacífico de Baja California Sur; la línea café representa el cambio de régimen (Oscilación Decenal del Pacífico, PDO, el cual se muestra como acumulado anual desde 1950). Fuente: elaboración propia con datos de JISAO 2017, Laboratorio de Dinámica de Poblaciones CICIMAR-IPN.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Decenal del Pacífico (PDO)[1] del siglo XX (figura 2). Esta fase del cambio de régimen se asocia a incrementos en la biomasa de la sardina del Pacífico en el Sistema de la Corriente de California (SCC; Zwolinski y Demer 2012). En este sentido, se observó la coincidencia del rendimiento de la pesquería con el desarrollo de la fase cálida del cambio de régimen, particularmente de la sardina del Pacífico durante 1981 hasta 2000 (figura 2); posteriormente, las anomalías de la PDO se estabilizaron hasta 2009, periodo en que se obtuvieron los mayores rendimientos. Esta relación entre el ambiente y los pelágicos menores ya ha sido documentada para las poblaciones al norte del SCC (Radovich 1982, Chávez *et al.* 2003).

Sardina del Pacífico

En la entidad, la sardina del Pacífico es el recurso pesquero que en la última década ha ocupado los primeros lugares en cuanto a magnitud de captura. Esto permite la continuidad del funcionamiento de la planta industrial localizada en los puertos San Carlos y Adolfo López Mateos, donde se procesa para consumo humano y en harina (para la elaboración de alimento para aves y ganado), y se mantienen diversas fuentes de empleo para la población local. La sardina del Pacífico es uno de los peces pelágicos del SCC más estudiado, debido a la drástica disminución en biomasa de su población en California, Estados Unidos de América, en la década de los cuarenta del siglo pasado (Radovich 1982). Esto provocó el colapso de la pesquería desde el sur de Canadá hasta Ensenada, México, en la década de los cincuenta. Lo anterior, a su vez, determinó el desplazamiento de la pesquería mexicana hacia nuevas áreas al sur, como isla Cedros y posteriormente hasta bahía Magdalena (Félix-Uraga 1986).

En la actualidad, existe cierta controversia sobre la dinámica poblacional y el comportamiento de esta especie (Smith 2005). Para conocer la estructura poblacional se han realizado estudios de tamaño de los individuos (Félix-Uraga *et al.* 2005, Vergara-Solana *et al.* 2013), merísticos (de sus partes), de distribución asociada a la temperatura (Félix-Uraga *et al.* 2004, Dorval *et al.* 2011) y de diferenciación genética (Baldwin *et al.* 2012), entre otras.

Para que un programa de manejo de cualquier pesquería sea exitoso, debe incluir: a) una descripción detallada de la estructura de la población; b) identificar si está integrada por unidades poblacionales diferentes (stocks) y comprender como interactúan entre ellos; c) definir sus límites geográficos; y d) determinar los potenciales efectos sobre la estructura genética que puedan causar las decisiones del manejo.

Una de las hipótesis más aceptadas sobre la estructura de la población de sardina del Pacífico, es la existencia de tres stocks (Félix-Uraga *et al.* 2004, 2005, Smith 2005), desde el sur de California hasta bahía Magdalena, separadas por barreras térmicas. En bahía Magdalena se capturan sardinas de dos de estos stocks: del stock templado durante parte de invierno-primavera-verano (parcial), que se distribuye a lo largo de la Península de Baja California (32-24° N; 17-22°C); y del stock cálido durante parte de verano-otoño-invierno (parcial), que se distribuye al sur de la península (sur de 24° N; > 22°C). No obstante, a pesar de contar con muchos e importantes estudios (p.e. distribución, reproducción, alimentación y migración), la sardina del Pacífico sigue siendo un recurso con disponibilidad impredecible y representa un reto de análisis para los científicos pesqueros interesados en su explotación racional.

Conclusiones

A mediados del siglo pasado, al norte del SCC la sardina del Pacífico se colapsó con importantes repercusiones económicas y ecológicas; las causas exactas del colapso de la población de sardina sigue siendo difícil de dilucidar. Sin embargo, la literatura disponible indica que muchas características ambientales y antropogénicas del colapso parecen estar presentándose (Zwolinski y Demer 2012).

1 La Oscilación Decenal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés) es un cambio de baja frecuencia de la relación océano-atmósfera al norte de los 20° de latitud del Pacífico. Debido a que cada fase de PDO es larga, y las interacciones océano-atmósfera requieren muchos años para ajustarse, los efectos de los cambios de fase de PDO, o cambios de régimen, son predecibles por más de dos decenas de años. Durante las fases cálidas (positivas) del PDO, el agua oceánica más cálida que el promedio se encuentra muy cerca de la costa occidental de América del Norte; durante las fases frías (negativas), aguas de menor temperatura están presentes.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Las evidencias muestran que durante condiciones negativas del PDO (fase fría del cambio de régimen) las existencias poblacionales de la sardina del Pacífico se reducen y se concentran al sur de su distribución (costa del Pacífico de Baja California). Esta zona definida como de transición templado-tropical contiene un centro de actividad biológica (región de la bahía Sebastián Vizcaíno a Punta Eugenia) que mantiene una alta productividad durante todo el año (Lluch-Belda *et al.* 2003). Además, parece ser un refugio para la población remanente de la sardina del Pacífico durante condiciones ambientales adversas (fase fría del cambio de régimen); cuando las condiciones le son favorables crece hasta cubrir toda su área de distribución hasta el golfo de Alaska. En consecuencia, durante condiciones adversas la población de sardina del Pacífico reducirá drásticamente su tamaño, y será más vulnerable a la pesca por concentrarse principalmente en la zona de refugio. Incrementar la tasa de explotación sobre esta población remanente reducirá significativamente su potencial reproductivo, y dificultará su recuperación cuando las condiciones ambientales le sean favorables (fase cálida del cambio de régimen), lo que tendrá repercusiones notables en su pesquería.

Para evitar esta consecuencia y mantener la biomasa y el reclutamiento, México elaboró el Plan de Manejo de la Pesquería de Pelágicos Menores (INAPESCA 2012), donde se establece una regla de control para evitar la sobrepesca. La base de este control es la captura biológicamente aceptable, que no debe exceder 25% del estimado de biomasa de la porción adulta de la población de sardina.

Referencias

Baldwin, R.E., M.A. Banks y K.C. Jacobson. 2012. Integrating fish and parasite data as a holistic solution for identifying the elusive stock structure of Pacific sardines (*Sardinops sagax*). *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 22:137-156.

Chávez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota y C.M. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299:217-221.

CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2013. *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca*, 2013. SAGARPA, México.

Dorval, E., K. Piner, L. Robertson *et al.* 2011. Temperature record in the oxygen stable isotopes of Pacific sardine otoliths: experimental vs. wild stocks from the Southern California Bight. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 397:136-143.

Félix-Uraga, R. 1986. *Edad, crecimiento y estructura poblacional de Sardinops sagax caerulea en bahía Magdalena, durante 1981 a 1984*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

Félix-Uraga, R., V.M. Gómez-Muñoz, W. García-Franco *et al.* 2004. On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of Baja California and Southern California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* 45:146-151.

Félix-Uraga, R., C. Quiñónez-Velázquez, K.T. Hill *et al.* 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the west coast of Baja California and Southern California using otolith morphometry. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* 46:113-121.

INAPESCA. Instituto Nacional de Pesca. 2012. *Plan de Manejo Pesquero para la Pesquería de Pelágicos Menores (sardinas, anchovetas, macarela y afines) del Noroeste de México*. Publicado el 8 de noviembre de 2012 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

JISAO. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean. 2017. *PDO Index*. En: <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>, última consulta: 2 de agosto de 2018.

Lluch-Belda, D., D.B. LLuch-Cota y S.E. LLuch-Cota. 2003. Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography* 59:503-513.

Quiñónez-Velázquez, C., R. Alvarado-Castillo y R. Félix-Uraga. 2000. El ambiente y la disponibilidad de sardina Monterrey en bahía Magdalena, BCS. En: *Memorias del VIII Taller del Comité Técnico de Pelágicos Menores*. Comité Técnico de Pelágicos Menores, México.

Quiñónez-Velázquez, C., C.K. Grijalva-Calderón, M. Ruiz-Domínguez *et al.* 2017. La pesquería de pelágicos menores en bahía Magdalena, temporada 2016. En: *Memorias del XXV Taller del Comité Técnico de Pelágicos Menores*. Comité Técnico de Pelágicos Menores, Guaymas.

Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fisheries. What have we learned? *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* 23:56-78.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Smith, P. 2005. A history of proposals for subpopulation structure in the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) population off western North America. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* 46:76-82.

Vergara-Solana, F.J., F.J. García-Rodríguez y J. De La Cruz-Agüero. 2013. Comparing body and otolith shape for stock discrimination of Pacific sardine, *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842). *Journal of Applied Ichthyology* 29:1241-1246.

Zwolinski, J.P. y D.A. Demer. 2012. A cold oceanographic regime with high exploitation rates in the Northeast Pacific forecasts a collapse of the sardine stock. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:4175-4180.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cambio en el uso de la biodiversidad en Cabo Pulmo

Héctor Pérez Cortés Moreno y Alba Eritrea Gámez Vázquez

Introducción

En México existen múltiples casos de destinos turísticos asociados a un crecimiento económico desordenado con impactos ambientales y sociales negativos, lo cual es un modelo reproducido una y otra vez a lo largo de la franja litoral. El hecho de que, de las 32 entidades federativas en México, Baja California Sur sea el segundo estado menos poblado, y el segundo con menor proporción de pobreza (22.13%; CONEVAL 2016), se relaciona con el rápido crecimiento turístico del municipio de Los Cabos. Sin embargo, el crecimiento económico se da en un contexto de disparidades intrarregionales (dentro de la entidad y el municipio de Los Cabos) que ha dejado cada vez más despobladas a muchas comunidades rurales y costeras.

La localidad de Cabo Pulmo se ubica justo en el trópico de Cáncer y dentro de los límites que corresponden a Baja California Sur. Se ubica 169 km al sur de la capital estatal de La Paz, y junto con San José del Cabo y Cabo San Lucas, constituye el Corredor de Los Cabos, uno de los principales destinos turísticos de sol-playa del país. Sus orígenes se remontan al siglo XVIII, cuando sus primeros pobladores se dedicaban a la extracción de madreperla (*Pinctada mazatlanica*; Cariño y Monteforte 1999). Posteriormente, se convirtió en un campo pesquero con casas hechas con la madera de un barco que se hundió, en el que se explotaban especies comerciales de peces (*Lutjanus peru*, *L. guttatus*, *Mycteroperca rosacea*, *Paralabrax maculatofasciatus*, entre otros), langosta (*Panulirus interruptus*), ostión (*Crassostrea* spp.) y gasterópodos o caracoles (*Muricanthus* spp.).

Cabo Pulmo padeció una intensa sobreexplotación de sus diversos recursos por la pesca comercial desordenada. En la comunidad predominaba la pobreza y sus habitantes veían que se estaban terminando los recursos pesqueros, pues cada vez había que ir más lejos y muchas veces regresaban sin capturas (Castro 2014). En 1995, el gobierno mexicano declaró la zona marina como área natural protegida (ANP), bajo el nombre Parque Nacional Cabo Pulmo (SEMARNAP 1995). Para ello, los esfuerzos de la comunidad local, organizados y promovidos por la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) fueron fundamentales (Cariño *et al.* 2008). El desarrollo de actividades de turismo alternativo se convirtió en la principal forma de aprovechamiento y uso de la biodiversidad, con un evidente aporte a la conservación de los ecosistemas del parque, y al beneficio de los pobladores locales. Asimismo, se considera que la declaratoria de esta ANP es un ejemplo de éxito en el uso de la biodiversidad marina ligada a la conservación, gracias a la participación de la comunidad, y las redes de colaboración

Pérez-Cortés Moreno, H. y A.E. Gámez. 2025. Cambio en el uso de la biodiversidad en Cabo Pulmo. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 276-281.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

con la academia, las autoridades ambientales y las organizaciones de la sociedad civil (Cariño *et al.* 2008). El aviso de conclusión del programa de manejo se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 13 de noviembre de 2009 (SEMARNAT 2009).

Biodiversidad en Cabo Pulmo

Los arrecifes coralinos, a veces llamados bosques pluviales tropicales del océano, cubren solamente 0.2% de los fondos marinos del mundo, pero contienen alrededor de una cuarta parte de las especies marinas, y proporcionan bienes y servicios cuyos beneficios se estiman en unos 30 mil millones de dólares estadounidenses por año (CDB 2007). Pese a su importancia, los ecosistemas marinos enfrentan múltiples presiones, como la destrucción del hábitat por crecimiento urbano y poblacional en las costas, la contaminación, la sobrepesca y los impactos del cambio climático que ya afectan la composición y la distribución de las especies (OPS 2019).

El arrecife de Cabo Pulmo es hogar de incontables organismos de una gran variedad de especies (figura 1). En la región donde se ubica, confluyen especies que provienen de las provincias biogeográficas Panámica, Californiana e Indo-Pacífica, lo que le otorga el carácter de ecotono y explica su gran diversidad biológica, que es una de las más altas en la costa del Pacífico mexicano. Se trata del arrecife de coral vivo más al norte del continente americano, el único arrecife duro de toda la Península de Baja California, y uno de los tres únicos arrecifes vivos que quedan en toda Norteamérica, con una edad estimada en más de 20 mil años (Glynn y McIntyre 1977, SEMARNAP 1995, CONANP 2006).

La declaratoria de esta ANP incluyó una superficie de 7 111 ha (SEMARNAP 1995), de las cuales la porción marina ocupa 99%, y el resto corresponde a zona fe-

Figura 1. Banco de pargos amarillos (*Lutjanus argentiventris*) en El Vencedor, Parque Nacional Cabo Pulmo. Foto: Carlos Aguilera/ Niparajá A.C.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

deral marítimo terrestre. A pesar de proteger principalmente la biodiversidad marina, el establecimiento de esta área favorece la conservación de zonas terrestres aledañas, su flora y fauna, así como los procesos ecológicos que ahí ocurren. Éstas incluyen diferentes tipos de ecosistemas: bosques de pino-encino, selva baja o bosque templado caducifolio, bosque espinoso, diferentes tipos de matorrales, desierto, humedales (marinos y estuarinos) y zonas de dunas. En la porción terrestre del ANP, se han registrado 392 especies de plantas, 44 de mamíferos, 29 de reptiles, y 95 de aves de las cuales 42 se encuentran en alguna categoría de riesgo por la NOM-059 (SEMARNAT 2010); además, están presentes dos hábitats únicos (ubicados en punta Arena y la propiedad de Cabo Dorado) y dos especies de plantas microendémicas (*Bidens cabopulmensis* y *Pisonia calafia*; Vanderplank *et al*. 2014).

Experiencias de conservación y uso sustentable

En 1986, profesores y estudiantes de la UABCS empezaron a visitar el sitio para realizar estudios enfocados en la comunidad de corales y otros invertebrados, peces arrecifales y la conservación del arrecife. Además de algunos trabajos y tesis, se generó una propuesta al Instituto Nacional de Ecología[1] para establecer un área natural protegida (SEMARNAT 2009). La presencia de especialistas y estudiantes, así como su contacto con la pequeña comunidad ahí establecida, permitió que los habitantes comprendieran la importancia del arrecife que se ubica frente al lugar que habitan, y los servicios que obtienen y que podían prolongarse si se comprometían con la conservación.

La creación del ANP implicó la prohibición de la pesca comercial. Los primeros cuatro años los habitantes se quedaron sin otra alternativa productiva, por lo que fue muy duro este periodo a decir de ellos mismos (Castro 2014). Sin embargo, poco a poco se fueron dando cuenta que una alternativa viable sin dañar el arrecife era el turismo de naturaleza y de aventura. Unos empezaron a capacitarse como *Dive Master*, otros a abrir restaurantes, unos más a ofrecer los paseos de esnórquel o pesca deportiva fuera del ANP. De ese modo transformaron el tipo de actividades económicas y el estilo de vida que habían tenido hasta entonces. Al presente, de comunidad pesquera pasaron a ser una comunidad turística que busca acrecentar la calidad de sus servicios y su imagen como un destino consciente y preocupado por la conservación del ambiente (Bobadilla *et al*. 2015). Esto no implica la eliminación de los conflictos o retos de una comunidad cada vez más diversa (Menares 2008, Anderson 2015), pero sí muestra una transformación positiva en las formas de vida locales.

En cuanto a su éxito ecológico, en un período de 14 años desde el decreto de su creación, la biomasa aumentó más de 460%, lo que la convierte en la reserva marina más exitosa del mundo (figura 2; Aburto-Oropeza *et al*. 2011, Cosío 2015). Clave para ello ha sido el compromiso con la abstención de la pesca dentro del ANP, incluso para fines de consumo familiar. El acompañamiento de autoridades ambientales y de organizaciones de la sociedad civil también ha sido relevante, al igual que el establecimiento de redes de colaboración nacionales y del extranjero en contra de las propuestas de establecimiento de proyectos de turismo masivo (megadesarrollos) en La Ribera, en las inmediaciones del ANP (AIDA 2013, Cosío 2015).

En los habitantes de Cabo Pulmo hay un sentimiento de pertenencia y orgullo: al conservar el arrecife mejoraron su calidad de vida y demostraron que se puede vivir dignamente de los recursos naturales sin dañarlos (Aburto-Oropeza *et al*. 2011, Castro 2014). Así, en vez de hacer un aprovechamiento tradicional de los recursos pesqueros, que en general se basa en blancos mono-específicos con artes de pesca poco selectivos, se pasó a un uso integral de los diferentes niveles de biodiversidad. De esta forma, los ingresos provienen del aprovechamiento recreativo y paisajístico de los ecosistemas que se atraviesan para llegar al arrecife, de las comunidades de especies marinas y también, más indirectamente, de los beneficios derivados de la conservación de la diversidad genética.

1 Actualmente Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Cardumen de jureles (*Caranx sexfasciatum*) en el Parque Nacional Cabo Pulmo. Foto: Carlos Aguilera/Niparajá A.C.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones

En Cabo Pulmo, en vez de dejar de hacer uso de la biodiversidad se dio un cambio en la manera de aprovecharla, lo cual constituye una importante contribución a la sustentabilidad en su sentido amplio. Sin embargo, un tema central es cómo mantener esos resultados positivos de cara a los retos que representan el cambio climático global, las presiones de turismo masivo en las cercanías, y el propio crecimiento y diversidad poblacional en la zona costera de la localidad.

En este sentido, es relevante establecer y hacer respetar marcos normativos que favorezcan oportunidades de crecimiento económico, pero también de cuidado ambiental en un marco de equidad social. Más aún, es preciso integrar factores culturales en las estrategias diseñadas para alcanzar el desarrollo (Sauvage y Gámez 2013). Esto implica la participación de las poblaciones locales como agentes clave en los procesos de crecimiento y para la sustentabilidad; así como reconocer las interacciones entre los sistemas ecológicos y los socioeconómicos, que son cruciales para el manejo de los ecosistemas en un entorno de cambio climático global.

El establecimiento de megadesarrollos turísticos se detuvo, en parte, por la presión de la sociedad civil organizada y la intervención de organismos internacionales. Pero si se considera que el modelo de sol-playa se está extendiendo desde el Corredor de Los Cabos hacia el norte, tanto por el golfo de California como por el Pacífico, es preciso asegurar mecanismos para evitar afectaciones al ANP. Esto implica establecer regulaciones también sobre la zona contigua, donde se realizan las construcciones y urbanizaciones residenciales y turísticas. Por lo tanto, se requiere el cumplimiento del marco normativo para su protección y ampliarlo hacia la zona terrestre, así como fortalecer las capacidades de los locales para innovar en el uso de la biodiversidad de la zona; ambos son mecanismos que pudieran ser útiles para dar continuidad a ese esfuerzo.

Adicionalmente, es preciso dar seguimiento a la investigación sobre la biodiversidad del ANP y los servicios ecosistémicos que presta, no solamente en el sitio, sino los que se derivan de su condición de hábitat para especies migratorias de alto valor económico en la pesca deportiva o incluso comercial, y que son aprovechadas en otros lugares. En esto es conveniente explícitamente reconocer los lazos de la biodiversidad terrestre con la marina. Al considerar las interrelaciones de esos subsistemas, resulta inapropiado ignorar el efecto de los asentamientos humanos y turísticos, así como el ritmo actual de extracción de agua de los acuíferos, sobre la biodiversidad.

Por otra parte, se requiere prestar atención a las dinámicas sociales y económicas, y su vinculación con los objetos de conservación y la biodiversidad en la zona. Si bien la comunidad de Cabo Pulmo ha mantenido su compromiso y procesos de conservación durante casi dos décadas, en ese tiempo también se reflejan cambios poblacionales y generacionales, así como económicos internos y en el entorno. Como respuesta anticipada a lo que se puede esperar por el aumento de las presiones ambientales que suponen el cambio climático global y las tendencias turísticas, se requiere de iniciativas de innovación para la conservación y uso de la biodiversidad que favorezcan un mejor aprovechamiento de los recursos del ANP y el empoderamiento de las comunidades a su vera.

En ese sentido, la diversificación de actividades de turismo sustentable es deseable, como el avistamiento de ballenas y de otras especies. Asimismo, se puede aprovechar la atención internacional sobre el ANP para convertirla en un destino de educación ambiental y de investigación en cuestiones marinas y terrestres del que se beneficien la población de Cabo Pulmo y las comunidades aledañas. Integrar a éstas en un circuito de museos, avistamiento y educación sobre servicios ecosistémicos quitaría la presión que el aumento de visitantes pueda tener sobre el ANP. Además, una política ambiental-cultural como esa, extendería el interés de las poblaciones adyacentes por su conservación, y las integraría explícitamente a los beneficios económicos que genera el ANP.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Aburto-Oropeza, O., B. Erisman, G.R. Galland *et al*. 2011. Large recovery of fish biomass in a no-take marine reserve. PLOS ONE 6(8):e23601.

AIDA. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente. 2013. *Coalición internacional denuncia incumplimiento de la legislación ambiental en la autorización de cuatro megaproyectos turísticos en el golfo de California, abril 11*. En: <http://www.aida-americas.org/es/coalici%C3%B3n-internacional-denuncia-incumplimiento-de-la-legislaci%C3%B3n-ambiental-en-la-autorizaci%C3%B3n-de>, última consulta: 15 de febrero de 2018.

Anderson, R. 2015. Sustainability, ideology, and the politics of development in Cabo Pulmo, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Political Ecology* 22(1):239-254.

Bobadilla, M., B. Luna, M. Lagunas *et al*. 2015. Percepción de los prestadores de servicios dentro de áreas naturales protegidas sobre la eficacia de las políticas ambientales ahí implementadas y su impacto sobre el bienestar de la comunidad. Caso: Cabo Pulmo, BCS, México. *El Periplo Sustentable* 33:760-797.

Cariño, M. y M. Monteforte. 1999. *El primer emporio perlero del mundo: la Compañía Criadora de Concha y Perla de Baja California S.A. y perspectivas para Baja California Sur*. UABCS, Baja California Sur.

Cariño, M., E. Valle, M. Monteforte *et al*. 2008. La creación del área natural protegida: actores, procesos y retos. En: *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, BCS*. A.E. Gámez (ed.). SDSU/CONACYT/UABCS, México, pp. 75-98.

Castro, J. 2014. *Historia de Cabo Pulmo*. En: <http://www.oceanhealthindex.org/news/Historia_de_Cabo_Pulmo>, última consulta: 7 de octubre de 2019.

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas. 2007. *Cambio climático y diversidad biológica*. CDB, Nueva York.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2006. *Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Cabo Pulmo*. CONANP, México.

CONEVAL. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2016. *Medición de la pobreza*. En: <http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2016.aspx>, última consulta: 7 de octubre de 2019.

Cosío, J. 2015. *La exitosa recuperación ecológica de Cabo Pulmo, La Paz, Baja California Sur*. En: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/4311-arque-nacional-cabo-pulmo-referente-de-la-conservacion-en-mexico>, última consulta: 7 de octubre de 2019.

Glynn, P.W. e I.G. Macintyre. 1977. Growth rate and age of coral reefs on the Pacific coast of Panama. En: *Proceedings of Third International Coral Reef Symposium Vol. 2: Geology. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science*. D.L. Taylor (ed.). USGS/Smithsonian Institution/Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science/International Association of Biological Oceanographers/Committee on Coral Reefs, Miami, pp. 251-259.

Menares, B. 2008. Construcción y usos de los espacios sociales en la localidad de Cabo Pulmo. En *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, BCS*. A.E. Gámez (ed.). SDSU/CONACYT/UABCS, México, pp. 277-292.

OPS. Organización Panamericana de la Salud 2019. *Ecosistemas marinos y costeros*, En: <http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>, última consulta: 7 de octubre de 2019.

Sauvage, A. y A.E. Gámez. 2013. Introducción. En: *Los usos del patrimonio cultural en Sudcalifornia*. A. Sauvage y A.E. Gámez (eds.). Instituto Sudcaliforniano de Cultura, La Paz, pp. 7-18.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1995. *Decreto por el que se declara Área Natural Protegida con carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Cabo Pulmo, ubicada frente a las costas del Municipio de Los Cabos, B.C.S., con una superficie de 7,111-01-00 hectáreas*. Publicado el 6 de junio de 1995 en el Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009. *Aviso mediante el cual se informa al público en general que la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas ha concluido la elaboración del Programa de Manejo del Parque Nacional Cabo Pulmo, localizado frente a las costas del Municipio de Los Cabos, en el Estado de Baja California Sur*. Publicado el 13 de noviembre de 2009 en el Diario Oficial de la Federación.

—. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Vanderplank, S., B.T. Wilder y E. Ezcurra. 2014. *Descubriendo la biodiversidad terrestre en la región de Cabo Pulmo*. Botanical Research Institute of Texas/Nueva Generación de Investigadores del Desierto Sonorense/University of California Institute for Mexico and the United States, EUA.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Marco regulatorio de la pesca deportiva: recomendaciones para el desarrollo sustentable

Andrea Marcela Geiger Villalpando, Rodrigo Serrano Castro y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

En México se tienen registros de los primeros torneos de pesca deportiva de aguas abiertas desde 1915, con la llegada de empresas petroleras a Tamaulipas. En aguas interiores se realizaron los primeros torneos de pesca de lobina (*Micropterus salmoides*) en 1968 en Río Fuerte, Sinaloa. En 1957, esta especie se introdujo con la finalidad de que pudiera alimentar a las familias de la región.

En 1968, el estadounidense Billy Chapman llegó a Sinaloa y junto con el ingeniero Sergio Villaseñor, quien trabajaba en proyectos hidroeléctricos en ese estado, formaron una sociedad que les permitió poner en operación dos lanchas de 18 y 20 caballos de fuerza para realizar pesca deportiva en la presa El Mahone. Por la gran cantidad y tamaño de ejemplares de lobina, ambos acordaron construir un campamento pesquero en la presa José Ortiz de Domínguez, El Sabino, y se habilitó un inmueble con cuartos para pescadores y todos los servicios en El Fuerte, Sinaloa. Es entonces como da inicio la industria turística de la pesca deportiva en aguas interiores de la región noroeste de México (Villaseñor 2017).

Marco regulatorio federal de la pesca y acuacultura

En 1992 se publicó una legislación en este tema, a través de la Ley de Pesca emitida por la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca[1] (SEMARNAP 1992), que permitió tener mayor organización para la explotación de los recursos pesqueros. Esta fue abrogada y sustituida por la actual Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables (LGPAS), la cual incluye el manejo sustentable de la acuacultura (CONAPESCA 2007).

En el artículo 16 de la LGPAS se establece la posibilidad de obtener ingresos provenientes de concesiones o permisos relacionados con esta actividad, a las haciendas públicas para que su administración se efectúe por los gobiernos locales en programas relacionados con el sector pesquero y acuícola. Este artículo es muy importante para Baja California Sur debido a que da entrada a lo que sería el fideicomiso para el fondo marino FONMAR (CONAPESCA 2007).

La LGPAS en materia de pesca deportiva, en sus artículos 67 al 71, establece que se expedirán permisos de pesca deportivo-recreativa a personas físicas nacio-

1 Actualmente Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Geiger Villalpando, A.M., R. Serrano Castro y A. Ortega-Rubio. 2025. Marco regulatorio de la pesca deportiva: recomendaciones para el desarrollo sustentable. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 282-285.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

nales o extranjeras, para efectuar este tipo de actividad, así como a los prestadores de servicios a terceros, de conformidad con los programas correspondientes, excepto las personas que practiquen esta actividad desde tierra, pero respetando las tallas y las artes de pesca permitidas. Asimismo, prohíbe la pesca comercial de las especies de marlín (*Makaira mazara*, *M. nigricans*, *Istiompax indica* y *Tetrapturus audax*), pez vela (*Istiophorus platypterus*), pez espada (*Xiphias gladius*), sábalo o chiro (*Megalops atlanticus*), pez gallo (*Nematistius pectoralis*) y dorado (*Coryphaena hippurus*), en todas sus variedades biológicas (figura 1), destinadas de manera exclusiva para la pesca deportivo-recreativa (o de investigación científica), dentro de una franja de 50 millas náuticas contadas a partir de la línea de base desde la cual se mide el mar territorial (Artículo 68; CONAPESCA 2007).

Para el correcto cuidado de las especies es necesario conocer las características básicas de las mismas, en especial de algunos de los peces protegidos en pesca deportiva que se pueden encontrar en Baja California Sur (apéndice 52; Geiger y Ortega 2016). Cabe señalar que la última reforma de la LGPAS se desarrolló en 2022; no obstante, el reglamento aplicable a esta ley data de 2004. Dicho reglamento define la pesca deportiva como aquella que se lleva a cabo con fines de esparcimiento. En su artículo 84, cita las especies destinadas para este tipo de pesca, pero al igual que la LGPAS, no especifica las tres variedades de marlín. Sin embargo, define que esta pesca se puede realizar a bordo de alguna embarcación, de manera subacuática o desde tierra, de las cuales la última no necesita permiso.

Ley de Pesca y Acuacultura Sustentable del Estado de Baja California Sur

En el caso específico de la entidad, todo este contexto regulatorio ha redundado en que a nivel estatal se hayan realizado adecuaciones legislativas en torno a la pesca y la acuacultura. En 2010 se publicó una Ley de Pesca y Acuacultura Sustentable del Estado de Baja California Sur (Gobierno del Estado 2010) y así se puso en marcha el aprovechamiento de los recursos pesqueros de una manera más ordenada a través de la Secretaría de Pesca Estatal. Destaca que se realiza un esfuerzo enorme por atender el sector pesquero y se han puesto en marcha programas como el Programa de Fomento a la Productividad Pesquera y Acuícola, el Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas e Infraestructura, entre otros, establecidos en las reglas de operación y programas de la Secretaría de Pesca, Acuacultura y Desarrollo Agropecuario (SEPADA 2018).

Conclusiones

La investidura de México como la tercera potencia pesquera en Latinoamérica, hace necesaria la publicación de un reglamento actualizado para la LGPAS, con la finalidad de poder explotar de una manera más ordenada estos recursos, lo cual no ha podido llevarse a cabo, aunque existió como proyecto desde 2007, por lo que aún se trabaja con el reglamento de la ley anterior ya derogada (CONAPESCA 1999).

En cuanto a la ley estatal, ésta solo tiene un inciso donde habla de la pesca deportivo-recreativa, por lo que sería conveniente en primer lugar reforzar la protección de las especies destinadas únicamente a pesca deportiva también a nivel estatal (Gobierno del Estado 2010). Igualmente, es indispensable que se emita una versión actualizada del ordenamiento de pesca estatal en donde con toda claridad se otorgue protección jurídica absoluta e integral a las especies reservadas para la pesca deportiva con el fin de ofrecer una protección rigurosa, y en justa proporción a los ingresos económicos que genera y a los beneficios sociales que derrama.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

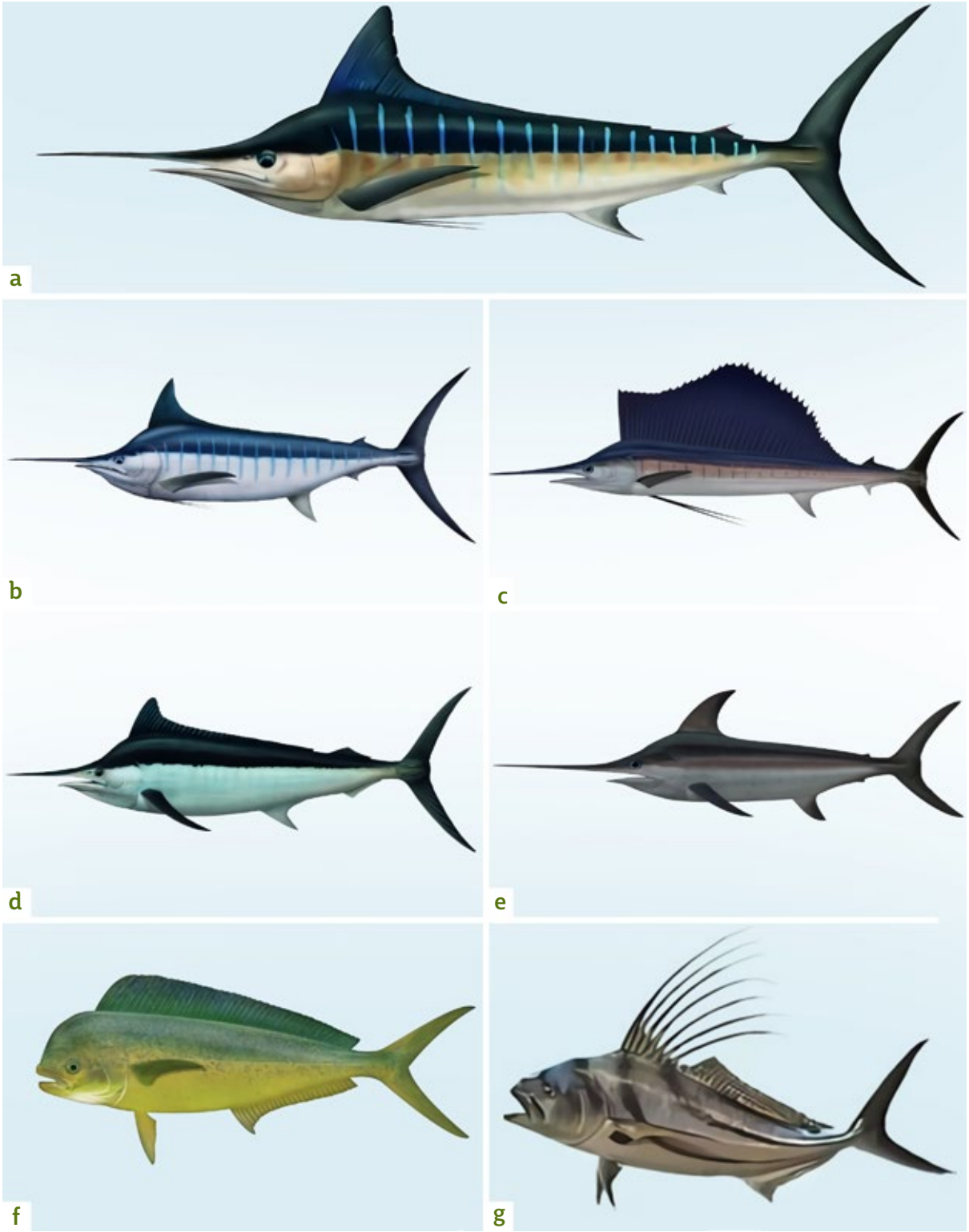


Figura 1. Especies de pesca deportiva en las costas de la península. a) Marlín rayado (*Kajikia audax*); b) marlín azul (*Makaira nigricans*); c) pez vela (*Istiophorus platypterus*); d) marlín negro (*Istiompax indica*); e) pez espada (*Xiphias gladius*); f) dorado (*Coryphaena hippurus*); g) pez gallo (*Nematistius pectoralis*). Fuente: Geiger 2010.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 1999. *Reglamento de la Ley de Pesca.* Publicado el 29 de septiembre de 1999 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 28 de enero de 2004.

—. 2007. *Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables.* Publicada el 24 de julio de 2007 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 7 de diciembre de 2022.

Geiger, A. 2010. *Reglamentación de la pesca deportiva en México, Baja California Sur.* Tesis de doctorado en ciencias. UABCS, Baja California Sur.

Geiger, V.A. y A. Ortega. 2016. *Historia y reglamentación de la pesca deportiva en México y en Baja California Sur*. UABCS, Baja California Sur.

Gobierno del Estado. 2010. *Ley de Pesca y Acuacultura Sustentable del Estado de Baja California Sur.* Publicada el 1 de agosto de 2010 en el Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Baja California Sur. Última reforma publicada 31 de octubre de 2016.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1992. *Ley de pesca*. Publicada el 25 de junio de 1992 en el Diario Oficial de la Federación. Abrogada.

SEPADA. Secretaría de Pesca, Acuacultura y Desarrollo Agropecuario. 2018. *Programas y Servicios Vigentes por Sector. Dirección de Ordenamiento Pesquero*. En: <http://sepadabcs.gob.mx/programas/>, última consulta: 7 de octubre de 2019.

Villaseñor, S. 2017. *Pesca en directo - La historia de la pesca deportiva en México.* En: <https://www.youtube.com/watch?v=0zIAdAOQU3U>, última consulta: abril de 2023.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Aprovechamiento dentro de las áreas naturales protegidas

Andrea Marcela Geiger Villalpando, René Arturo Kachok Gavarain, Benito Bermúdez Almada, Delia María Mora Arrambídez, Paola Vázquez Quiroz, Rodrigo Serrano Castro y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

Las áreas naturales protegidas (ANP) continentales o marinas son parte de los instrumentos legales para la conservación, con los cuales se resguardan y protegen especies y ecosistemas con alta diversidad biológica. Son regiones silvestres con escaso disturbio, que además guardan valores culturales, y brindan bienes y servicios esenciales para el bienestar del ser humano (servicios ecosistémicos). Al mismo tiempo, son espacios que pueden contribuir a la economía local, si se desarrollan actividades sostenibles y compatibles con el medio ambiente. En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT 2020) clasifica dichas áreas federales en: 1) reservas de la biosfera (RB); 2) parques nacionales (PN); 3) monumentos naturales (MN); 4) áreas de protección de recursos naturales (APRN); 5) áreas de protección de flora y fauna (APFF); 6) santuarios (S).

Las ANP y no federales tienen diferente clasificación, entre ellas están: 1) parques y reservas estatales (PRE); 2) zonas de conservación ecológica municipales (ZCEM); así como las demás categorías que establezcan las legislaciones locales, y áreas destinadas voluntariamente a la conservación. De acuerdo con los elementos bióticos y abióticos presentes y el tipo de ANP, en general puede establecerse una o más zonas núcleo y una zona de amortiguamiento, las cuales tienen objetivos particulares y pueden estar conformadas por subzonas en donde se pueden desarrollar diferentes actividades conforme lo que establece Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), su reglamento, los programas de ordenamiento ecológico, así como los respectivos programas de manejo (SEMARNAT 2020).

Hasta 2020, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administra 182 áreas de carácter federal (90 839 521.55 ha) y apoya 354 áreas destinadas voluntariamente a la conservación (551 206.12 ha; CONANP 2020a). De la superficie total de las ANP, 21 886 691 ha corresponden a la parte terrestre (11.14% de la superficie terrestre nacional), y de la marina se protegen 69 458 748 ha (22.05% de la superficie marina de competencia nacional; CONANP 2020a).

En Baja California Sur se tienen 10 ANP de jurisdicción federal[1] y 1 de competencia estatal. De las fe-

1 El 15 de agosto de 2023 se establecieron dos nuevos parques nacionales en el estado: Nopoló (2 076 ha) y Loreto II (6 217 ha), mismos que no se incluyen en el análisis de la presente contribución debido a su relativa reciente creación.

Geiger Villalpando, A.M., R.A. Kachok Gavarain, B. Bermúdez-Almada, D.M. Mora Arrambídez, P. Vázquez Quiroz, R. Serrano Castro y A. Ortega-Rubio. 2025. Aprovechamiento dentro de las áreas naturales protegidas. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 287-301.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

derales, cuatro son reservas de la biosfera (Sierra La Laguna, El Vizcaíno, Complejo Lagunar Ojo de Liebre e Islas del Pacífico de la Península de Baja California); tres son parques nacionales (Bahía de Loreto, Cabo Pulmo y Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo); y tres son áreas de protección de flora y fauna (Islas del Golfo de California, Balandra y Cabo San Lucas); mientras que la de origen estatal es la Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo (Bajapress 2021).

Marco institucional

De las seis categorías de protección federal establecidas en la LGEEPA (SEDUE 1988), la que tiene mayor cantidad de áreas son los PN (67, equivalente a 37% del territorio destinado a la conservación a nivel nacional); le siguen las RB (44, 24%); las APFF (40, 22%); los S (18, 10%); las APRN (8, 4%); y los MN (5, 3%; figura 1). Estas categorías se encuentran sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, por lo que se restringe o limita el acceso y uso de flora, fauna y otros recursos, esto con la finalidad de poder asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos (SEMARNAT 2021).

En México, cada ANP debe contar y estar regulada por un programa de manejo, el cual es el instrumento rector de planeación y ordenación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para su manejo y administración (CONANP 2020a). De acuerdo con el registro nacional de áreas naturales protegidas, cada programa de manejo debe contener lo señalado por el artículo 66 de la LGEEPA, así como la especificación de densidades, intensidades, condicionantes y modalidades a que se sujetarán las obras y las actividades que se realicen en ellas, en línea con lo establecido en el decreto de creación del ANP de que se trate y demás disposiciones legales y reglamentarias aplicables (CONANP 2020a).

Asimismo, se deberá determinar la extensión y la delimitación de la zona de influencia del área protegida respectiva y de las subzonas señaladas en la declaratoria, así como promover que las actividades de los particulares se ajusten a los objetivos de dichas subzonas (CONANP 2020a). Los ejes que sustentan las decisiones y las acciones dentro de las ANP son: 1) caracterización y descripción del entorno biofísico y socioeconómico; 2) análisis de la tenencia de la tierra, diagnóstico y problemática del ANP; 3) planeación a partir de diagnósticos y participación social mediante los subprogramas de conservación directa e indirecta; 4) subzonificación para ordenar las zonas núcleo y de amortiguamiento, con base en las características biológicas, ecológicas y de uso del territorio, así como de los ordenamientos territoriales; 5) establecimiento de las reglas administrativas; y 6) la evaluación de la integración funcional del sistema (CONANP 2020a).

Si bien el número de ANP y la superficie protegida en el país muestra el avance de la conservación de los ecosistemas en el territorio nacional, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) advierte que la mayor proporción de las especies y los ecosistemas que integran la biodiversidad de México (cerca de 80%), existe en espacios territoriales sin protección alguna, es decir, fuera de las

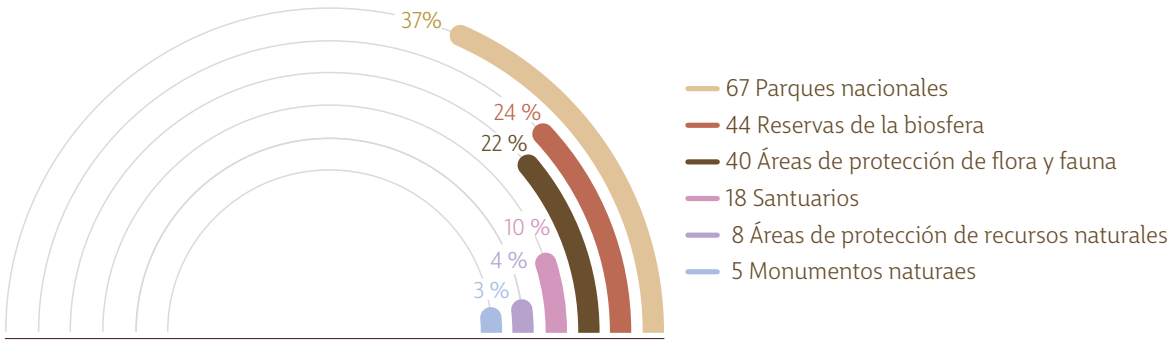


Figura 1. Distribución de los tipos de áreas naturales protegidas decretadas en México. Fuente: elaboración propia con datos de CONANP 2020a.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

ANP, donde se experimentan modalidades o formas de manejo más o menos destructivas, y en algunos casos hasta de abandono (CONABIO 2016). Lagunas-Vázques y colaboradores (2016), indican que hasta abril de 2016 cerca de 3.9% de la población mexicana vivía en un ANP, es decir 4 689 557 habitantes; de los cuales 270 476 personas (5.7%) era población indígena.

Durante mucho tiempo los servicios ecosistémicos se consideraron inagotables y se disfrutaban sin conciencia alguna de su cuidado y conservación. Sin embargo, los nuevos paradigmas señalan que, si la naturaleza está bien conservada, mayor capacidad tendrá de generar beneficios, y que esa panacea no es solo un legado ancestral, sino un préstamo de las futuras generaciones a las cuales se debe entregar en las mejores condiciones posibles. Las ANP son espacios idóneos para alcanzar ese objetivo (CONABIO 2016).

Las ANP en la entidad

En el estado se cuenta con una zona geográfica la cual está delimitada por aguas con una riqueza y singularidad en especies. Asimismo, se caracteriza por tener terrenos semidesérticos, áreas áridas y secas que le dan esa condición de atmosfera desolada que cautiva y encanta. Esta misma atmósfera propicia que se cuente con varias ANP tanto en tierra como en litorales e islas (Bajapress 2021).

De las 17 entidades que cuentan con costas, Baja California Sur tiene el primer lugar en extensión de litorales, con un total de 2 131 km, (19.2% del total de las costas de todo el país). Además, cuenta con 15 islas y 10 ANP (figura 2; Bajapress 2021), lo cual representa 5.49% del total de superficie protegida del país. El estado alberga el ANP más grande de Latinoamérica, la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, que cubre una extensión de 2.5 millones de hectáreas (Bajapress 2021).

Reservas de la biosfera (RB)

Son áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habitan especies representativas de la biodiversidad nacional, incluidas las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

En general, en las RB se permiten diferentes actividades para las zonas núcleo y de amortiguamiento. Para las reservas ubicadas en la entidad los aprovechamientos no extractivos de vida silvestre deberán de ser de bajo impacto; y están prohibidas las siguientes actividades: a) verter o descargar cualquier tipo de contaminantes en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso o acuífero, así como desarrollar cualquier actividad contaminante; c) interrumpir, rellenar, desecar o desviar los flujos hidráulicos; d) realizar actividades cinegéticas o de explotación y aprovechamiento de especies de flora y fauna silvestres y extracción de tierra de monte y su cubierta vegetal; e) introducir ejemplares o poblaciones exóticos de la vida silvestre, así como organismos genéticamente modificados; y f) ejecutar acciones que puedan contravenir lo dispuesto en la ley, la declaratoria respectiva y las demás disposiciones que de ellas se deriven (SEDUE 1988).

En las zonas núcleo terrestres, solo se puede autorizar la ejecución de actividades de preservación de los ecosistemas y sus elementos, así como educación ambiental; mientras que se prohíbe realizar aprovechamiento de los recursos naturales que alteren los ecosistemas. En las zonas núcleo de las reservas marinas se limita el tráfico de embarcaciones de conformidad con el programa de manejo respectivo.

Por su parte, en las zonas de amortiguamiento solo se pueden realizar actividades productivas emprendidas por las comunidades que ahí habitan al momento de la expedición de la declaratoria respectiva o con su participación, que sean estrictamente compatibles con los objetivos, criterios y programas de aprovechamiento sustentable, en los términos del decreto respectivo y del programa de manejo que se formule y expida, siempre y cuando se consideren las previsiones incluidas en los programas de ordenamiento ecológico aplicables (SEDUE 1988). En la entidad hay cuatro reservas de la biosfera: Sierra La Laguna, El Vizcaíno, Complejo Lagunar Ojo de Liebre, e Islas del Pacífico de la Península de Baja California (apéndice 53).

Sierra La Laguna

Esta ANP se decretó el 6 de junio de 1994, y en 2003 se incorporó dentro de la Red Mundial de Reservas de Biosfera del Programa sobre el Hombre y la Biosfera

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

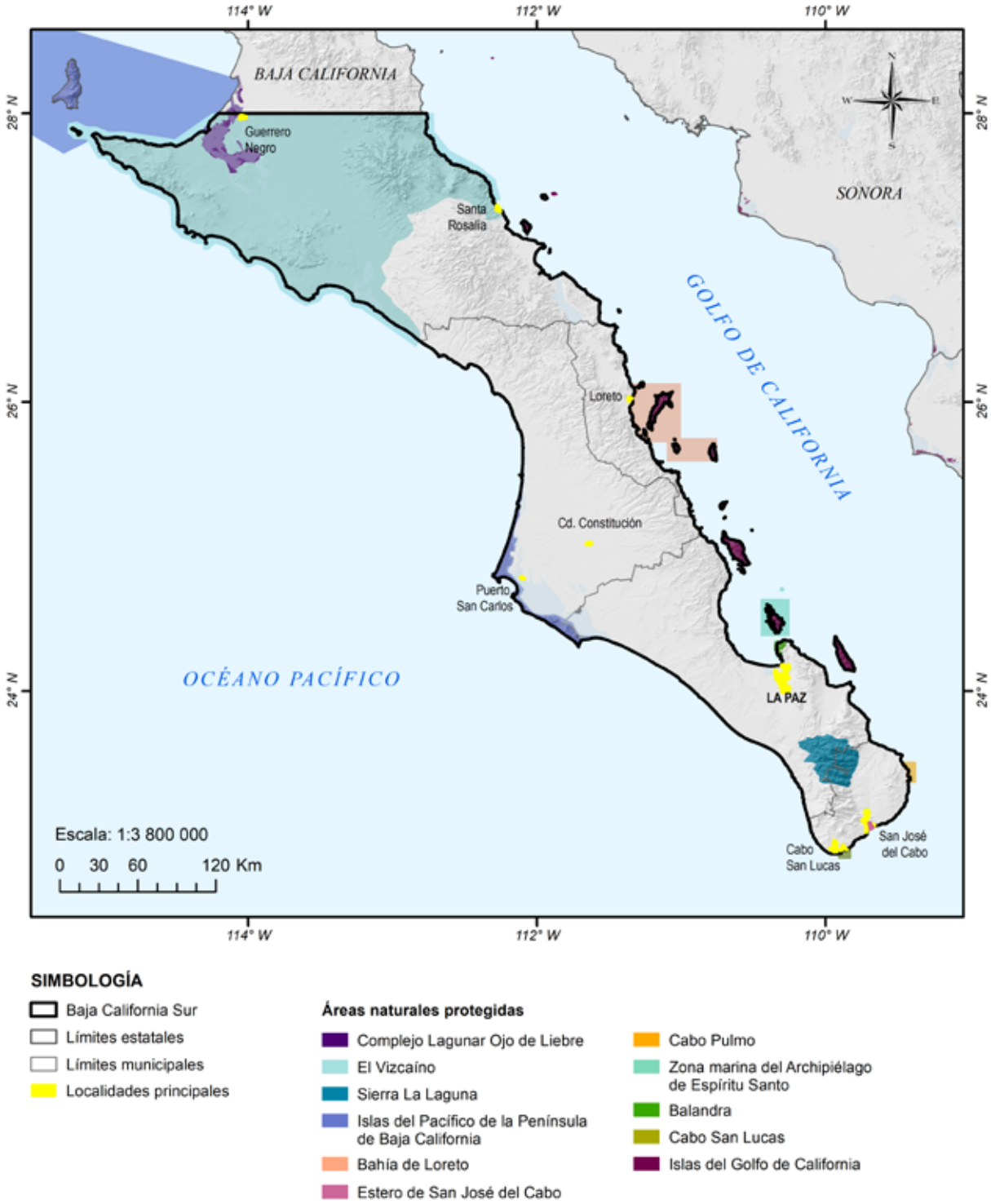


Figura 2. Áreas naturales protegidas en Baja California Sur. Nota: el 15 de agosto de 2023 se establecieron dos nuevos parques nacionales en el estado: Nopoló (2 076 ha) y Loreto II (6 217 ha), mismos que no se incluyen en el análisis de la presente contribución debido a su relativa reciente creación. Fuente: elaboración propia con datos de CONANP 2022.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

(MAB por sus siglas en inglés), perteneciente a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO 2013). Se localiza en el extremo sur de la Península de Baja California, entre los 23º 42' y 23º 20' N y los 109º 46' y 110º 11' O, en una extensión de aproximadamente 48 km de largo y un promedio de 20 km de ancho, ocupa la zona media y alta de la sierra; con un gradiente altitudinal comprendido entre 300 y 2 080 msnm. Presenta una superficie de 112 437 ha (apéndice 53), de la cuales 32 520 ha corresponden a zona núcleo y el resto es de dos zonas de amortiguamiento (79 317 y 600; Olmos Martínez 2009).

A lo largo del gradiente altitudinal se encuentran diversas comunidades vegetales; en las partes bajas, sobre las mesas y colinas, con un clima árido y cálido se desarrolla el matorral xerófilo. Las regiones medias presentan una vegetación del trópico-seco, que se caracteriza por ser exuberante e impenetrable durante la época de lluvias, así como desprovista de hojas durante la larga temporada de sequía (Arnaud *et al*. 2012, Ortega-Rubio *et al*. 2015). En las zonas más altas y con un clima templado se encuentran los bosques de encino y encino-pino. A lo largo de los arroyos y en las numerosas pozas que se localizan en los cañones de esta serranía, se establece una vegetación riparia con densos palmares, escasos huérivos o álamos, y mezquitales, en las zonas bajas (Arnaud *et al*. 2012, Ortega-Rubio *et al*. 2015).

Respecto a su fauna, esta zona se considera que contiene la mayor diversidad y riqueza de endemismos de la península (p.e. se registra más de 70% de todas las especies de mamíferos del estado; Arnaud *et al*. 2012, Ortega-Rubio *et al*. 2015). Asimismo, dentro de los límites de la reserva se asientan 127 rancherías con alrededor de 600 habitantes, cuya principal actividad económica es la ganadería extensiva de bovinos, práctica ligada a la cultura ranchera, piedra angular de la identidad regional (Castorena y Breceda 2008, Breceda y Vázquez 2013). Asociadas a las rancherías se encuentran pequeñas huertas frutales de autoconsumo. Por parte de las autoridades ambientales recientemente, se promueven programas para impulsar actividades relacionadas con el turismo rural y de naturaleza (Rubio y Fierro-Bandala *et al*. 2013, Ortega-Rubio *et al*. 2015). Las principales razones para la protección de la Sierra La Laguna son:

- Zona importante de captación de agua pluvial, que provee de este valioso recurso a las principales poblaciones del sur del estado (Guertin *et al*. 1988, Troyo-Diéguez *et al*. 2012).
- Representa la región de mayor diversidad y endemismo de la entidad, debido a que su compleja historia geológica, aislamiento geográfico y condiciones climáticas particulares, han permitido la evolución de especies únicas, y han propiciado su papel como refugio de ecosistemas y especies que en el pasado tenían una distribución geográfica más amplia, como lo son la selva baja caducifolia y el bosque de pino-encino (Ortega-Rubio *et al*. 2015).
- Se calcula que la zona aloja: 15% de endemismo en especies vegetales de los bosques de pino-encino y encino de la Región del Cabo (León de la Luz *et al*. 1999); 8% de especies vegetales de la selva baja caducifolia (León de la Luz y Breceda 2006, León de la Luz *et al*. 2012); y 23% (9 especies) del total de repites de la Región del Cabo (Blázquez *et al*. 2012, Ortega-Rubio *et al*. 2015).
- Presenta un gran valor cultural, debido a que en sus cañadas se encuentran diversos vestigios de las culturas cazadoras-recolectoras del sur del estado (Reygadas-Dahl y Rabanal-Mora 2013). Las actividades productivas de las rancherías han transformado la naturaleza de esta serranía y construido un paisaje particular de gran interés cultural e identificativo de la región. Además, como zona de campismo y de turismo local es uno de los sitios preferidos por la juventud sudcaliforniana, que año con año visita la zona más alta, por lo que se ha convertido en una tradición local (Ortega-Rubio *et al*. 2015).

Actualmente, la zona enfrenta el peligro latente de la minería a cielo abierto, específicamente en el caso del oro, debido a que es el objetivo de diversas empresas obtener una concesión para su explotación en la zona de influencia de reserva. Este es un gran problema a nivel nacional, donde en la última década la cantidad de este valioso mineral en México es igual que durante los 300 años de coloniaje español; con la diferencia de que las modernas empresas mineras únicamente pagan de impuesto anual 5 dólares por hectárea explotada por año, en tanto que los da-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

ños y repercusiones ambientales son incalculables y quedan como pasivos ambientales por generaciones (Romero-Schmidt y Ortega-Rubio 2012, Ortega-Rubio *et al*. 2015).

El Vizcaíno

Se decretó como RB el 30 de noviembre de 1988 (SEMARNAP 2000a), y en 1993 la UNESCO declaró Patrimonio de la Humanidad a: las Pinturas Rupestres de la Sierra de San Francisco y como Refugio de Ballenas en las lagunas del Vizcaíno a las lagunas Ojo de Liebre y San Ignacio, por su valor excepcional y universal como sitios cultural y natural, respectivamente, que deben ser protegidos por la humanidad (SEMARNAP 2000a). Esto último la hace única en México, debido a que tiene dos de los 16 sitios bajo dicha categoría. Asimismo, es el ANP más extensa del país –y Latinoamérica–, tan solo ella representa 11% de la superficie total de área bajo protección en territorio nacional (Martínez 2018).

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca[2] (SEMARNAP 2000a), la reserva tiene una superficie de 2 546 790 ha (apéndice 53), que equivale a 76.96% de la superficie del municipio de Mulegé (3 309 220 ha). La zona núcleo abarca una superficie de 363 439 ha y la de amortiguamiento 183 351 ha (SEMARNAP 2000a). Asimismo, incluye 5 km de franja costera de mar territorial de ambas costas con el fin de incluir la ruta migratoria de la ballena gris, las islas y los diferentes recursos pesqueros existentes (SEMARNAP 2000a). Cuenta con 450 km de litoral, de los cuales aproximadamente 200 km, corresponden a la costa del golfo de California que presenta características subtropicales (SEMARNAP 2000a). La superficie de los patrimonios de la humanidad Pinturas Rupestres de la Sierra de San Francisco es de 182 600 ha; mientras que la del Refugio de Ballenas en las Lagunas del Vizcaíno es de 369 631 ha (UNESCO 2016).

Esta reserva tiene un excelente estado de conservación de sus ecosistemas, y los valores culturales tienen un alto atractivo turístico (observación de ballena gris, berrendo peninsular, borrego cimarrón, aves acuáticas, senderismo, paseo en dunas, entre otros) pero también educativo para las comunidades locales (se desarrollan pláticas, talleres infantiles, campamentos ecológicos y festivales). Dentro de las actividades para conservar adecuadamente la zona, permitir mejoras en la economía local, y evitar así la migración a centros urbanos, se llevan a cabo reuniones de trabajo con pescadores, ejidatarios, autoridades locales y población en general, para implementar alternativas productivas sustentables como las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) y solucionar problemas de contaminación, presencia de fauna exótica en islas, cacería y pesca ilegal (SEMARNAT 2018a).

Esta ANP se encuentra en un área que se ve afectada principalmente por dos sistemas climáticos diferentes. En la parte norte, el clima templado lo determina el sistema de alta presión semipermanente del Pacífico nororiental, que produce lluvias en los meses invernales; y en el sur, existe la influencia de la celda de alta presión de las Bermudas Azores. Asimismo, de manera indirecta, le afectan los sistemas nubosos conectivos de grandes desarrollos verticales, que producen lluvias de considerable volumen en toda la región noroeste del país, principalmente durante los meses de verano y que pueden llegar a convertirse en perturbaciones atmosféricas (SEMARNAP 2000a). De igual forma, la influencia marítima se hace sentir en la zona, debido a que la corriente oceánica fría de California condiciona las características templadas en el margen occidental del área. Por el otro lado, en el golfo de California influye de manera diferente sobre la costa oriental de la reserva (SEMARNAP 2000a). En general, el clima es muy seco, es decir que la precipitación es escasa durante todo el año. Por ello, esta ANP se puede subdividir en cuatro subregiones climáticas, todas comprendidas dentro del grupo BW que agrupa a las zonas más secas o áridas (SEMARNAP 2000a).

La diversidad de los ambientes en el área propicia el desarrollo de una vida silvestre muy rica en formas y en adaptaciones a esta región árida, típica del Desierto Sonorense, uno de los cuatro desiertos de Norteamérica. En la porción terrestre de la reserva se registran 463 especies de flora, agrupadas en 256 géneros y 83 familias; casi la tercera parte de las especies son arbustivas, y la mitad la conforman herbáceas (anuales y perennes; SEMARNAP 2000a). En esta región

2 Actualmente Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

se concentra la mayor cantidad de asociaciones vegetales de toda la península. Aproximadamente, 8.3% (37 especies) de la flora se reconoce como endémica de la región geográfica del desierto de El Vizcaíno (SEMARNAP 2000a).

Esta ANP incluye tres subdivisiones del Desierto Sonorense: 1) la subprovincia Desierto de Vizcaíno, que es la mejor representada (95% del área de la reserva); 2) la subprovincia Costa del Golfo, que ocupa una estrecha franja en los márgenes orientales de las serranías del este; y 3) la Región Magdalena, apenas representada por una pequeña superficie al suroeste (SEMARNAP 2000a).

En el área hay especies vegetales con afinidad a otras regiones áridas del suroeste de los Estados Unidos de América (desiertos de la Gran Cuenca y del Mojave; SEMARNAP 2000a). Entre los géneros compartidos se pueden citar: *Astragalus*, *Phacelia*, *Lotus* y *Cryptantha*, y en menor grado *Atriplex*, *Ephedra*, *Fagonia*, *Errazurizia*, *Sphaeralcea*, *Chaenactis*, *Frankenia*, *Haplopappus*, *Chorizanthe* y *Eschscholzia* (SEMARNAP 2000a). La flora de la superficie montañosa contiene algunas especies que se encuentran distribuidas en las montañas del sur de California: *Xiloccocus* spp., *Rhus* spp., *Prunus* spp., *Plantago* spp., *Penstemon* spp. y *Salvia* spp. (SEMARNAP 2000a). La flora del desierto de El Vizcaíno y la del resto de las subdivisiones del Desierto Sonorense, se comparten especies que son halotolerantes, ubicuistas o de amplia distribución principalmente subtropicales (SEMARNAP 2000a). Las especies amenazadas son: la palma de abanico (*Erythea armata*, *Washingtonia filifera*, *W. robusta*) y el dátil (*Yucca valida*; SEMARNAP 2000a).

En la reserva se encuentran diversas variantes del matorral xerófilo, a lo que se suman diferentes asociaciones vegetales. Existen varias especies que presentan su límite austral en esta zona y pertenecen a los géneros *Xiloccocus*, *Rhamnus* y *Erigonum*, entre otros (SEMARNAP 2000a). Por las particulares condiciones climáticas y las características de la vegetación, se considera que esta zona es transicional entre los desiertos del suroeste de los Estados Unidos de América y los desiertos subtropicales de México (SEMARNAP 2000a).

En términos de fauna, esta ANP es importante por su extensa superficie y localización en la parte media de la península. Su extensión territorial permite la presencia de una gran variedad de ambientes, que van desde el medio marino y costero, hasta las serranías y las grandes planicies desérticas. La reserva está incluida dentro del distrito faunístico del Desierto de El Vizcaíno, Desierto Peninsular, Desierto de Vizcaíno Sur y San Lucas Norte (SEMARNAP 2000a).

La fauna de vertebrados es una mezcla de las distribuidas en la región del Cabo y del norte del macizo continental, las cuales invadieron la península a través del golfo de California (SEMARNAP 2000a). La subregión faunística del Vizcaíno Sur se encuentra aislada del resto de la península por factores ambientales, principalmente por el clima, y se considera uno de los desiertos más áridos de Norteamérica (SEMARNAP 2000a). Debido a su posición geográfica, el desierto de El Vizcaíno presenta un importante centro de diferenciación biológica y aunque existen pocas especies endémicas, su relevancia se manifiesta por el gran número de endemismos a nivel de subespecies, principalmente de mamíferos y reptiles (SEMARNAP 2000a).

Se estima que en la reserva habitan 308 especies de vertebrados terrestres y marinos (sin incluir a los peces) de las cuales 4 son anfibios, 43 reptiles, 192 aves y 69 mamíferos (SEMARNAP 2000a). Algunas especies endémicas de vertebrados son la ardilla de piedra (*Spermophilus atricapillus*) y la rata canguro (*Dipodomys peninsularis*; SEMARNAP 2000a). Dentro de las especies dominantes de la ictiofauna, se encuentran: ángel de cortés (*Pomacantus zonipectus*), ángel real (*Holocanthus passer*), muñecas (*Chaetodon humeralis*, *Heniochus nigrirostris*), y varias especies de lábridos conocidos como viejas (SEMARNAP 2000a). Como depredadores destacan por su abundancia tres especies de cabrillas (*Myteroperca rosacea*, *M. jordani* y *Epinephelus labriformis*), las cuales son de importancia económica por el alto precio que alcanzan.

Otros depredadores acuáticos abundantes son las morenas: morena verde (*Gymnothorax castaneus*) y morena pinta (*Muraena lentiginosa*), además del cochito (*Balistes polilepis*; SEMARNAP 2000a). En la zona se presentan agrupaciones numerosas de rayadillo (*Microlepidos inornatus*) y mojarra almejera (*Haemulon sexfasciatus*). Como herbívoros comunes se encuentran el perico (*Scarus perico*) y el cochinito (*Prionurus puntatus*; SEMARNAP 2000a).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Complejo Lagunar Ojo de Liebre

Esta RB abarca una superficie de 79 329 ha (apéndice 53) y se ubica en la Península de Baja California y Pacífico Norte, dentro de la RB El Vizcaíno (figura 2). Cuenta con aguas que ofrecen las condiciones idóneas de batimetría, temperatura y salinidad a la ballena gris (*Eschrichtius robustus*). Esta especie arriba cada año para su apareamiento, nacimiento y crianza de ballenatos (SEMARNAT 2019).

El 14 de enero de 1972 por decreto presidencial se declaró Zona de Refugio para Ballenas y Ballenatos las aguas del área de la Laguna Ojo de Liebre-Guerrero Negro, al sur de la bahía de Sebastián Vizcaíno, en el Litoral del Océano Pacífico, en Baja California Sur (SEMARNAT 2019). Este mamífero marino se encuentra en la categoría de sujeta a protección especial (Pr) dentro de la NOM-059 (SEMARNAT 2010). A pesar de ello, a febrero de 2015 la población del cetáceo contabilizó 2 305 ejemplares; sin embargo, de acuerdo con el censo de la ballena gris que se realiza desde hace 21 años en las lagunas Ojo de Liebre y Guerrero Negro, donde el crecimiento en el número de crías y adultos ha sido notable, colocó al cetáceo fuera de peligro extinción (SEMARNAT 2019).

Al ser un área protegida marina prácticamente en su totalidad, en este complejo lagunar no existen localidades ni población humana. Sin embargo, se desarrollan actividades como la pesca y de turismo de bajo impacto ambiental, las cuales se orientan a la sustentabilidad para evitar que interfieran o impacten de manera negativa el hábitat de *E. robustus* (SEMARNAT 2019). En la RB Complejo Lagunar Ojo de Liebre, año con año acuden visitantes al avistamiento de la ballena gris. En el área de campismo también se practica el kayakismo y la observación de flora y fauna, así como viajes con motivos científicos o de recreación, filmación y cruceros para observación de flora y fauna.

Además de la ballena gris, en la RB habitan 130 especies de aves, 79 de las cuales son de ambientes acuáticos naturales y antrópicos. También es hábitat para otras especies con alguna categoría considerada de riesgo de acuerdo con la NOM-059, como los pelícanos café, pardo, moreno y gris, y el ganso de collar, entre las especies con categoría de amenazadas; y el halcón peregrino, el cual está sujeto a protección especial (SEMARNAT 2019). Asimismo, esta ANP es zona relevante para la pesca comercial, por las especies que ahí se capturan como la langosta roja, callo de hacha, almeja chocolate, almeja mano de león, almeja catarina, pulpo, pata de mula y caracol panocha, entre otras (SEMARNAT 2019).

Islas del Pacífico de la Península de Baja California

Por decreto presidencial se declaró esta área el 7 de diciembre de 2016, se ubica frente a la costa occidental de los estados de Baja California y Baja California Sur (figura 2). Tiene una superficie total de 1 161 222.98ha, la porción terrestre y/o aguas continentales (lagunas costeras, esteros, lagos de agua dulce, ríos y otros cuerpos de agua) abarca 70 139.62 ha; mientras que la parte marina es de 1 091 083.35 ha (SIMEC 2020d). La reserva cuenta con una población total estimada de 1 339 habitantes, 20 designaciones internacionales (apéndice 53). Los tipos de vegetación existentes en la región son de tipo matorral xerófilo, mezquital, selva caducifolia, selva espinosa, vegetación de dunas costeras, vegetación hidrófila y manglar (apéndice 53; SIMEC 2020d).

Parques Nacionales (PN)

De acuerdo con la LGEEPA (SEDUE 1988), los PN se constituyen por ser zonas con uno o más ecosistemas de belleza escénica, valor científico, educativo, de recreo e histórico, por la existencia de flora y fauna, así como de su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones análogas de interés general. Gozan de la protección más alta, debido a que sólo se permiten aquellas actividades relacionadas con la preservación de los ecosistemas y de sus elementos, así como con la investigación, recreación, turismo y educación ecológicos (SEMARNAT 2020). En el estado los parques nacionales suman un total de 262 346.59 ha: Parque Nacional Bahía de Loreto; Parque Nacional Cabo Pulmo y Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo (apéndice 54; SIMEC 2020a, b, c).

En estas áreas se permiten y, en su caso, se restringen o prohíben las actividades o aprovechamientos. Las autorizaciones, concesiones o permisos para el aprovechamiento de los recursos naturales en estas áreas, así como el tránsito de embarcaciones en la zona o la construcción o utilización de infraestructura dentro de la misma, están sujetas a lo dispuesto en los programas de manejo y las declaratorias corres-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

pondientes. Asimismo, se prohíbe la introducción de especies exóticas invasoras.

Bahía de Loreto

El día 19 de julio de 1996 de decretó esta ANP, la cual se ubica en el municipio de Loreto (figura 2), con una superficie total de 206 580 ha. La parte terrestre y/o aguas continentales es de 21 692.08 ha (incluye lagunas costeras, esteros, lagos de agua dulce, ríos y otros cuerpos de agua continental); mientras que porción marina tiene 184 888.67 ha. El PN cuenta con una población total estimada de cuatro habitantes (apéndice 54; SIMEC 2020a).

La región presenta una variedad de ambientes costeros marinos con fondos rocosos, arenosos, playas, cañadas, cañones submarinos y terrazas marinas con una variedad de endemismos de especies terrestres que constituyen reservas de germoplasma; es un área de gran diversidad y productividad natural. Esta ANP incluye una de las diversidades biológicas más elevadas del país, pues están registradas más de 300 especies de peces, 1 500 de invertebrados marinos, 250 de algas y más de 30 de mamíferos marinos (Urciaga 2013).

Entre los servicios ecosistémicos que provee se destacan los recreativos y culturales, tales como kayaquismo, veleo y esnorqueleo. Además, se permite la investigación científica y el monitoreo de especies de considerable importancia, como las tortugas perica (*Caretta caretta*), prieta (*Chelonia agassizi*), verde (*Chelonia mydas*), laúd (*Dermochelys coriacea*), carey (*Eretmochelys imbricata*) y golfina (*Lepidochelys olivacea*), las cuales se encuentran en veda permanente y están en la categoría en peligro de extinción de la NOM-059 (CONANP 2000b, SEMARNAT 2010).

En esta ANP, también se pueden observar ballenas (azul, gris, jorobada y orca); se permite la pesca deportiva de picudos (marlín azul y rayado, pez vela y dorado); y, por su gran biodiversidad acuática, una de las principales atracciones para visitar el parque es el buceo (libre y con equipo autónomo). Asimismo, resalta por la provisión de hábitat y soporte ecológico, que permite la presencia de alrededor de 30 especies de mamíferos marinos, equivalente a 75% de las que se presentan en las costas de nacionales, y de las cuales 9 están en la categoría sujeta a protección especial y una amenazada, de acuerdo con la NOM-059 (CONANP 2000b, SEMARNAT 2010).

Cabo Pulmo

Esta ANP es el área arrecifal única en el golfo de California y es la más septentrional del Pacífico oriental (figura 2); cubre un área de 7 111 ha, presenta la cobertura coralina más extensa en el golfo de California, y en él habitan 11 de las 14 especies de corales hermatípicos[3] registrados para el golfo (apéndice 54; Reyes-Bonilla 1993). En el caso de la comunidad ictiológica, se reportan aproximadamente 236 especies arrecifales (Villarreal-Cavazos *et al*. 2000), de las 875 especies registradas en el golfo de California (Urciaga 2013). Algunas de ellas son los conos (*Conus brunneus* y *C. princeps*), el caracol alacrán (*Murex elenensis*), el caracol chino (*Muricanthus princeps*), el caracol (*Thais kiosquiformis*) y la madre perla (*Pinctada mazatlanica*). Este grupo de organismos son de importancia comercial; algunos, como piezas de colección, llegan a cotizarse en muy altos precios y otras especies son valiosas por los subproductos que se pueden llegar a obtener de ellas. Algunas especies como la madre perla están en la categoría en peligro de extinción (Urciaga 2013).

Los servicios ecosistémicos que genera el PN son principalmente de abastecimiento, soporte ecológico y culturales, puesto que propician el hábitat ideal para las especies que ahí se distribuyen. Esto permite que se desarrollen actividades turísticas como la pesca deportiva y la centrada en la pesca con anzuelo de peces migratorios en la parte este del arrecife, así como de algunos peces pelágicos mayores como: marlín (*Makaira indica*, *M. mazara* y *Tetrapturus audax*), pez espada (*Xiphias gladius*) y pez vela (*Histiophorus tetrapturus*). Además de los servicios culturales, el PN permite realizar actividades educativas y recreativas, debido a su estado de conservación; entre dichas actividades se encuentran el buceo y el snorkeleo (Urciaga 2013).

3 Son aquellos corales que contribuyen significativamente a la construcción de los arrecifes, mediante la aportación de carbonato cálcico proveniente de sus esqueletos.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo

"La zona marina que rodea al Archipiélago de Espíritu Santo, ubicada frente a la bahía de La Paz, representa el cuerpo de agua más grande dentro de la fisiografía del golfo de California, situación que le confiere condiciones oceanográficas particulares para la concentración específica de pigmentos fotosintéticos que la diferencian del resto del golfo de California, además de albergar a una gran biodiversidad de peces, mamíferos, aves marinas e invertebrados, así como una gran heterogeneidad de hábitats, como son los manglares, fondos arenosos, arrecifes rocosos, esteros, playas, bahías y mantos de rodolitos, entre otros, de alta integridad ecológica" (SEMARNAT 2007:1).

El PN rodea al complejo insular de la isla Espíritu Santo (figura 2, apéndice 54), el cual está protegido en la categoría de área de protección de flora y fauna, después de que en 2007, por decreto presidencial la zona marina cambió de categoría a parque (SEMARNAT 2007:1). Entre los servicios ecosistémicos generados en el parque se incluyen:

- Alta biodiversidad. Presenta un número significativo de especies terrestres y marinas, incluidas algunas endémicas, amenazadas y en peligro de extinción, así como otras de valor comercial, cultural o recreativo.
- Proporciona recursos genéticos. Son fuentes de material biológico y productos únicos.
- Zonas de refugio. Los manglares sirven de protección y hábitat de especies residentes y migratorias, y poseen sitios de crianza, anidación y alimentación de diversas especies de aves y especies marinas, incluidas varias de interés comercial (peces, crustáceos, moluscos, equinodermos), y sirven de amortiguamiento de daños por tormentas, fijación de nitrógeno y captura de carbono y como estabilizadores de costas y controladores de la erosión (Urciaga 2013).
- Turismo. Es una excelente zona de avistamiento de fauna (lobos marinos, defines, mantarayas, orcas, y otras especies) y en particular el nado cerca de la lobera. En esta zona la investigación por institutos o centros académicos (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Universidad Autónoma de Baja California Sur), se dedica a los grupos de delfines, mantarrayas y tiburones martillos (*Sphyrna lewini*).

Áreas de protección de la flora y fauna (APFF)

De acuerdo con la LGEEPA (SEDUE 1988), son los lugares que contienen los hábitats de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres. México cuenta con 40 áreas bajo esta categoría de protección que abarca una superficie total de 6 996 864 ha y representa la tercera en superficie después de parques nacionales y reservas de la biosfera (SEMARNAT 2018c). En la entidad hay tres: APFF Islas del Golfo de California, APFF Balandra y APFF Cabo San Lucas (figura 2, apéndice 55).

En éstas se permiten actividades relacionadas con la preservación, repoblación, propagación, aclimatación, refugio, investigación y aprovechamiento sustentable de las especies, así como las relativas a educación y difusión en la materia (SEMARNAT 2018b). Asimismo, las comunidades que ahí viven pueden aprovechar los recursos naturales de acuerdo con las normas oficiales mexicanas y usos del suelo que estén establecidos en la declaratoria del ANP (SEMARNAT 2018b). Finalmente, en ellas se autoriza el aprovechamiento de recursos naturales a los habitantes establecidos en fecha anterior a la declaratoria de preservación (SEDUE 1988).

Islas del Golfo de California

En 1978 se declararon Zona de Reserva y Refugio de Aves Migratorias y de la Fauna Silvestre, y en 2000 se recategorizaron a Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California (SEMARNAP 2000b). Tiene una superficie total de 374 553.63 ha, que abarca los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa (municipios de: Ensenada, Mexicali, La Paz, Loreto, Mulegé, Huatabampo, Etchojoa, Benito Juárez, Cajeme, San Ignacio Río Muerto, Guaymas, Hermosillo, Pitiquito, Puerto Peñasco, Caborca, Rosario, Mazatlán, Elota y Culiacán), con una población total estimada de 3 214 habitantes (apéndice 55; SIMEC 2020d). Esta ANP la conforman aproximadamente 900 islas e islotes, en las cuales se presenta un clima seco árido o desértico, vinculado a la corriente fría del Pacífico que evita la condensación de la humedad. Se estima una precipitación media anual no superior a 150 mm (Ortega-Rubio *et al.* 2015).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

En el caso de esta ANP, por abarcar todo el golfo de California, las islas no presentan un patrón común de clima, aunque todas comparten, altas temperaturas y alto grado de aridez. En las islas del norte, las escasas precipitaciones son más abundantes durante otoño e invierno; en cambio, hacia el sur las islas son más áridas, tienen menor precipitación y ésta, los años que se presenta, es incidentalmente en forma de huracanes a finales de verano (Cody *et al.* 1983). La flora presente en las islas es del tipo desértico, similar a la que predomina en la Península de Baja California, pero con un alto grado de endemismos (Cody *et al.* 1983).

Las islas del golfo de California se les reconoce como ecosistemas poco perturbados, y de acuerdo con CONANP (2000a) los atributos que determinan su importancia son:

- Alto número de endemismos en varios grupos taxonómicos, entre los que destacan cactáceas, reptiles y mamíferos (alrededor de 60 especies terrestres son endémicas a una o a un grupo de islas). Sobresalen los reptiles con 48 especies endémicas, de las 115 reportadas (CONANP 2000).
- Colonias reproductoras de aves marinas, de las cuales 17 especies anidan en las islas (11 migratorias y 6 residentes del golfo). Entre las más sobresalientes se encuentran el gallito de mar elegante (*Sterna elegans*) y la gaviota de Hermann (*Larus heermanni*) en isla Raza, donde anida 95% de su población mundial; el pelicano pardo (*Pelecanus occientalis*) en isla San Lorenzo, donde se encuentra la mayor colonia de reproducción del mundo; y el bobo café (*Sula leucogaster*) en la isla San Pedro Mártir.
- Numerosas colonias reproductoras de lobo marino (*Zalophus californianus*).
- Amplia disponibilidad de sitios de descanso para aves migratorias.
- Presencia de ecosistemas representativos y en buen estado de conservación ecológica.
- Alto grado de vulnerabilidad a los impactos ocasionados por las actividades humanas, como la extracción de flora y fauna silvestres, especialmente cactáceas y reptiles (p.e. las víboras de cascabel), los disturbios a las colonias de aves y lobos marinos, la modificación del hábitat, la introducción de fauna exótica y la basura.
- Cuantiosa presencia de especies incluidas en la NOM-059 (SEMARNAT 2010), bajo las categorías de en peligro de extinción, amenazadas y sujetas a protección especial, 25 de las cuales son reptiles y 30 son mamíferos (Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio 2003).
- Gran belleza paisajística que se traduce en una alta demanda turística (Ortega-Rubio *et al.* 2015).

Pocas islas como las de Espíritu Santo, San José, El Pardito, San Marcos y Tiburón cuentan con asentamientos humanos permanentes por la falta de agua dulce, aunque la mayoría se usan de forma casi permanente como campamentos pesqueros o de investigación. La mayor parte de las islas presentan un hábitat poco alterado, lo cual les confiere el potencial para ser sitios donde los procesos ecológicos pueden llevarse a cabo; no obstante, existen amenazas reales y potenciales que ponen en riesgo la biodiversidad, como el saqueo ilegal de especies, sobre todo de reptiles y plantas endémicas, así como la introducción de especies exóticas, como el gato doméstico (*Felis catus*), la rata (*Rattus rattus*) y la cabra (*Capra* spp.). Con la información sobre la historia natural de especies relevantes, es posible llevar a cabo una mayor protección sobre los recursos naturales y hacer efectiva la conservación de esta ANP (Ortega-Rubio *et al.* 2015).

El archipiélago Espíritu Santo pertenece a esta APFF, aun cuando en 2007 la zona marina se recategorizó como PN (SEMARNAT 2007). Dicho archipiélago se ubica en el municipio de La Paz, en el extremo este de la bahía de La Paz (figura 2), a 27 km al norte de la ciudad; cubre una superficie de 448.67 ha; y lo conforman dos islas mayores: La Partida de 18.13 km^2, al norte, y Espíritu Santo de 83.08 km^2, la mayor y que da nombre al conjunto. Estas islas se alinean prácticamente en un eje norte-sur de casi 20 km de longitud, y anchura máxima de 8 km en la porción central de la isla Espíritu Santo (Cantú *et al.* 1998, Urciaga 2013).

Balandra

Cuenta con 2 513 ha totales y se localiza en el municipio de La Paz (figura 2), y contiene un humedal costero rodeado de desierto sarcocaule perteneciente al Desierto Sonorense (Calderón *et al.* 2008). Balandra se designó como sitio Ramsar el 2 de febrero de 2008, y bajo este esquema cubre una superficie de 449 ha. Además, alberga el manglar más grande dentro de la bahía de La Paz, la cual tiene 52.5 ha de superficie y

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

un cuerpo lagunar de 30 ha, con una comunidad de manglar de 22 ha. En el manglar de Balandra se desarrollan especies de flora y fauna tanto terrestres como marinas (apéndice 55; Calderón *et al*. 2008).

Entre los servicios ecosistémicos que genera esta ANP, destaca su papel relevante en: 1) mantenimiento del equilibrio en los ecosistemas; 2) parte importante de la red trófica, de la que es parte el ser humano; 3) control biológico de poblaciones como insectos y roedores, entre otros; y 5) favorecer la polinización de las plantas, posibilitar una importante labor de reforestación, y ser un recurso trascendente para el ecoturismo (Balvanera *et al*. 2009).

Los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación y soporte ecológico que proporciona, facilitan que en este manglar se desarrollen especies de flora y fauna tanto terrestres como marinas. Entre éstas se incluyen algunas endémicas, así como protegidas y varias de importancia ecológica, económica y sociocultural en el país (Balvanera *et al*. 2009). Dichos servicios ecosistémicos son fuente para la existencia de diversidad biológica, ecosistemas y hábitat lo que proporciona un elevado valor paisajístico, turístico-recreativo, económico y social, que convierte al ANP en un ícono para la región donde es identificado como *El Hongo*, y ha acentuado un litoral emblemático para los pobladores de La Paz. Entre las actividades permitidas destacan las deportivas y recreativas, de educación ambiental, investigación y observación del paisaje (UNOTV 2016).

Cabo San Lucas

El APFF Cabo San Lucas es una región que está protegida para la flora y la fauna ubicada en el municipio de Los Cabos. Su decreto es del 9 de agosto de 1973 y tiene una superficie total de 3 996 ha (apéndice 55). Su objetivo principal es proteger la parte ubicada al sur del golfo de California y conservar los recursos naturales del área con especial énfasis en la variedad de especies consideradas como endémicas o sujetas a una protección especial por la legislación mexicana, ya sea que se encuentren amenazadas o en peligro de extinción y aquellas de importancia económica actual y potencial (SIMEC 2020f).

La mayor parte del APFF es marítima (95%), se incluyen 208 ha de superficie terrestre inmediatas a la ciudad Cabo San Lucas; aunque la ciudad queda ubicada fuera del polígono de protección (figura 2). Esta ANP está considerada como Patrimonio Natural por la UNESCO, dentro del conjunto denominado Islas y áreas naturales protegidas del golfo de California (SIMEC 2020f).

En la zona terrestre la vegetación más abundante es de tipo matorral xerófilo conformada principalmente de plantas suculentas. Entre las plantas visibles se puede observar el palo verde azul (*Parkinsonia florida*), tronadora (*Tecoma stans*), y damiana (*Turnera diffusa*); además de cactáceas (p.e. *Pachycereus* sp.) y algunas especies de pitayas (*Machaerocereus* ssp.; CONANP 2012).

Entre las especies de mamíferos destaca el zorrillo manchado (*Spilogale gracilis*), coyote (*Canis latrans*), conejo (*Oryctolagus cuniculus*), dos especies de murciélagos (*Myotis californicus* y *M. fortidens*), entre otras (CONANP 2012). También se encuentran los lobos marinos (*Zalophus californianus*), quienes se agrupan en una colonia de más de 30 individuos. Otras especies representativas que visitan el área anualmente con fines reproductivos son: la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) que llega a esta zona a reproducirse, la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) y ballena azul (*Balaenoptera musculus*; CONANP 2012).

Hay gran variedad de aves terrestres y marinas (apéndice 55), al igual que reptiles terrestres como la víbora de cascabel bajacaliforniana (*Crotalus enyo*) especie endémica de la zona, la lagartija escamosa de Hunsaker (*Sceloporus hunsakeri*). Dentro de los reptiles marinos se observan varias especies de tortugas (apéndice 55) que llegan a desovar a las playas de Cabo San Lucas. Entre los peces se puede observar cardúmenes de marlín azul (*Makaira nigricans*), marlín rayado (*Tetrapturus audax*), pez vela (*Istiophorus platyperus*), pez espada (*Xiphias gladius*), dorado (*Coryphaena hippurus*), entre otros (apéndice 55; CONANP 2012).

Conclusiones y recomendaciones

La principal función de las ANP es la protección de la flora y fauna, de los servicios ambientales que ofrecen, de los recursos naturales de importancia especial y de los ecosistemas representativos de una región o país. Su creación ha sido, desde el siglo pasado, una de las principales estrategias empleadas en el ámbito global

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

y en México para la conservación de los ecosistemas naturales de las especies que en ellas se encuentran.

La aplicación de la legislación vigente en las 10 ANP de Baja California Sur, en cuanto a las actividades permitidas, impactan de manera positiva en el uso, el manejo y la conservación de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos que brindan; al mismo tiempo que mantienen el desarrollo sustentable que han aportado al estado.

Es primordial que todas las ANP cuenten con su programa de manejo y que se reconozca en ellos la gran importancia que tienen el cuidado y la preservación de los recursos naturales en cada una de estas áreas, así como los servicios ecosistémicos, culturales, científicos, religiosos y recreacionales que aportan a la sociedad en su conjunto. Las personas que se dedican a practicar actividades como el turismo de naturaleza, campismo y senderismo, encuentran en las ANP el lugar ideal para esta práctica por el enorme atractivo visual que brinda la biodiversidad de su flora y fauna.

El golfo de California y sus islas cuentan con una riqueza ecológica, económica, social e histórica, que sobresalen por el buen estado de conservación en el que se encuentran, ofreciendo una belleza excepcional en sus paisajes, los cuales son muy visitados para actividades turísticas. El avistamiento de la ballena gris es una actividad que tiene mucha demanda, principalmente se realiza en la laguna Ojo de Liebre, en la RB El Vizcaíno.

El complejo insular Espíritu Santo es otro de los santuarios marinos que presentan una importante demanda por los turistas, locales, nacionales e internacionales, que visitan este lugar para practicar kayak, observación de aves o avistamiento de león marino. En las reservas de la biosfera El Vizcaíno y Sierra La Laguna se cuentan con una fuente importante de recursos maderables, de los cuales viven las poblaciones rurales que ahí habitan, ya sea para autoconsumo (leña, postes para construcción de viviendas o para corrales), o para su venta a pequeña escala y así obtener ingreso económico. Pero, la falta de control y poca vigilancia que se tiene de estas actividades ha originado que algunas áreas presenten deforestación o sobreexplotación, como en tiempos pasados se sobreexplotó el árbol de mezquite, al utilizar su madera como leña o postes.

Actualmente, existe la necesidad de edificar ganando espacio a la naturaleza, crear nuevas áreas residenciales, nuevas zonas recreativas, centros comerciales, núcleos industriales, entre otros; sin importar el precio que hay que pagar por la poca importancia que se le da, en muchos casos, a lo que representa la conservación de estos espacios naturales. Eliminar estas zonas supone suprimir a su vez toda la biodiversidad que albergan; pareciera una falta de sensatez de todo lo que ello conlleva, y un desconocimiento en de dónde está el límite.

Mediante el uso de herramientas legales se generan alternativas para tratar de contener la transformación del medio natural, por ello existen ciertas áreas o espacios naturales protegidos. Se debe de estar consciente de la gran relevancia que tienen estos emplazamientos naturales para conservarlos y preservarlos para esta generación y las venideras.

Referencias

Álvarez-Castañeda, S.T. y A. Ortega-Rubio. 2003. Current status of rodents on Island in the Gulf of California. *Biological Conservation* 109:157-163.

Arnaud, G., S. Álvarez Cárdenas, P. Cortés Calva. 2012. Mamíferos de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna. En: *Evaluación de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: avances y retos*. A. Ortega-Rubio., M. Lagunas-Vázques y L.F. Beltrán-Morales (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 145-161.

Bajapress. Periódico plural e independiente. 2021. *Baja California Sur y sus áreas naturales protegidas*. En: <https://www.bajapress.com/noticias/baja-california-sur/cabo-san-lucas/baja-california-sur-y-sus-areas-naturales-protegidas>, última consulta: 17 de marzo de 2021.

Balvanera, P. y H. Cotler. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 185-245.

Blázquez, M.C., P. Galina-Tessaro y A. Ortega-Rubio. 2012. Herpetofauna. En: *Evaluación de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: avances y retos*. A. Ortega-Rubio, M. Lagunas-Vázques y L.F. Beltrán-Morales (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 107-128.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Breceda, A. y R. Vázquez. 2013. La ganadería: retos para la conservación. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 49-68.

Calderón, C., G. Anaya, M.A. De la Cueva y O. Aburto. 2008. Balandra: el bosque costero de La Paz. *Biodiversitas* 78:1-7.

Cantú, A., M.E. Martínez, D. Serge *et al*. 1998. *Proyecto complejo marino e insular del suroeste de Baja California Sur: Parque Nacional Bahía de Loreto e Isla del Espíritu Santo, zona de reserva y refugio de aves migratorias y fauna silvestre islas del golfo de California, México*. Conservación del Territorio Insular Mexicano/TNC, México.

Castorena, L. y A. Breceda. 2008. *Remontando el cañón de la Zorra: ranchos y rancheros de la Sierra La Laguna*. Instituto Sudcaliforniano de Cultura-Gobierno del Estado de Baja California Sur, México.

Cody, M., R. Moran y H. Thompson. 1983. The plants. En: *Island biogeography of the Sea of Cortes*. T.J. Case y M.L. Cody (eds.). University of California Press, Berkeley.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2012. *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cabo San Lucas*. En: <https://web.archive.org/web/20170312040537/http://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/PM%20CABO%20SAN%20LUCAS%20PARA%20CONSULTA%20PUBLICA.pdf>, última consulta: 18 de marzo de 2021

—. 2020a. *Áreas naturales protegidas decretadas*. En: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm>, última consulta: 13 de septiembre de 2020.

—. 2000b. *Programa de Manejo Parque Nacional Bahía de Loreto, México*. CONANP, México.

—. 2022. *Áreas Naturales Protegidas Federales de México, marzo 2022*. CONANP, México.

Guertin, P.D., P. Ffolliot y M. Fogel. 1988. Características fisiográficas e hidrológicas. En: *La Sierra de la Laguna de Baja California Sur*. L. Arriaga y A. Ortega (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 37-44.

Lagunas-Vázques, M., L.F. Beltrán-Morales, M. Bobadilla-Jiménez y A. Ortega-Rubio. 2016. Población humana, actividades socioeconómicas y problemáticas socioambientales de las áreas naturales protegidas (ANP) de México. Áreas Naturales Protegidas *Scripta* 2(2):67-89.

León de la Luz, J.L. y A. Breceda. 2006. Using endemic plant species to establish critical habitats in the Sierra de La Laguna Biosphere Reserve, Baja California Sur, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15:1043-1055.

León de La Luz, J., Domínguez-Cadena R. y A. Medel-Narváez. 2012. Flora de vegetales superiores. En: *Evaluación de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: avances y retos*. A. Ortega-Rubio, M. Lagunas-Vázques y L.F. Beltrán-Morales (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 23-39.

León de la Luz, J.L., J.J. Pérez-Navarro, M. Domínguez-León y R. Domínguez-Cadena. 1999. *Flora de la región del Cabo de Baja California Sur*. Listados florísticos de México XVIII. Instituto de Biología-UNAM, México, pp. 1-39.

Martínez, M. 2018. *Reserva de la Biosfera de Sierra de la Laguna*. En: <http://conservacion-del.blogspot.com/2012/03/reserva-de-la-biosfera.html>, última consulta: 22 de abril de 2018.

Olmos Martínez, E. 2009. *Análisis socioeconómico y del uso de recursos naturales en comunidades terrestres y costeras de Baja California Sur: recomendaciones para su desarrollo sustentable*. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

Ortega-Rubio, A., P. Galina-Tessaro, G. Arnaud-Franco *et al*. 2015. Investigación científica del CIBNOR en áreas naturales protegidas del noroeste de México: pasado, presente y futuro. *Recursos Naturales y Sociedad* 1:63-81.

Reyes-Bonilla, H. 1993. Biogeografía y ecología de los corales hermatípicos del Pacífico de México. En: *Biodiversidad Marina y Costera de México*. S.I. Salazar Vallejo y N.E. González (eds.). CONABIO/CIQRO, Chetumal, pp. 202-227.

Reygadas-Dahl, F. y F. Rabanal-Mora, F. 2013. Vestigios arqueológicos en los límites de la reserva de la biosfera Sierra La Laguna BCS, avances en las investigaciones y resultados de las acciones de conservación o abandono. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 139-166.

Romero-Schmidt, H. y A. Ortega-Rubio. 2012. Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna: salud ambiental *versus* minería a cielo abierto. *Ciencia y Desarrollo* 2012(1):14-21.

Rubio y Fierro-Bandala, E., M. Lagunas-Vázques y A. Ortega-Rubio. 2013. El ecoturismo y el turismo de naturaleza como alternativa de desarrollo rural en la REBIOSLA. En: *Diagnóstico y análisis de los aspectos sociales y económicos en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México*. M. Lagunas-Vázques, L.F. Beltrán-Morales y A. Ortega- Rubio (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 69-88.

SEDUE. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 11 de abril de 2022.

SEMARNAP. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000a. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera El Vizcaíno*. INE/SEMARNAP, México.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

—. 2000b. *Acuerdo que tiene por objeto dotar con una categoría acorde con la legislación vigente a las superficies que fueron objeto de diversas declaratorias de áreas naturales protegidas emitidas por el Ejecutivo Federal*. Publicado el 7 de junio de 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

SEMARNAT. 2007. *Decreto por el que se declara área natural protegida, con la categoría de Parque Nacional exclusivamente la Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo*. Publicado el 10 de mayo de 2007 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

—. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 14 de noviembre de 2019.

—. 2018a. *Áreas naturales protegidas, corazón de patrimonio nacional de México*. En: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/inedito-21-de-junio-articulo-central-anp-corazon-del-patrimonio-natural-de-mexico-mas-de-90-millones-de-has-resguardan-porciones-terrestres-acuaticas-e-insulares-de-importancia-para-la-conservacion-de-la-biodiversidad-desde-tiempos-remotos-ya-s>, última consulta: 6 de febrero de 2021.

—. 2018b. *Áreas de protección de flora y fauna en México*. En: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/areas-de-proteccion-de-flora-y-fauna-en-mexico?idiom=es#:~:text=Las%20%C3%81reas%20de%20Protecci%C3%B3n%20de,de%20flora%20y%20fauna%20silvestres>, última consulta: 6 de febrero de 2021.

—. 2018c. *Nuestro país posee 40 áreas bajo esta categoría con seis millones 996 mil 864 hectáreas. Es la tercera en superficie después de parques nacionales y reservas de la biosfera*. En: <https:// https://www.gob.mx/semarnat/articulos/areas-de-proteccion-de-flora-y-fauna-en-mexico?idiom=es>, última consulta: 18 de marzo de 2021.

—. 2019. *Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre*. En: <http:// https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-complejo-lagunar-ojo-de-liebre-186395>, última consulta: 18 de marzo de 2021.

—. 2020. *Parques Nacionales de México*. En: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/parques-nacionales-de-mexico>, última consulta: 20 de octubre de 2020.

—. 2021. *Áreas naturales protegidas, piedra angular de la conservación*. En: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/areas-naturales-protegidas-piedra-angular-de-la-conservacion?idiom=es>, última consulta: 17 de marzo de 2021.

SIMEC. Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación. 2019a. *Sierra la Laguna*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=120&reg=1>, última consulta: 5 de febrero de 2021.

—. 2019b. *El Vizcaíno*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=116&reg=1>, última consulta: 5 de febrero de 2021.

—. 2019c. *Complejo Lagunar Ojo de Liebre*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=114&reg=1>, última consulta: 18 de marzo de 2021.

—. 2019d. *Islas del Golfo de California*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=80&reg=1>, última consulta: 18 de marzo de 2021.

—. 2020a. *Bahía de Loreto*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=31&reg=1>, última consulta: 5 de febrero de 2021.

—. 2020b. *Cabo Pulmo*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=111&reg=1>, última consulta: 5 de febrero de 2021.

—. 2020c. *Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=141&reg=1>, última consulta: 5 de febrero de 2021.

—. 2020d. *Islas del Golfo de California*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=189&reg=11>, última consulta: 5 de febrero de 2021.

—. 2020e. *Balandra*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=131&reg=1>, última consulta: 5 de febrero de 2021.

—. 2020f. *Cabo San Lucas*. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=113&reg=11>, última consulta: 18 de marzo de 2021.

Troyo-Diéguez, E., G. Solís-Garza, A. Cruz-Falcón *et al*. 2012. Recursos hídricos. En: *Evaluación de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: avances y retos*. A. Ortega-Rubio, M. Lagunas-Vázques y L.F. Beltrán-Morales (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 269-294.

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2013. *Islas y áreas protegidas del golfo de California*. En: <http://whc.unesco.org/es/list/1182/multiple=1&unique_number=1873>, última consulta: 6 de febrero de 2021.

—. 2016. *Mapa interactivo de la lista del Patrimonio Mundial*. En: <http://whc.unesco.org/en/interactive-map/>, última consulta: 6 de febrero de 2021.

UNOTV. 2016. *¿Qué puedes y qué no puedes hacer en playa Balandra?* En: <https://www.unotv.com/noticias/estados/baja-california-sur/detalle/que-puedes-y-que-no-puedes-hacer-en-playa-balandra-492976/>, última consulta: 6 de febrero de 2021.

Urciaga, J. 2013. *Servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas de Baja California Sur*. UNAM, México.

Villarreal-Cavazos, A., H. Reyes-Bonilla, B. Bermúdez-Almada y O. Arizpe-Covarrubias. 2000. Los peces del arrecife de Cabo Pulmo, Golfo de California, México: Lista sistemática y aspectos de abundancia y biogeografía. *Revista de Biología Tropical* 48:413-424.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

9

Factores de presión y oportunidades

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Resumen ejecutivo

Andrea Marcela Geiger Villalpando y Alfredo Ortega Rubio

Nos encontramos inmersos dentro de las ineludibles redes de la reciprocidad, unidos al mismo carro del destino. Cualquier cosa que afecte a uno de nosotros directamente, nos afecta a todos indirectamente.
Martin Luther King, *Tengo un sueño (1963)*

La biodiversidad es el resultado de miles de millones de años de evolución, mediante el efecto de diversos procesos naturales, y recientemente en los últimos miles de años, bajo la influencia creciente de las actividades de los seres humanos. Al cuantificar la biodiversidad se puede deducir la estabilidad de la vida en la Tierra, es decir que cuanto mayor sea la biodiversidad, mayor será la capacidad de los seres vivos para ser resilientes.

Existe una interdependencia estrecha entre los seres vivos y su hábitat; por lo tanto, una alteración entre ellos, también modificaría su hábitat y a otras especies. La pérdida de la biodiversidad puede acarrear la desaparición del ser humano. En esta sección se describen y analizan los factores de presión más relevantes que inciden sobre la biodiversidad, así como las oportunidades que se tienen para preservarla.

Entre los factores de presión que se retoman en esta sección, se incluye el cambio climático (el cual se refleja en alteraciones en los patrones de precipitación en distintas regiones) y sus efectos en la biodiversidad tanto terrestre como marina, incluyendo a los foraminíferos bentónicos, así como el incremento en la incidencia de plagas como el mosquito del dengue. También se abordan otros temas importantes, como la proliferación de megaproyectos turísticos, la sobrepoblación en el sur del estado y la multiplicación de florecimientos algales nocivos. Otras fuentes de presión al ambiente tienen que ver con el avasallamiento de la resistencia civil por el poderío económico de las trasnacionales mineras, la construcción de marinas y el desmonte sistemático de la vegetación natural para la construcción de complejos residenciales.

Por su parte, dentro de esta sección es posible identificar áreas de oportunidad para la atención a los factores de presión, como son los relativos a proyectos ecoturísticos sustentables, la conservación de cactáceas, las propuestas de nuevas áreas de protección para la conservación de cardones gigantes, así como el de la conservación de especies endémicas en Baja California Sur. Así, la información dentro de esta sección sitúa al lector entre aspectos del pasado, el presente y en los escenarios futuros de la biodiversidad sudcaliforniana, con la intención de servir como una plataforma de conocimiento para atender las amenazas que enfrenta y favorecer su aprovechamiento sustentable.

Geiger Villalpando, A.M. y A. Ortega-Rubio. 2025. Resumen ejecutivo. Factores de presión y oportunidades. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 305.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Factores de presión: cambio climático

Christian Salvadeo, Héctor Reyes Bonilla, Romeo Saldívar Lucio y David Petatan Ramírez

Escenarios de cambio climático en el siglo XXI

Temperatura

Entre las principales amenazas a la biodiversidad se encuentra el cambio climático, y más específicamente el calentamiento global consecuencia de las emisiones de gases con efecto invernadero. Respecto a la tendencia sostenida de calentamiento global observada desde mediados del siglo pasado, se espera para las próximas décadas un cambio paulatino en la temperatura superficial del aire en Baja California Sur con aumentos de más de 1°C en gran parte de la región, sobre todo en la costa del golfo de California y en los valles (figura 1).

Precipitación pluvial

En cuanto al régimen de lluvias, se espera que las precipitaciones continúen escasas en las planicies costeras de la porción occidental del estado, especialmente la región El Vizcaíno, donde se esperaría una disminución de la precipitación para el periodo 2045-2069; mientras que en los lomeríos próximos a las sierras y en las partes altas de las mismas, se pronostica un potencial aumento, especialmente en la parte sur de la entidad (figura 2; Reyes-Bonilla *et al.* 2016, 2017). Estos pronósticos para el territorio sudcaliforniano coinciden con lo esperado para el noroeste mexicano, donde se espera un inicio tardío de la temporada monzónica (junio-julio), seguido de un aumento significativo de la precipitación hacia el final de ésta (agosto y septiembre); por su parte, se pronostica una disminución de las lluvias en zonas cercanas a la costa y un aumento en las zonas serranas (Torres Alavez *et al.* 2014, Hoell *et al.* 2016). Las escasas lluvias registradas al comienzo de la temporada monzónica de 2017 y las lluvias torrenciales durante la tormenta tropical Lidia, que atravesó al estado en septiembre de 2017, podrían ser una manifestación de lo pronosticado.

Temperatura oceánica

La mayoría de los escenarios propuestos coinciden en que el océano se calentará en promedio entre 0.6 y 2°C en los primeros 100 m durante los próximos 90 años, con un mayor calentamiento en regiones tropicales y subtropicales (Collins *et al.* 2013). En este sentido, se observa un desplazamiento latitudinal hacia el norte de las temperaturas promedio frente a Baja California Sur, especialmente en la costa del golfo de

Salvadeo, C., H. Reyes-Bonilla, R. Saldívar-Lucio y D. Petatan-Ramírez. 2025. Factores de presión: cambio climático. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 307-316.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

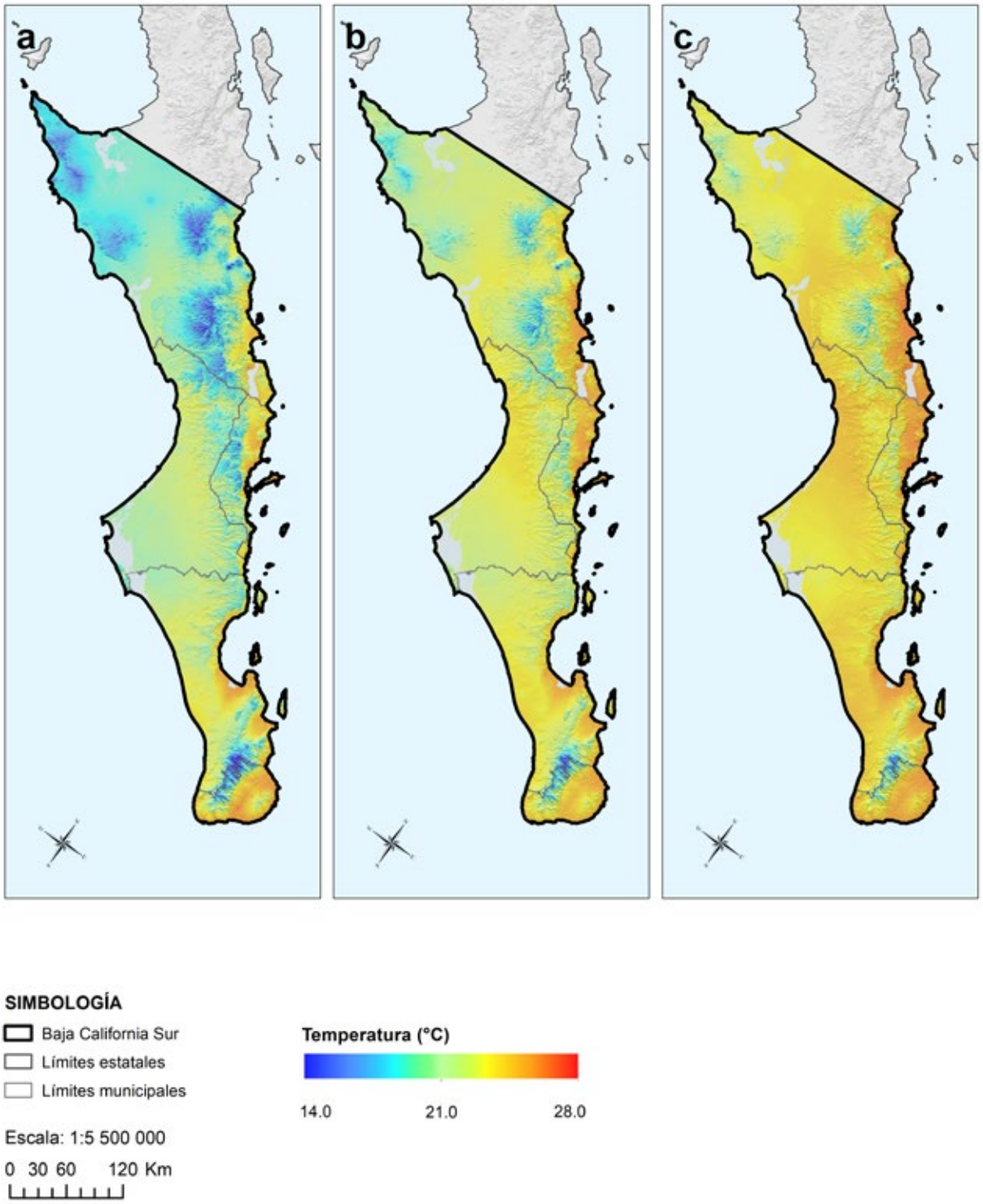


Figura 1. Temperatura dentro del territorio estatal. a) Histórica promedio; b) proyecciones del modelo RCP 4.5 para el periodo 2045-2069; c) proyecciones del modelo RCP 4.5 para el periodo 2075-2100. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

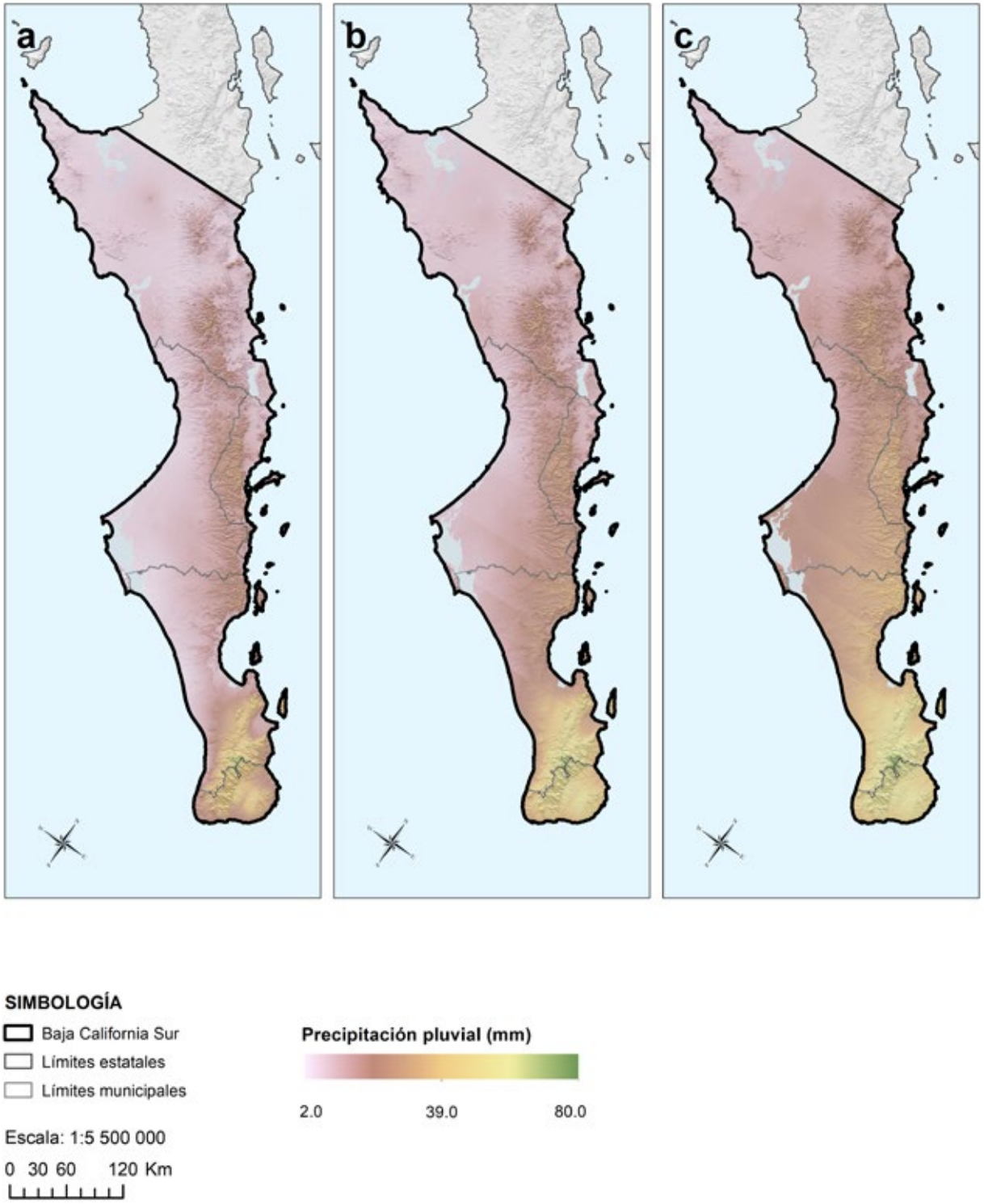


Figura 2. Precipitación pluvial en la entidad. a) Histórica promedio; b) proyecciones del modelo RCP 4.5 para el periodo 2045-2069; c) proyecciones del modelo RCP 4.5 para el periodo 2075-2099. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

California (figura 3). Cabe señalar que también se han planteado enfriamientos regionales frente a la costa de la entidad, como consecuencia de la intensificación del viento en áreas de afloramientos costeros de aguas frías, lo que podría contrarrestar los efectos del calentamiento en dichas regiones (Bakun *et al.* 2015); no obstante, se incrementa la incertidumbre con respecto a los pronósticos esperados. A su vez, algunos estudios sugieren el aumento en la frecuencia e intensidad de condiciones cálidas similares a las encontradas durante el fenómeno de El Niño en regiones tropicales; sin embargo, no hay resultados consistentes al respecto (Collins *et al.* 2010, Cai *et al.* 2015).

Durante los últimos 100 años se ha observado una tendencia de calentamiento de largo plazo en las aguas circundantes de Baja California Sur, la cual podría deberse al calentamiento global propuesto por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Lluch-Belda *et al.* 2013). Sin embargo, en las últimas décadas se registró una tendencia moderada de enfriamiento que podría estar relacionada con la variabilidad climática natural conocida como Oscilación decadal del Pacífico Norte (PDO por sus siglas en inglés; Lluch-Cota *et al.* 2013). Cabe señalar que, en términos de las tendencias sostenidas de cambio térmico, como aquellas esperadas por el calentamiento global, existe para los mares mexicanos una enorme incertidumbre, incluso al analizar el pasado reciente se pueden identificar comportamientos diversos entre regiones, por lo que las proyecciones a futuro son aún más inciertas (Saldívar-Lucio *et al.* 2015).

Otras condiciones oceánicas

El cambio del nivel del mar, la acidificación de los océanos y la expansión de la capa mínima de oxígeno (profundidad de la columna de agua en el mar, donde hay poco oxígeno) son efectos derivados del cambio climático global, relevantes por sus potenciales efectos sobre los ecosistemas marinos en aguas mexicanas (Escobar-Briones *et al.* 2015). El análisis de series de tiempo de mareógrafos en diversas localidades de la zona costera de México muestra que, a pesar de las deficiencias de los registros, el cambio de nivel del mar es detectable y real (Zavala-Hidalgo *et al.* 2010).

Respecto a la acidificación de los océanos, se espera para las costas sudcalifornianas que el pH disminuya entre 0.6 y 0.4 unidades hacia el final del presente siglo con respecto a los niveles preindustriales (Feely *et al.* 2009). Los modelos generales de circulación prevén la expansión de la capa mínima de oxígeno como consecuencia del calentamiento global, el aumento de la estratificación y a los cambios en los patrones de precipitación. La capa mínima de oxígeno de aguas intermedias se ha expandido verticalmente en el Pacífico oriental tropical y la corriente de California en los últimos 60 años; parte de esta expansión se atribuye a la variabilidad natural (El Niño y PDO), a procesos asociados al calentamiento global, y a las actividades humanas asentadas a lo largo de la costa (Chan *et al.* 2008, Stramma *et al.* 2008, Booth *et al.* 2014).

Impactos potenciales a la biodiversidad

Actualmente es difícil predecir los impactos del cambio climático sobre los sistemas naturales y sobre la biodiversidad en general. Sin embargo, las observaciones recientes e históricas de los cambios en poblaciones de flora y fauna pueden proporcionar una noción de los posibles efectos futuros del cambio climático. En ese sentido, se han descrito impactos generalizados del cambio climático sobre especies, comunidades y ecosistemas, que en última instancia se refieren a la biodiversidad (Root *et al.* 2003, Parmesan 2007, Salvadeo *et al.* 2010, Bellard *et al.* 2012).

Los efectos sobre las poblaciones pueden ser positivos (aumento de la abundancia) o negativos (disminución o extinción), dependiendo de la biología y ecología de las especies y sus interacciones en las comunidades biológicas que estructuran los ecosistemas donde se distribuyen, así como de la magnitud de los cambios (Geyer *et al.* 2011). Respecto a los potenciales impactos del calentamiento global, los efectos más esperados en las especies podrían ser: 1) cambios en su distribución, 2) cambios en su fisiología y alimentación, y 3) cambios en su comportamiento migratorio y reproductivo (Bellard *et al.* 2012, Staudinger *et al.* 2013).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

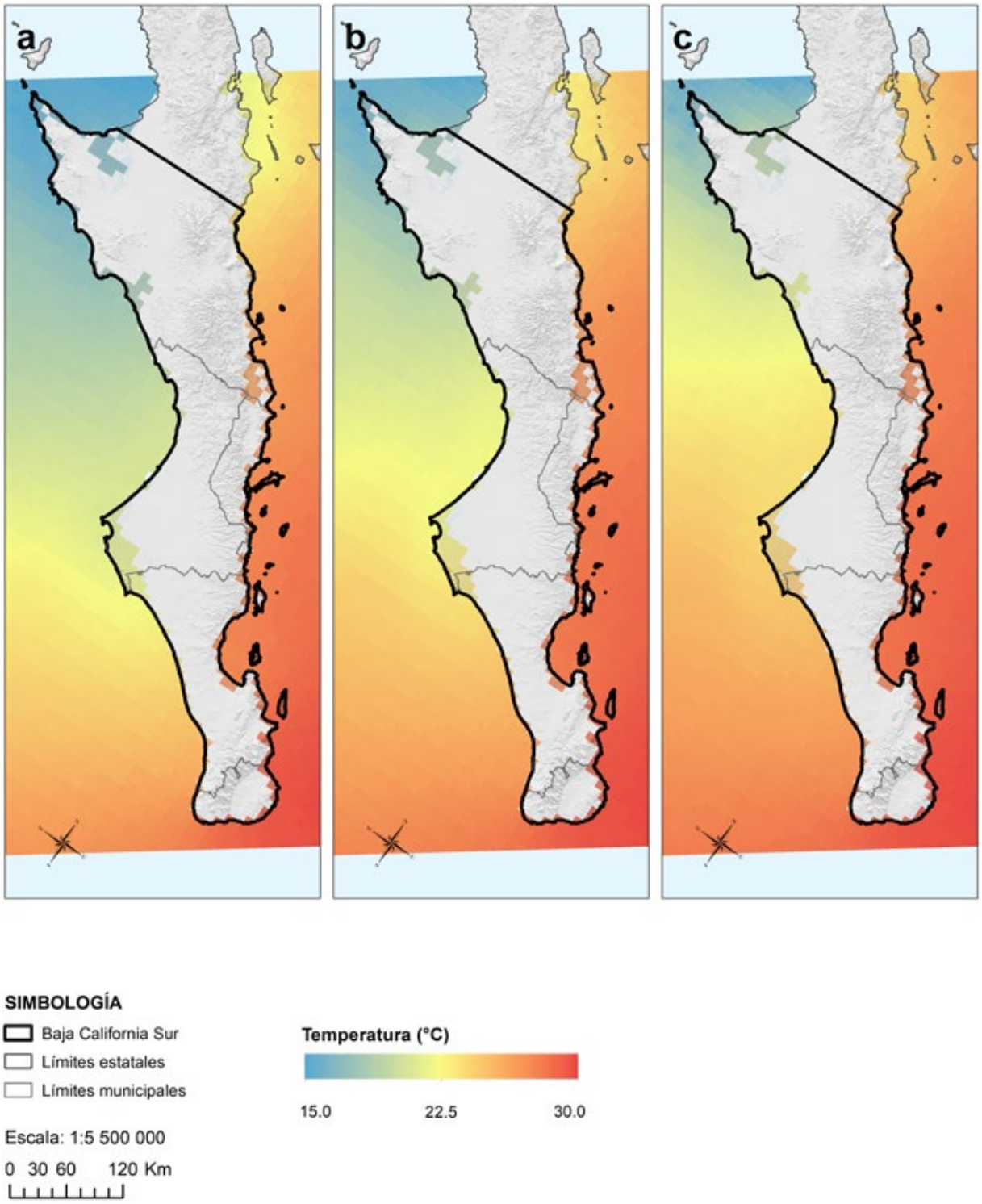


Figura 3. Temperatura superficial del océano. a) Histórica promedio; b) proyecciones del modelo RCP 4.5 para el año 2050; c) proyecciones del modelo RCP 4.5 para el año 2100. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Hábitat terrestre

En general, el clima terrestre en el territorio sudcaliforniano es cálido y seco, con una precipitación tipo monzónica en gran parte del estado (las lluvias se presentan en verano), salvo en la región El Vizcaino donde las escasas lluvias ocurren en invierno (clima mediterráneo); en los llanos es donde se dan las mayores temperaturas, mientras que las zonas serranas son más frescas a medida que se asciende (figura 1a), fenómeno que se conoce como pisos térmicos. El aumento de la temperatura afectará a la flora y fauna terrestres dependiendo de los rangos óptimos de tolerancia térmica de cada especie. En las zonas serranas se espera que los pisos térmicos (así como su flora y fauna asociadas) se desplacen hacia arriba, y se vean afectados los pisos superiores (templados) como los bosques de pino (*Pinus lagunae*) y encino negro (*Quercus devia*) de la Sierra La Laguna, con una potencial reducción de sus áreas a medida que la temperatura aumente en el estado (figuras 1a y 1b), con la consecuente pérdida de la biodiversidad y masa boscosa templada propia de esos ecosistemas. En ese sentido, se ha señalado a los bosques templados de altura como los más vulnerables a nivel mundial.

La reducción de masa boscosa templada en las sierras implica la pérdida de la protección natural contra los eventos hidrometeorológicos y es un componente clave para la recarga de acuíferos, debido a que los ecosistemas de las sierras regulan el clima y los flujos de agua, además de brindar protección contra las sequías y los impactos de eventos extremos como huracanes o lluvias torrenciales. Cabe señalar que el aumento de las lluvias en las zonas serranas puede atenuar el efecto del incremento de la temperatura, pero se corre el riesgo de que los bosques de pino-encino sean remplazados por vegetación con especies subtropicales y húmedas pertenecientes a la selva-baja caducifolia como el palo blanco (*Lysiloma divaricatum*), el jacolosúchil (*Plumeria acutifolia*) y el lomboy (*Jatropha vernicosa*) que domina en cañadas de arroyos donde se mantiene la humedad de las lluvias durante gran parte del año (León de la Luz *et al.* 2008).

Aunque los ecosistemas desérticos aparentemente son los menos vulnerables al cambio climático, una disminución de la precipitación en los llanos y las partes bajas de las sierras, podría tener un impacto en el tipo de vegetación y su fauna asociada, debido a que se favorecerían aquellas especies vegetales que resisten mejor la falta de humedad en el ambiente. El aumento de la aridez en el estado también impactaría la producción vegetal y consecuentemente a la cadena alimenticia por el efecto de la vegetación sobre las poblaciones de herbívoros (principalmente insectos, aves, roedores y grandes mamíferos) y sus depredadores (reptiles, aves y mamíferos).

Una mayor extensión de condiciones secas en las planicies del estado podría afectar a las especies de grandes herbívoros como el venado bura (*Odocoileus hemionus penninsulae*), el berrendo peninsular (*Antilocapra americana*) y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*); las últimas dos categorizadas dentro de la NOM-059 como en peligro de extinción y sujeta a protección especial, respectivamente (SEMARNAT 2010). El berrendo peninsular sería la especie más vulnerable, debido a que se distribuye exclusivamente en planicies del norte del estado, y la sequía es un factor que limita su crecimiento poblacional (Cancino-Hernández 2005). Por su parte, el venado bura, al ser una especie que se puede encontrar en diversos ambientes (Álvarez-Cárdenas *et al.* 1999), podría redistribuirse hacia las zonas serranas del estado donde se espera que la precipitación sea más abundante. En contraste, el borrego cimarrón, especie exclusiva de zonas serranas, podría ser vulnerable al aumento de la precipitación en las sierras del centro y norte del estado, ya que el incremento en la cobertura vegetal de su hábitat los podría hacer más vulnerables a depredadores naturales como el puma (*Puma concolor*) que se distribuye, principalmente, en las mismas zonas que el borrego (Minjarez-Velasco 2013).

Los oasis podrían ser los ecosistemas más vulnerables a una disminución de la precipitación en los llanos de la parte norte del estado, y con ellos una gran cantidad de especies de peces, anfibios, reptiles y aves, propios y únicos (endémicos) de estos ecosistemas desérticos. Por ejemplo, la tortuga jicotea (*Trachemys nebulosa*) y el ave mascarita peninsular (*Geothlypis beldingi*), son especies que requieren cuerpos de agua permanente con abundante vegetación acuática. Estos cambios probablemente traerán nuevos arreglos de especies, con nuevas interacciones que, en los peores escenarios, podrían conducir a

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

algunas extinciones locales y regionales (Suttle *et al.* 2007, Bellard *et al.* 2012).

Hábitat marino

En los mares sudcalifornianos, el impacto más probable del calentamiento global sería la redistribución hacia los polos de numerosas especies de peces, aves, tortugas y mamíferos marinos con afinidad tropical y templada, por lo que sus abundancias cambiarán a escala local y regional debido a que intentarán seguir la redistribución de las temperaturas marinas templadas hacia el norte (figura 3). En ese sentido, se espera que especies de afinidad templada como el verdillo (*Paralabrax nebulifer*) o la almeja pismo (*Tivela stultorum*) se desplacen hacia el norte, por lo que sus abundancias podrían disminuir; mientras que especies con afinidad tropical como el dorado (*Coryphaena hippurus*) o los bosques de manglar se volverían más abundantes, especialmente hacia el noroeste sobre la costa del Pacífico (Reyes-Bonilla *et al.* 2016, 2017). Como consecuencia del calentamiento anormal de las aguas a escala regional, en los últimos 30 años se ha registrado frente a la costas del estado, un desplazamiento hacia los polos del delfín de costados blancos del Pacífico (*Lagenorhynchus obliquidens*), de afinidad templada (Salvadeo *et al.* 2010, 2011), así como la expansión hacia el norte de numerosas especies de peces con afinidad tropical (González-Cuéllar *et al.* 2013, Martínez-Torres *et al.* 2014, Fernández-Rivera Melo *et al.* 2015, González-Acosta *et al.* 2016).

Cabe señalar que el éxito en el cambio de la distribución de especies dependerá de las condiciones ecológicas y particularmente de la productividad oceánica. En grandes depredadores como los mamíferos marinos, los cambios en la temperatura por si solos puede que afecten poco su abundancia y distribución, si no vienen acompañados con cambios significativos en la productividad biológica de los ecosistemas oceánicos frente a las costas sudcalifornianas. Quizá la especie más vulnerable de mamíferos marinos sea el lobo marino de California (*Zalophus californianus*), debido al fuerte arraigo regional con sus colonias reproductivas, que a su vez se ubican en zonas de elevada productividad primaria, por lo que los cambios en la productividad podrían ser el mayor forzante ambiental para su redistribución. Al respecto, se pronostica una disminución de la productividad marina como resultado de un aumento en la estratificación de las capas superficiales del océano (Hoegh-Guldberg y Bruno 2010). Además, se ha propuesto la intensificación de las surgencias o afloramientos regionales como consecuencia del aumento del viento en la costa occidental del estado, lo que podría contrarrestar los efectos de calentamiento con enfriamientos regionales e incrementos en la productividad biológica. Pero los cambios también podrían dirigirse al extremo, debido a que, si se sobrepasan los niveles óptimos de transporte y turbulencia en la columna de agua, la productividad marina sería impactada negativamente (Bakun *et al.* 2015).

Desde el punto de vista de la redistribución de especies costeras de interés socioeconómico y de conservación, para la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) se espera un desplazamiento hacia el norte respecto a sus áreas habituales de crianza, en busca de aguas con temperaturas óptimas que minimizan el estrés térmico de las crías recién nacidas, por lo que se pronostica una potencial caída en el número de madres con cría que visitan el complejo lagunar de bahía Magdalena-Almejas (Salvadeo *et al.* 2013). Asimismo, se ha observado una relación inversa entre la extensión de hielo en sus áreas de alimentación de verano en el Ártico y la producción de crías el invierno siguiente (Salvadeo *et al.* 2015), lo cual supondría un potencial aumento de su abundancia debido al calentamiento en las áreas de alimentación (Salvadeo *et al.* 2013).

Otros organismos marinos que podrían verse afectados poblacionalmente son las tortugas marinas, debido a que el aumento de la temperatura promedio de los nidos incrementa la proporción de hembras respecto a los machos (Hawkes *et al.* 2009). Esta condición pone en riesgo la proporción de sexos de las especies que anidan en el estado como las tortugas prieta (*Chelonia mydas agassizii*), golfina (*Lepidochelys olivacea*) y laúd (*Dermochelys coriacea*). El aumento del nivel del mar es otro de los cambios esperados en el ambiente como consecuencia del aumento de la temperatura. Este afectará principalmente a ecosistemas costeros como manglares, al modificar la línea de costa (Botello *et al.* 2010). Al respecto, se tiene información donde se documenta que estos ecosistemas en la Península de Baja California se han adaptado al cambio climático durante miles de

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

años, al tener la capacidad de crecer sobre sus propios restos de raíces a medida que el nivel del mar se eleva, además de ser buenos sumideros de carbono (Ezcurra *et al.* 2016).

Adicionalmente, la potencial acidificación de los océanos, producto del aumento en las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2), puede destruir vastas extensiones de coral y afectar negativamente la calcificación de conchas en moluscos y otros invertebrados (Miller *et al.* 2009, Doney *et al.* 2012, Pansch *et al.* 2014). También se esperaría una mayor presencia del fenómeno de blanqueamiento del coral, debido a que las algas microscópicas que viven en simbiosis dentro de sus tejidos son intolerantes al aumento de la temperatura y abandonan los corales, lo que en algunos casos provoca su muerte (Glynn 1990, Guzmán y Cortés 1992, Reyes-Bonilla 2001, Cruz *et al.* 2003). Sin embargo, el blanqueamiento puede ser revertido y los corales pueden recuperar su estado de salud, si el incremento de temperatura no es muy alto, o si otras especies de algas microscópicas afines a los nuevos rangos de temperatura se asocian con el coral.

Conclusiones y recomendaciones

El cambio climático no se restringe solamente al calentamiento global por acumulación de gases de efecto invernadero, sino que existen patrones naturales irregulares y con cierta periodicidad que forman parte de éste (Lluch-Belda *et al.* 2013). Por tal motivo, se recomienda integrar la variación histórica natural en los pronósticos de cambio climático, para poder incluir los efectos de la variación natural sobre la biodiversidad marina y terrestre en la formulación de las políticas de prevención de riesgo y planes de adaptación. Respecto a los impactos potenciales descritos, se sugiere desarrollar proyectos de investigación que los analicen detalladamente con un enfoque multifactorial, debido a que el cambio climático no es el único factor de presión sobre la biodiversidad. Además, se recomienda invertir en programas de adaptación en los que se involucren la academia y la sociedad civil (especialmente a los usuarios de la biodiversidad), los cuales permitirán desarrollar políticas de manejo para su protección, uso racional y aprovechamiento sustentable.

Referencias

Álvarez-Cárdenas, S., S. Gallina, S. Galina-Tessaro *et al.* 1999. Habitat availability for the mule deer (Cervidae) population in a relictual oak-pine forest in Baja California Sur, Mexico. *Tropical Zoology* 12:67-78.

Bakun, A., B.A. Black, S.J. Bograd *et al.* 2015. Anticipated effects of climate change on coastal upwelling ecosystems. *Current Climate Change Reports* 1(2):85-93.

Bellard, C., C. Bertelsmeier, P. Leadley *et al.* 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* 15:365-377.

Booth, J., C. Woodson, M. Sutula *et al.* 2014. Patterns and potential drivers of declining oxygen content along the southern California coast. *Limnology and Oceanography* 59:1127-1138.

Botello, A., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas. 2010. *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Gobierno del Estado de Tabasaco/SEMARNAT/INE/Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-UNAM/Universidad Autónoma de Campeche, Villahermosa.

Cai, W., A. Santoso, G. Wang *et al.* 2015. ENSO and greenhouse warming. *Nature Climate Change* 5:849-859.

Cancino-Hernández, J. 2005. *Factores ecológicos y antropogénicos que influyen en el estatus del Berrendo Peninsular (Antilocapra americana peninsularis): La estrategia para su recuperación*. Tesis de doctorado. CIBNOR, México.

Chan, F., J. Barth, J. Lubchenco *et al.* 2008. Emergence of anoxia in the California current large marine ecosystem. *Science* 319:920.

Collins, M., S. An, W. Cai *et al.* 2010. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. *Nature Geoscience* 3:391-397.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster *et al.* 2013. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. En: *Climate change 2013: the physical science basis*. T. Stocker, D. Qin, G. Plattner *et al.* (eds.). Cambridge University Press, Reino Unido, pp. 1029-1136.

Cruz, M., N. Gabor, E. Mora *et al.* 2003. The known and unknown about marine biodiversity in Ecuador (continental and insular). *Gayana* 67(2):232-260.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Doney, S., M. Ruckelshaus, J. Duffy *et al.* 2012. Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Review in Marine Science* 4:11-37.

Escobar-Briones, E., C. Salvadeo, M. Pardo *et al.* 2015. Sistemas oceánicos. En: *Reporte mexicano de cambio climático, Grupo II impactos, vulnerabilidad y adaptación*. C. Gay, A. Gutiérrez y C. Peña-Ledón (eds.). UNAM, México, pp. 59-70.

Ezcurra, P., E. Ezcurra, P. Garcillán *et al.* 2016. Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(16):201519774.

Feely, R., S. Doney y R. Cooley. 2009. Present conditions and future changes in a high CO_2 world. *Oceanography* 22:37-47.

Fernández-Rivera Melo, F.J., H. Reyes-Bonilla, L. Campos-Dávila *et al.* 2015. Extension of range of *Lutjanus inermis* (Peters, 1896) (Perciformes: Lutjanidae) to the central region of the Gulf of California, Mexico. *Journal of Applied Icthtyology* 31:541-543.

Geyer, J., I. Kiefer, S. Kreft *et al.* 2011. Classification of climate-change-induced stresses on biological diversity. *Conservation Biology* 25:708-715.

Glynn, P.W. 1990. Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical eastern Pacific. En: *Global ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. P.W. Glynn (ed.). Elsevier Oceanographic Series 52, Ámsterdam, pp. 55-126.

González-Acosta, A.F., M.I. Miranda-Marín, J. De la Cruz-Torres *et al.* 2016. New records and range extension of three fish species in the Gulf of California. *Marine Biodiversity* 48(3): 1625-1629.

González-Cuéllar, O.T., H. Reyes-Bonilla, M. Fourriére *et al.* 2013. Range extensions of four species of parrotfishes (Scaridae) in the northern Gulf of California, Mexico. *Cybium* 37:223-226.

Guzmán, H.M. y J. Cortés. 1992. Cocos Island (Pacific of Costa Rica) coral reefs after the 1982-83 El Niño disturbance. *Revista de Biología Tropical* 40:309-324.

Hawkes, L.A., A.C. Broderick, M.H. Godfrey y B.J. Godley. 2009. Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research* 7:137-154.

Hoegh-Guldberg, O. y J. Bruno. 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328:1523-1528.

Hoell, A., C. Funk, M. Barlow *et al.* 2016. Recent and possible future variations in the North American monsoon. En: *The Monsoons and Climate Change*. L. Carvalho y C. Jones (eds.). Springer International Publishing, Suiza, pp. 149-162.

León de la Luz, J., J. Rebman, M. Domínguez-León *et al.* 2008. The vascular flora of Sierra de La Giganta in Baja California Sur. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:29-65.

Lluch-Belda, D., G. Ponce-Díaz, J. Castro-Ortiz *et al.* 2013. La Pesca en Baja California Sur ante el Cambio Climático. En: *Baja California Sur ante el cambio climático: vulnerabilidad, mitigación y adaptación*. A. Ivanova y A. Gámez (eds.). UABCS/SEMARNAT/CIBNOR/CICESE/INECC/CICIMAR-IPN, La Paz, pp. 207-246.

Lluch-Cota, S., M. Tripp-Valdéz, D. Lluch-Cota *et al.* 2013. Recent trends in sea surface temperature off Mexico. *Atmósfera* 26:537-546.

Martínez-Torres, M., H. Reyes-Bonilla, F.J. Fernández-Rivera Melo *et al.* 2014. Range extension of the blue and yellow damselfish *Chromis limbaugh* (Pomacentridae) to the northern Gulf of California, Mexico. *Marine Biodiversity Records* 7:1-5.

Miller, A., A. Reynolds, C. Sobrino *et al.* 2009. Shell-fish face uncertain future in high CO_2 world: Influence of acidification on oyster larvae calcification and growth in estuaries. *PLOS ONE* 4(5):e5661.

Minjarez-Velasco, I. 2013. *Análisis de la distribución del puma (Puma concolor) en Sierra de La Giganta, BCS*. Tesis de maestría. CIBNOR, México.

Pansch, C., I. Schaub, J. Havenhand *et al.* 2014. Habitat traits and food availability determine the response of marine invertebrates to ocean acidification. *Global Change Biology* 20:765-777.

Parmesan, C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology* 13:1860-1872.

Reyes-Bonilla, H. 2001. Effects of the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation on coral communities of the Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 69(1):251-266.

Reyes-Bonilla, H., C. Salvadeo, D. Petatan *et al.* 2016. *Programa de Adaptación al Cambio Climático municipio de La Paz*. México (inédito).

—. 2017. *Programa de Adaptación al Cambio Climático Reserva de la Biosfera El Vizcaíno*. México (inédito).

Root, T., J. Price, K. Hall *et al.* 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57-60.

Saldívar-Lucio, R., C. Salvadeo, P. Del Monte-Luna *et al.* 2015. Patrones históricos y escenarios térmicos futuros en mares mexicanos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 50:331-345.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Salvadeo, C., D. Lluch-Belda, A. Gómez-Gallardo *et al*. 2010. Climate change and a poleward shift in the distribution of the Pacific white-sided dolphin in the northeastern Pacific. *Endangered Species Research* 11:13-19.

Salvadeo, C., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota *et al*. 2011. Review of long term macro-fauna movement by multi-decadal warming trends in the Northeastern Pacific. En: *Climate change-geophysical foundations and ecological effects*. J. Blancoy y H. Kheradmand (eds.). Tech Rijeka, Croacia, pp. 217-230.

Salvadeo, C., S. Lluch-Cota, M. Maravilla-Chávez *et al*. 2013. Impact of climate change on sustainable management of gray whale (*Eschrichtius robustus*) populations: whale-watching and conservation. *Archives of Biological Sciences* 65:997-1005.

Salvadeo, C., A. Gómez-Gallardo, M. Nájera-Caballero *et al*. 2015. The effect of climate variability on gray whales (*Eschrichtius robustus*) within their wintering areas. *PLOS ONE* 10(8):e0134655.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Staudinger, M., N. Grimm, A. Staudt *et al*. 2013. Impacts of climate change on biodiversity. En: *Impacts of climate change on biodiversity, ecosystems, and ecosystem services: technical input to the 2013 National Climate Assessment*. M.D. Staudinger, N.B. Grimm, A. Staudt y S.L. Carter (eds.). USGS, EUA, pp. 1-41.

Stramma, L., G. Johnson, J. Sprintall *et al*. 2008. Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science* 320:655-658.

Suttle, K., M. Thomsen y M. Power. 2007. Species interactions reverse grassland responses to changing climate. *Science* 315:640-642.

Torres Alavez, J., M. Cavazos-Pérez y C. Turrent-Thompson. 2014. Land-sea thermal contrast and intensity of the North American monsoon under climate change conditions. *Journal of Climate* 27:4566-4580.

Zavala-Hidalgo, J., R. de Buen Kalman, R. Romero-Centeno *et al*. 2010. Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. En: *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. A. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas (eds.). Gobierno del Estado de Tabasco/SEMARNAT/INE/Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-UNAM/Universidad Autónoma de Campeche, Villahermosa, pp. 249-267.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Tendencia de índices de cambio climático, 1960-2012

René Arturo Kachok Gavarain e Ismael Sánchez Brito

Introducción

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1°, define al cambio climático como: "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables, la cual puede ser atribuida a causas naturales" (IPCC 2013:2). De acuerdo con los registros históricos del Sistema Meteorológico Nacional (SMN 2017), en la costa del Pacífico durante el periodo 1970-2016 se registraron 23 huracanes que impactaron Baja California Sur (19 fueron moderados de categorías I-II y 4 intensos de categoría IV). Un hecho relevante es la sequía de moderada a extrema que la entidad enfrentó en 2011 y 2012 (FCAE 2012, CONAGUA 2017).

Desde 2012, el estado cuenta con el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur (Ivanova y Gámez 2012), en el cual se plantean las estrategias y líneas de acción para mitigar y enfrentar los efectos de eventos extremos considerando las características sociales, económicas y ambientales más significativas del territorio sudcaliforniano. Por ejemplo, en la zona sur de la entidad (Los Cabos) se ubica uno de los mayores destinos turísticos a nivel nacional e internacional, pero también es la parte más vulnerable para recibir las afectaciones por la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos (huracanes). Por ello, algunas estrategias por parte de los hoteleros incluyen la reducción de los costos por los servicios ofrecidos en este ramo, como ofertas en los precios de habitación de los hoteles y paquetes turísticos atractivos, con el fin de atraer turistas nacionales y extranjeros hacia ese destino turístico. Cada año el estado es potencialmente vulnerable a eventos hidrometeorológicos, que con sus vientos fuertes y grandes cantidades de agua pueden provocar afectaciones y poner en riesgo el patrimonio de las familias, así como ocasionar pérdidas a la economía de la entidad. En este sentido, es importante llevar a cabo estudios con el análisis del fenómeno del cambio climático, de tal manera que se obtenga conocimiento sobre sus eventos asociados y así implementar medidas de prevención ante sus efectos e implementar acciones de mitigación y adaptación, entre gobierno y sociedad.

Análisis de las tendencias y de los índices de cambio climático

A partir del patrón anual de lluvia promedio para todo el estado se estimó el índice de transición climática (ITC), y se definieron tres épocas pluviométricas: a) se-

Kachok Gavarain, R.A. e I. Sánchez-Brito. 2025. Tendencia de índices de cambio climático, 1960-2012. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 317-322.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

cas (marzo a junio), 2) lluvias de verano-otoño (julio a octubre), y 3) lluvias de invierno-primavera (noviembre a febrero del año siguiente). Asimismo, se determinó el volumen de precipitación para delimitar las cinco regiones pluviométricas definidas por Salinas y colaboradores (1990), a partir de los datos diarios de temperatura y precipitación de 45 estaciones meteorológicas de a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para el periodo 1960-2012 (figura 1). Además, se seleccionaron seis indicadores para efectuar un análisis de tendencia y calcular tres índices de cambio climático para las cinco regiones pluviométricas (cuadro 1). Para el procesamiento de los datos del cálculo de índices extremos se utilizó el programa RClimDex (Zhang y Yang 2003), y los valores se normalizaron para realizar una comparación estandarizada entre las diferentes regiones pluviométricas.

Índices de cambio climático

El análisis del rango diurno de temperatura (DTR) a lo largo de la serie de tiempo analizada muestra que en la mayoría de las regiones pluviométricas (II, III, IV) la tendencia es de aumento, debido a que en las regiones II y IV la temperatura máxima ha aumentado y la mínima ha disminuido; mientras que en la región III la temperatura máxima ha aumentado más que la mínima. Por su parte, el rango en la región I mostró que las temperaturas máxima y mínima aumentaron, y en la región V la temperatura mínima aumentó más que la máxima. En 2011, se registró en la región IV el DTR máximo obtenido con una temperatura de 19.1°C; mientras que en 1980 el mínimo registrado se obtuvo en la región V, con 11.48°C. La tendencia para el número de días con racha cálida (WSDI) mostró un incremento en los últimos 50 años para todas las regiones. El mayor evento se presentó en la región V, donde en 1960 se registraron 55 días en total con temperaturas mayores a 38°C. El menor registro fue de seis días para todas las regiones, pero en distintos años. En el análisis del promedio de la tendencia para el conteo anual de por lo menos seis días consecutivos con racha fría (CSDI) se observó una disminución en las últimas cinco décadas para el estado. Esto significa que se presentaron menos periodos de rachas frías con por lo menos seis días consecutivos con temperaturas inferiores a 13°C. En 1966, en la región pluviométrica V se presentó el mayor registro con un total de 119 días fríos; mientras que el menor registro fue de seis días en distintos años para las cinco regiones (figura 2).

El índice simple de intensidad diaria (SDII) indicó que la tendencia del número de días húmedos con precipitación mayor o igual a 1 mm aumentó en las cinco regiones pluviométricas. El mayor registro de precipitación en días húmedos fue en 2008 en la región V con 31.8 mm/día; mientras que el registro mínimo fue en 1975 con 2.6 mm/día para esa misma región. Un aumento de su valor indica que la lluvia total anual cae repartida en menos días (figura 2). El número de días con precipitación intensa mayor a 10 mm (R10), reportó una tendencia de aumento para las cinco regiones. En 1992 se tiene el mayor registro (51 días) en la región II; y el mínimo (1 día) se presentó en las regiones IV (1999) y V (1968 y 1971; figura 3). Finalmente, la precipitación total anual (PRCPTOT) presentó una tendencia positiva significativa en las cinco regiones. El mayor registro fue en 1992 (1 448 mm), y el menor fue en 1968 (24 mm; figura 3).

Cuadro 1. Indicadores para la realización del análisis de tendencia y el cálculo de los índices de cambio climático con sus respectivas unidades de medida.

Índice	Nombre del indicador	Unidad de medida
DTR	Rango diurno de temperatura (*Diurnal temperature range*)	°C
WSDI	Indicador de la duración de periodos calientes (*Warm spell duration indicator*)	Días
CSDI	Indicador de la duración de periodos fríos (*Cold spell duration indicator*)	Días
SDII	Índice simple de intensidad diaria (*Simple daily intensity index*)	mm/día
R10	Número de días con precipitación intensa (*Number of heavy precipitation days*)	Días
PRCPTOT	Precipitación total anual (*Annual total wet-day precipitation*)	mm

Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

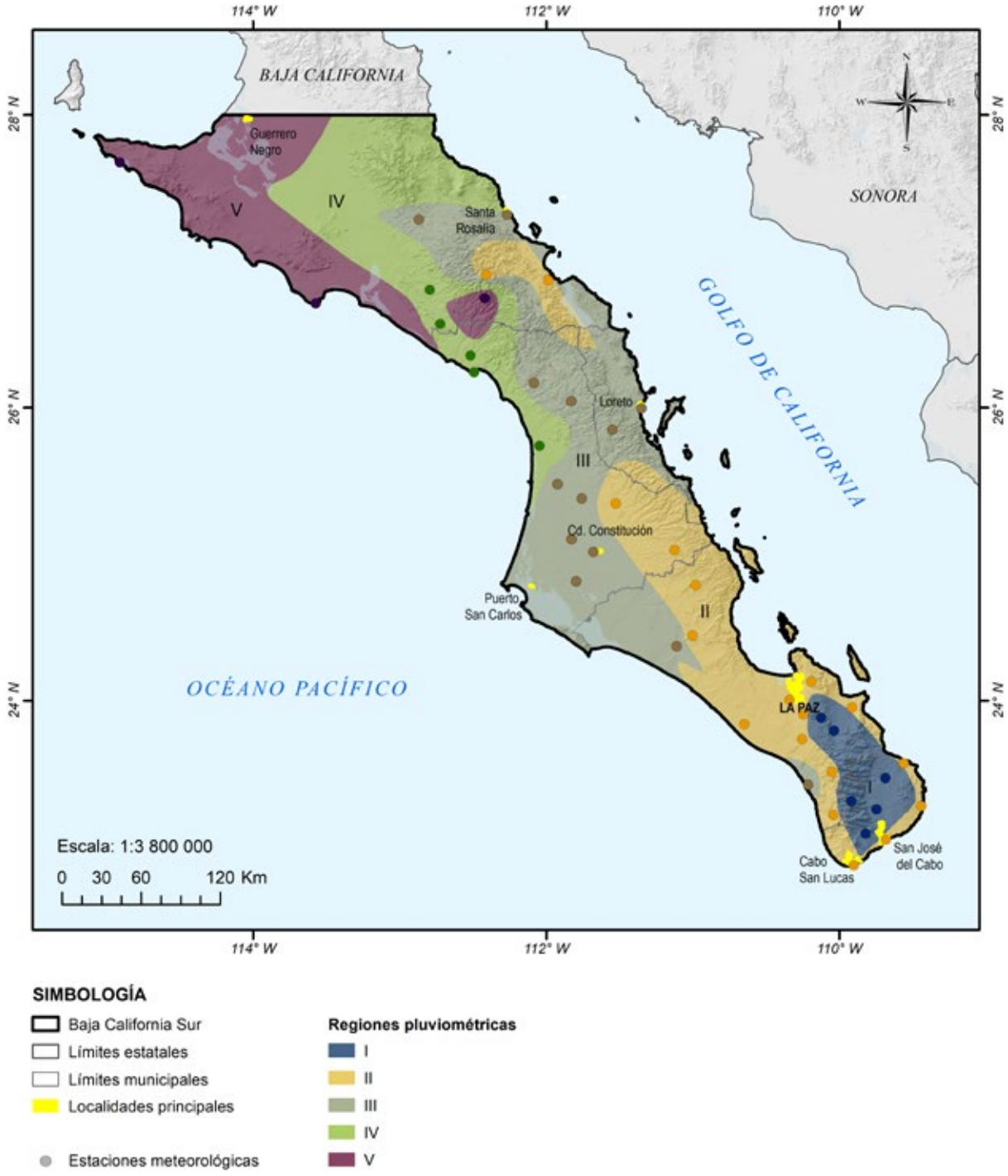


Figura 1. Regiones pluviométricas y estaciones meteorológicas, a partir de los datos del periodo 1960-2012. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 1960-2012, Salinas *et al*. 1990.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

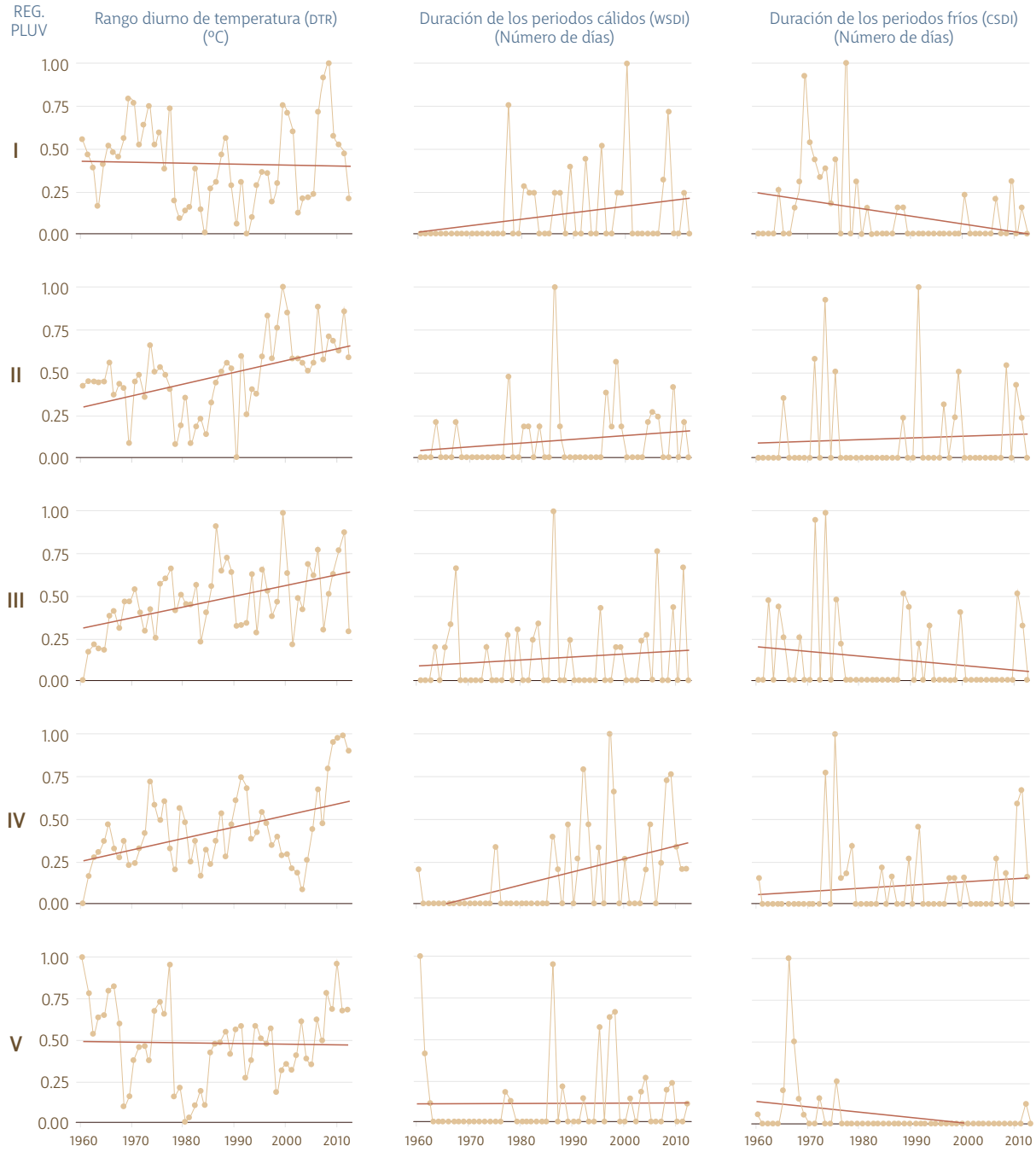


Figura 2. Índices extremos de temperatura en el periodo 1960-2012. Izquierda: rango diurno de temperatura (°C); centro: duración de los periodos cálidos (número de días); derecha: duración de los periodos fríos (número de días). REG PLUV: regiones pluviométricas. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 1960-2012.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

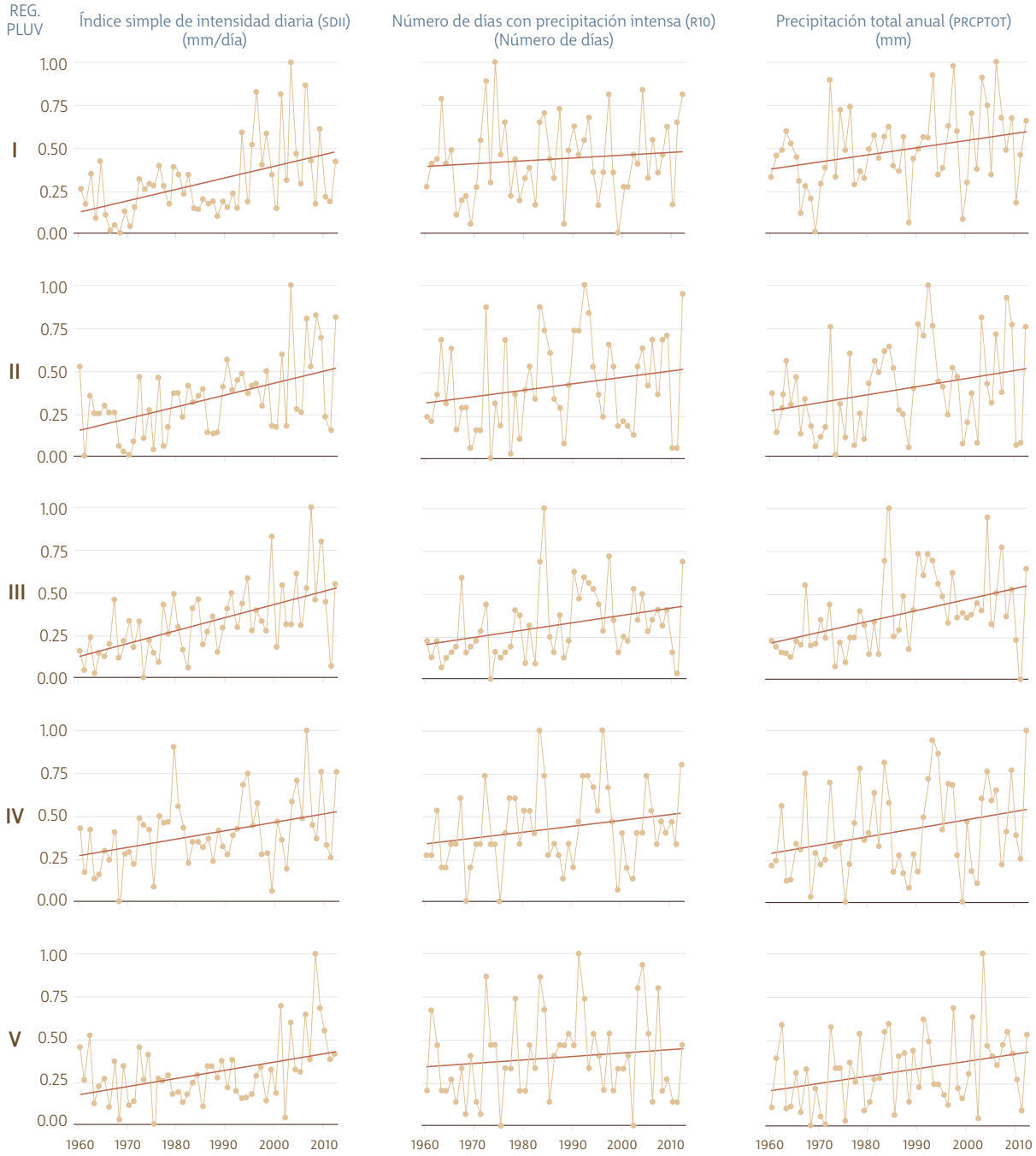


Figura 3. Índices extremos de precipitación en el periodo 1960-2012. Izquierda: índice simple de intensidad diaria (mm/día); centro: número de días con precipitación intensa (número de días); derecha: precipitación total anual (mm). REG PLUV: regiones pluviométricas. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 1960-2012.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones y recomendaciones

A lo largo del periodo 1960-2012, los índices extremos relacionados con la temperatura mostraron tendencias de aumento (regiones II y IV), de aumento y disminución (I y III), y de disminución (V). Asimismo, los índices relacionados con las precipitaciones indicaron una tendencia de aumento para todas las regiones pluviométricas. Todos los índices basados en la temperatura mostraron patrones de comportamiento similar y consistente con tendencia general al calentamiento. No obstante, no se descarta la posibilidad de que ese aumento de la temperatura se deba a que, durante el periodo de estudio, se presentaron 12 años del fenómeno El Niño (fase cálida), y 12 ocasiones La Niña (fase fría).

Es de vital importancia hacer uso racional y adecuado del agua, así como de otros recursos naturales. Los planes estatales de acción ante el cambio climático deben considerar medidas como la racionalización del servicio de agua potable y la concientización a la población para cuidar este recurso cada vez más escaso. Asimismo, se recomienda hacer menor uso de combustibles fósiles (p.e. gasolina y diésel) como medidas de mitigación ante los aumentos de temperatura aquí registrados. En este sentido, se sugiere establecer programas de sensibilización a las comunidades campesinas y pesqueras, sobre la importancia de los recursos naturales, así como el respeto a temporadas de veda de diversas especies y zonas de conservación de áreas naturales protegidas. Conjuntamente, estas medidas se pueden complementar con programas como sustitución de motores fuera de borda que usan gasolina y aceite por motores más ecológicos; así como de dotación a las rancherías de paneles solares y refrigeradores que trabajan con esta fuente de energía.

Además, se recomienda establecer medios para que, de forma eficiente y expedita, las autoridades atiendan a la población local y turística de la zona sur de la entidad (Los Cabos) en caso de afectaciones por eventos meteorológicos extremos. En este sentido, es indispensable que los hoteles cuenten con el abasto suficiente de agua, alimentos y plantas de energía eléctrica para atender a sus huéspedes durante y después de huracanes. El alcance de este trabajo permite únicamente recomendar la realización de estudios de vocación territorial para identificar potenciales actividades productivas alternativas, como una vía para reducir la vulnerabilidad y como medida para promover la sustentabilidad del desarrollo. Es importante aumentar la concientización de las comunidades ante los potenciales impactos del cambio climático, más allá de la influencia de eventos hidrometeorológicos extremos y el aumento de las temperaturas y las sequías, entre otros. Es necesario generar desde todos los sectores de la sociedad una estructura de respuesta, desarrollo de estudios y campañas de información para estar más adaptados.

Referencias

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2017. *Monitor de sequía en México*. En: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>, última consulta: 6 de octubre de 2017.

FCAE. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. 2012. *Enfrenta Baja California Sur la peor sequía en 70 años*. En: <https://agua.org.mx/enfrenta-baja-california-sur-la-peor-sequia-en-70-anos/>, última consulta: 28 de septiembre de 2017.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. *Glosario*. En: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>, última consulta: 8 de octubre de 2019.

Ivanova, A. y A. Gámez (eds.). 2012. *Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur*. UABCS/CIBNOR/CICESE/CICIMAR-IPN/SEMARNAT/CONACYT/INE/Gobierno del Estado, La Paz.

Salinas, C.A., A. Leyva Contreras, D. Lluch Belda y D. Díaz Rivera. 1990. Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera* 3:1-15.

SMN. Servicio Meteorológico Nacional. 2017. *Ciclones tropicales. Información histórica*. En: <http://smn.cna.gob.mx/es/>, última consulta: 28 de septiembre de 2017.

Zhang, X. y F. Yang. 2003. *RClimdex (1.0) User manual*. Climate Research Branch-Environment, Canadá.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Índices de aridez en las regiones pluviométricas y tipos de vegetación, 1960-2012

René Arturo Kachok Gavarain e Ismael Sánchez Brito

Introducción

La bioclimatología es la ciencia que explica la relación existente entre los seres vivos y el clima (Rivas *et al.* 1987). Para ello se apoya en la elaboración, a partir de datos de precipitación y temperatura, de índices para conocer los periodos de lluvia y de aridez, los cuales se representan a través de climogramas o diagramas ombrotérmicos (Martonne 1926). A partir de esto, es posible entender cómo los datos climáticos se relacionan con el tipo de vegetación existente en una región o territorio.

El concepto de aridez se define como la característica de un clima respecto a la insuficiencia de sus precipitaciones para mantener la vegetación. Es la condición por la cual la precipitación es siempre inferior a la evaporación; se refiere a lo seco o lo estéril. Este concepto es bioclimático y está íntimamente ligado al medio vegetal, pero no es un factor determinante, es decir, no es la única condición por la cual se puede identificar o no la presencia de aridez (Peña Manjarrez y Vilchis Martínez 2019).

Relación entre la precipitación y la distribución de la vegetación

En Baja California Sur la precipitación pluvial se puede explicar de dos formas. Por un lado, por la influencia de sistemas convectivos de origen tropical que originan lluvias en los meses de verano a otoño y que se asocian con la incidencia de tormentas tropicales y huracanes. Por otro lado, está el sistema de inestabilidad atmosférica que se produce durante el periodo de invierno, al romperse la inversión térmica ocasionada por la corriente oceánica fría de California, que provoca que el aire se vuelva inestable y favorezca la presencia de precipitaciones (Salinas *et al.* 1990).

En la entidad, 77.84% de la superficie está cubierta de matorral con dominancia de especies como el cardón (*Pachycereus pringlei*), palo Adán (*Fouquieria diguetti*), pitahaya (*Hylocereus undatus*) y pitaya (*Stenocereus gummosus*). La selva de palo blanco (*Lysiloma candida*), torote (*Bursera microphylla*) y jacalosúchil cubre 5.67% del territorio; mientras que 1.33% es bosque de encino roble (*Quercus polimorpha*), encino (*Quercus* spp.), pino piñón (*Pinus cembroides*) y guayabillo (*Alibertia edulis*). Solo 2.33% de la superficie se dedica a la agricultura, y el resto (12.83%) está cubierto de forraje y plantas ornamentales (INEGI 2017).

Para la realización de este estudio se estimaron los índices de aridez a partir de datos de precipitación y temperatura, y su asociación al tipo de vegetación predominante en el estado. Diversos autores han sugerido métodos específicos para establecer un índice numérico con el que se pueda valorar cuantitativamente la

Kachok Gavarain, R.A. e I. Sánchez-Brito. 2025. Índices de aridez en las regiones pluviométricas y tipos de vegetación, 1960-2012. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 324-330.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

aridez de un determinado lugar. De las múltiples metodologías para calcular el índice de aridez, se pueden citar los índices de Martonne, Gaussen, Dantín-Revenga, Emberger, Lang y Thornthwaite, entre otros. Para el presente estudio, considerando la información disponible para llevar a cabo el análisis, se ocuparon los índices de Gaussen, Martonne (1926) y Dantín-Revenga (Dantín 1940, Revenga 1940). De acuerdo con el índice de aridez de Martonne, los tipos de vegetación son:

- Si es ≤ 5: ambiente desértico, árido extremo; si es menor o igual a 10, ambiente semidesértico, árido. Estepa desierta con posibilidad de cultivos de riego.
- Si es ≤ 20: ambiente semiárido, vegetación de estepa y mediterránea de bosque esclerófilo. Zonas de transición con escorrentías temporales.
- Si es ≤ 30: vegetación subhúmeda de bosque y pradera. Escorrentía continua con posibilidad de cultivo de riego.
- Si es ≤ 40: vegetación húmeda. Escorrentía fuerte y continua que permite bosque.
- Si es > 40: vegetación hiperhúmeda. Exceso de escorrentía.

Por su parte, el índice de aridez de Dantín-Revenga clasifica los tipos de vegetación en:

- Si es ≤ 2: zona húmeda. Vegetación forestal húmeda.
- Si es ≤ 3: zona semiárida. Vegetación forestal subhúmeda.
- Si es ≤ 5: zona árida. Vegetación adaptada a la aridez, bosque y matorral esclerófilos.
- Si es > 5: zona semidesértica. Vegetación adaptada a la aridez, estepas y matorral árido o subdesértico.

Regiones pluviométricas del estado

Con los datos diarios de temperatura y precipitación, procedentes de 45 estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para el periodo 1960-2012, se estimó el índice de transición climática (ITC) por precipitación en las cinco regiones pluviométricas (figura 1) definidas por Salinas y colaboradores (1990). Se construyeron climogramas para cada una de ellas y posteriormente, mediante los métodos propuestos por Gaussen, Dantín-Revenga (Biogeografía 2019) y Martonne (Martonne 1926), se determinaron los índices de aridez para relacionarlos con el tipo de vegetación existente en cada región.

Se determinaron cinco regiones pluviométricas debido principalmente a la influencia de los mares adyacentes a la Península de Baja California, ya que el golfo de California, el Pacífico noroeste e incluso el golfo de México tienen un aporte de vapor de agua hacia el Desierto Sonorense. La relación entre el clima oceánico y los volúmenes de precipitación pluvial ha originado el desarrollo de análisis de la variabilidad climática interanual, con objeto de explicar algún sentido periódico en ella. La primera relación ha sido asociada con el fenómeno climatológico de El Niño, y la otra con el fenómeno denominado *mid-latitude warming*, que se presenta entre 23° 26' 22" y 66° 33' 39" N, y entre 23° 26' 22" y 66° 33' 39" S, acarreando agua cálida del océano Pacífico central del norte hacia la costa occidental de las Californias (Salinas *et al.* 1990).

Índices de aridez para las regiones pluviométricas

Con base en la estimación de los índices de aridez de Martonne, en la entidad se encuentran ambientes semiáridos (región pluviométrica I), hasta áridos extremos (V); y de acuerdo con el índice de Dantín-Revenga los ambientes van desde muy húmedos (I), hasta semidesérticos (V). Para las regiones pluviométricas I y II la temperatura media fue de 23°C, y tuvieron un promedio de 5.5 meses lluviosos con una precipitación anual total de 908 mm (enero, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre). Para el caso de la región III la temperatura media fue de 22°C, y tuvo un promedio de cinco meses lluviosos con precipitación anual promedio de 508 mm (principalmente durante los meses de enero, febrero, agosto, septiembre y diciembre). La temperatura media para las regiones IV y V fue de 21°C (figura 2), y solo tuvo un mes lluvioso (diciembre), con volúmenes promedio de precipitación anual de tan solo 300 mm.

Posterior al análisis de las principales características climáticas de las 45 estaciones climatológicas, se describieron elementos como precipitación, temperatura, días con lluvia apreciable, meses secos y tipo de clima. Todo ello con la finalidad de conocer los aspectos climáticos relacionados con los tipos de vegetación y sus patrones de distribución en cada región pluviométrica (figura 3).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

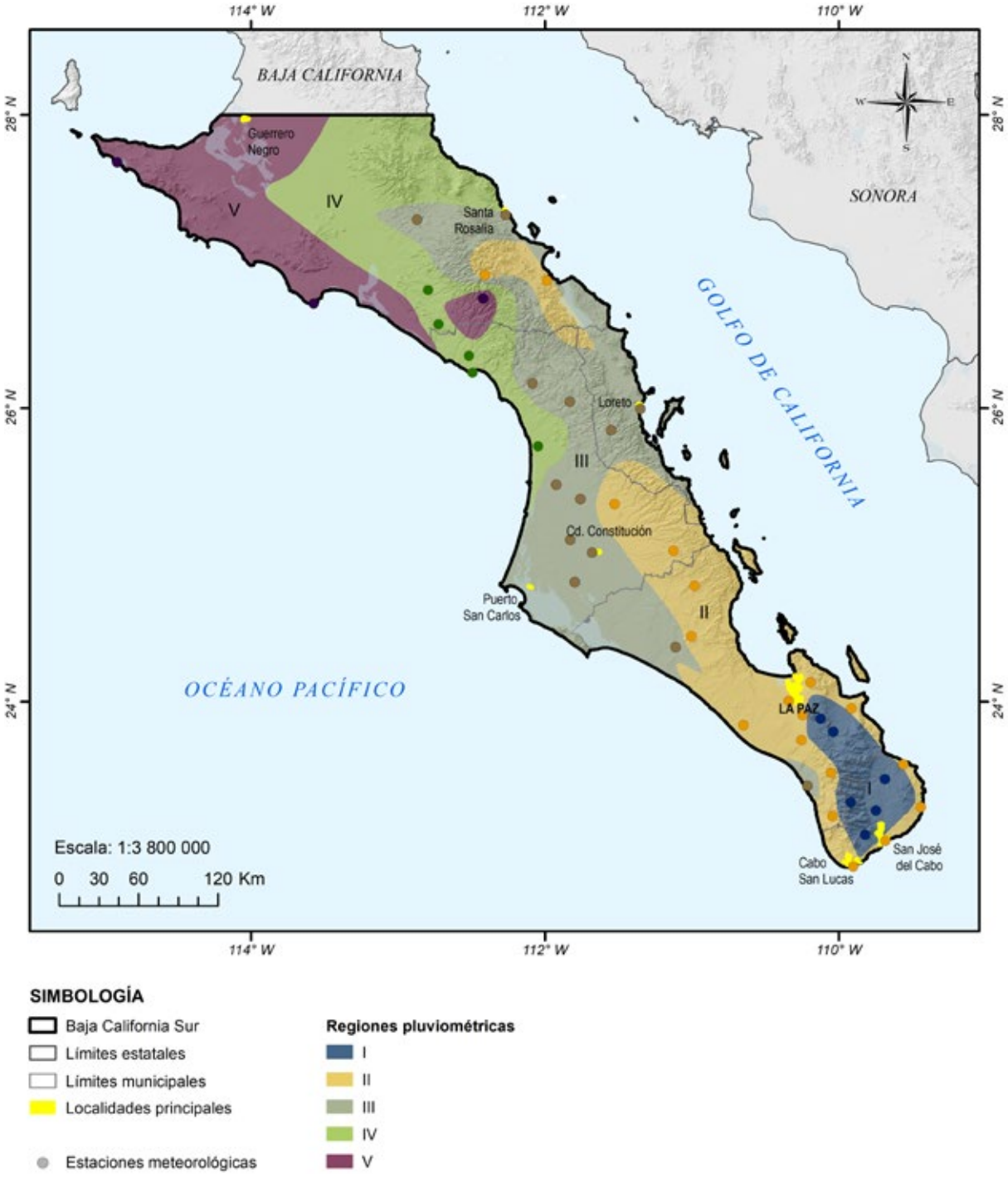


Figura 1. Regiones pluviométricas y estaciones metereológicas, a partir de datos del periodo 1960-2012. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 1960-2012, Salinas *et al.* 1990.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

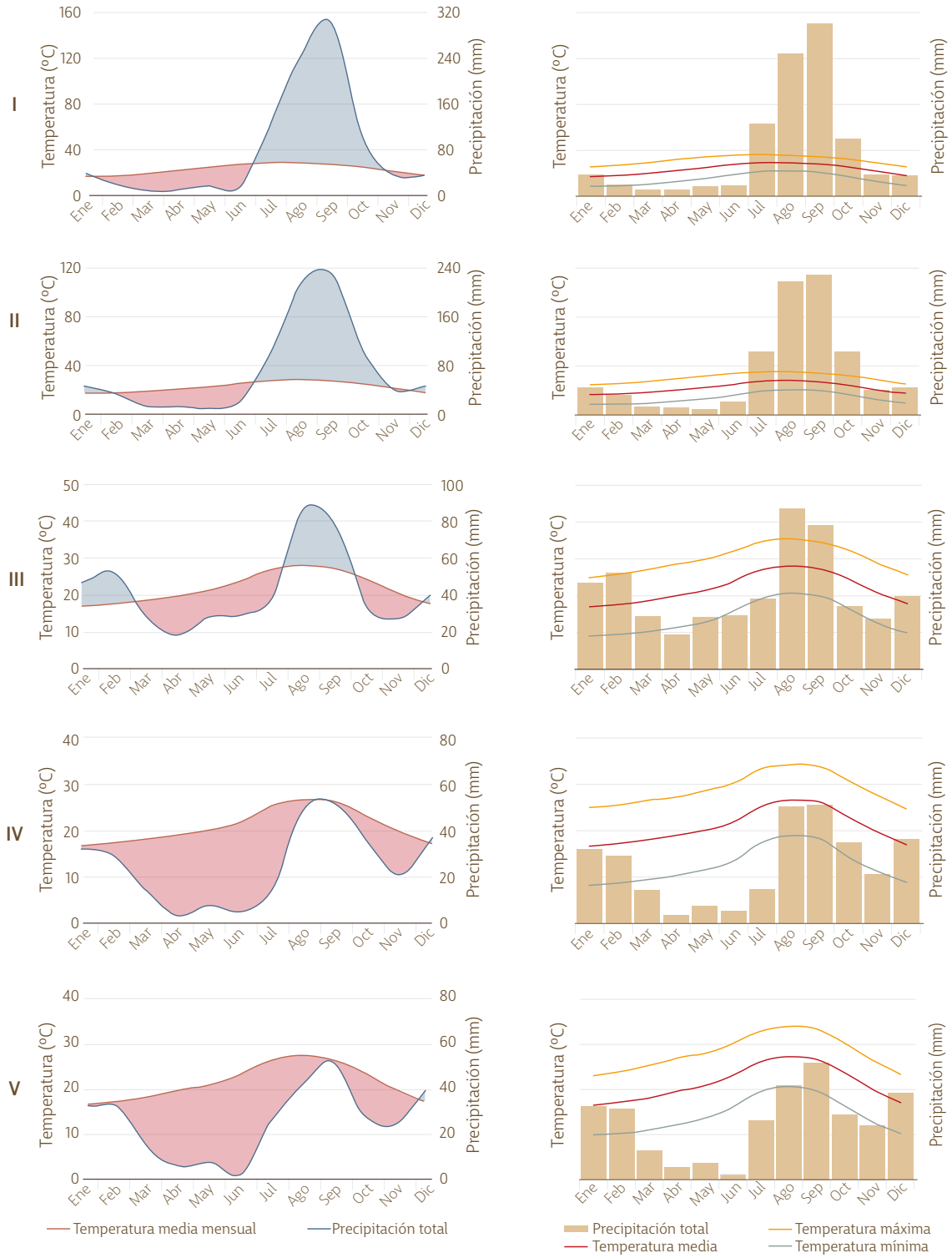


Figura 2. Diagrama ombrotérmico (climograma) de las regiones pluviométricas del estado, para el periodo 1960-2012. Izquierda: periodo de aridez (área roja) y periodo de lluvia (área azul). Derecha: precipitación mensual (barras) y temperaturas máximas, medias y mínimas (líneas). Nota: los gráficos de la derecha comparten la misma escala que los gráficos de la izquierda. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 1960-2012.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

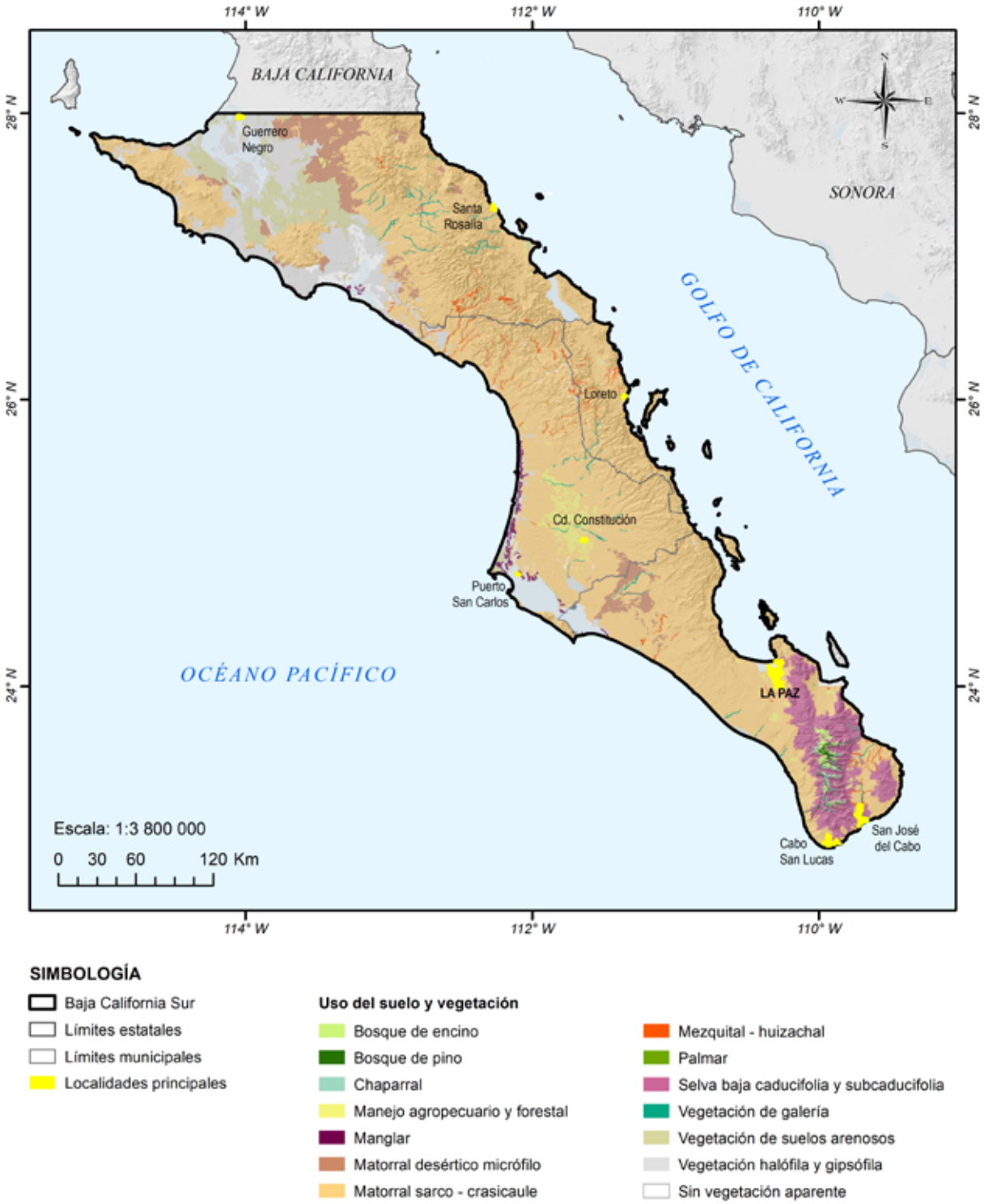


Figura 3. Uso del suelo y vegetación. Fuente: elaboración propia con datos de CONABIO 1999.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Regiones I y II

Conforme al análisis desarrollado, estas regiones presentaron un periodo lluvioso de julio a octubre, inclusive con lluvias anuales superiores a los 100 mm. De acuerdo con el índice de aridez de Martonne, su tipo de vegetación es subhúmeda de pradera (como la existente en la Sierra La Laguna), y considerando el índice de Dantín-Revenga ambas regiones se clasifican como zonas semiáridas. Con base en el mapa de uso del suelo y vegetación modificado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO 1999), el tipo de vegetación en la región I es de bosque de coníferas distintas a *Pinus*, bosque de encino y bosque de pino (específicamente en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna), además de selva baja caducifolia y subcaducifolia, y matorral sarco-crasicaule (plantas carnosas de tallo grueso y plantas de tallo suculento y jugoso). En este último destacan los cactus grandes de tallo aplanado como las nopaleras, y de tallo cilíndrico como el cactus aterciopelado (*Bergerocatus emoryi*), el cactus viejito (*Cephalocereus senilis*), los cardones (*Pachycereus pringlei*), las chollas (*Cylindropuntia cholla*), la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*), la pitaya dulce (*S. thurberi*), el saguaro (*Carnegia gigantea*), la senita (*Lophocereus schottii*), los tetechos (*Neobuxbaumia tetetzo*) y algunos cactus pequeños como el chaute (*Ariocarpus fissuratus*) y el cactus estrella (*Astrophytum asterias*); además de izotes (p.e. *Yucca periculosa*, *Y. filifera*) y palmas (*Washingtonia robusta*), entre otros. En la región II predomina el matorral sarco-crasicaule, matorral desértico micrófilo (con especies de hojas diminutas, como el acebuche *Forestiera angustifolia*), y el mezquital-huizachal (compuesto por *Prosopis juliflora*, *P. laevigata* y *Acacia farnesiana*).

Región III

Con base en el índice de Martonne, esta región es de ambiente semiárido con vegetación de estepa y de tipo esclerófilo; y según Dantín-Revenga es de vegetación adaptada a la aridez, como los matorrales esclerófilos, esto es, vegetación compuesta por árboles pequeños, siempre verdes y de hojas duras. Predomina el matorral sarco-crasicaule, seguido por mezquital-huizachal.

Regiones IV y V

Se encuentran más al norte de la entidad, con déficit de lluvia que ocasiona condiciones de aridez, y que son consecuencia de la influencia de dos fenómenos atmosféricos presentes en el océano Pacífico: un sistema de alta presión y la corriente oceánica fría de California. La vegetación en estas regiones, según el índice de Martonne es de ambiente semidesértico y árido, con estepa desierta; mientras que conforme al índice de Dantín-Revenga es de zona semidesértica, con estepas y matorrales áridos o subdesérticos. Las plantas presentan adaptaciones al clima seco (xerófilas), lo que incluye hojas pequeñas para limitar la pérdida de agua, espinas para protegerse de los animales herbívoros, hojas o tallos suculentos para almacenamiento de agua y raíces pivotantes largas para llegar a las aguas subterráneas. Asimismo, se encuentra vegetación halófila (resistente a altas concentraciones de sal), donde se encuentran arbustos, palmas, cocoteros, cactáceas y algunos árboles de tipo tropical, además de especies como el chamizo (*Adenostoma fasciculatum*), el romerito (*Rosmarinus officinalis*), la verdolaga (*Portulaca oleracea*) y el zacate toboso (*Pleuraphis mutica*). El tipo de vegetación de las regiones pluviométricas IV y V es predominantemente de matorral sarco-crasicaule con especies como cardón, chollas y pitayas; además de matorral desértico micrófilo, con especies como mezquite (*P. juliflora*, *P. laevigata*) y huizache (*A. farnesiana*).

Conclusiones y recomendaciones

Más del 75% del territorio sudcaliforniano presenta cobertura de matorrales, aunque también es posible encontrar selvas secas en la región Los Cabos, manglares en las costas y bosques de pino y encino en Sierra La Laguna. Las cuatro plantas más representativas del estado son la chicura (*Ambrosia franseria bryantii*), la biznaga (*Hamatocactus* spp.), el palo Adán (*F. diguetti*) y el torote (*B. microphylla*). Entre los servicios ecosistémicos que prestan los matorrales están los de regulación de nutrientes, polinización, control biológico, hábitat, refugio y criadero de especies endémicas, producción de alimentos, combustibles, textiles, medicina y plantas ornamentales. Asimismo, proporcionan soporte para actividades culturales, científicas y educativas, y tienen valor estético (CONABIO 2012).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

El análisis de variabilidad climática en el estado, o más específicamente de la precipitación pluvial, muestra una condición crítica, debido a que las actividades económicas dependen en gran medida de la presencia de lluvias. La diversificación de las actividades productivas en el estado reduce la vulnerabilidad de las comunidades. A pesar de que el turismo se considera frecuentemente como una alternativa a la actividad pesquera, este sector económico presenta una de las más altas vulnerabilidades ante el cambio climático a nivel mundial, regional y local. Otras actividades con serios retos son la ganadería y la agricultura, por el limitado acceso al agua; y en el caso particular de la ganadería, existe mortandad de ganado como consecuencia de altas temperaturas provocadas por las sequías y la disminución de áreas de pastoreo. En este sentido, se recomienda llevar a cabo estudios de vocación territorial para identificar potenciales actividades productivas alternativas a la pesca, la ganadería y la agricultura, como una forma para reducir la vulnerabilidad y como vía para promover la sustentabilidad del desarrollo del estado.

Referencias

Biogeografía. 2019. *Bioclimatología*. En: <https://biogeografia.netau.net/bioclima2.html>, última consulta: 18 de septiembre de 2016.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1999. *Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO*. En: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/usv731mgw>, última consulta: 16 de octubre de 2017.

—. 2012. *Matorrales*. En: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/Matorral.html>, última consulta: 10 de octubre de 2019.

Dantín, J. 1940. La aridez y el endorreismo en España. El endorreismo bético. *Estudios Geográficos* 1(1):75-117.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2017. *Cuéntame. Información por entidad: Baja California Sur*. En: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bcs/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=03>, última consulta: 29 de septiembre de 2017.

Martonne, de E., 1926. Areisme et indice d´aridité. *Comptes Rendus de L´Academie des Sciences de Paris* 182:1393-1398.

Revenga, A. 1940. Contribución al estudio de la hidrografía de la Península Ibérica. Perfiles longitudinales de los ríos Guadiel y del Rumblar. *Estudios Geográficos* 1(1):169-184.

Rivas, S., J. Gandullo y J. Allué. 1987. *Síntesis corológica de España a escala 1:1 000 000*. Informe final CAYCIT, PR 82-1825.

Salinas, C.A., A. Leyva Contreras, D. Lluch Belda y D. Díaz Rivera. 1990. Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera* 3(3):1-15.

Peña Manjarrez, V. y J.A. Vilchis Martínez. 2019. *Automatización para el cálculo del índice de aridez, en un ambiente SIG*. En: <https://pdfcoffee.com/indice-de-aridez-en-ambiente-sig-pdf-free.html>, última consulta: 26 de enero de 2023.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Tendencias de cambio en la cobertura vegetal: cambio de uso del suelo y variabilidad climática

Raúl Octavio Martínez Rincón, César Augusto Salinas Zavala, María Verónica Morales Zárate y David Gómez Gallardo

Introducción

El monitoreo de la cobertura vegetal es fundamental para detectar cambios en el uso del suelo que pueden generar impactos ambientales como la desertificación y la pérdida de la biodiversidad. Sin embargo, los métodos de monitoreo tradicionales (p.e. fotografía aérea) son costosos y usualmente están limitados espacial y temporalmente. Como alternativa a los métodos tradicionales, en la década de los ochenta, científicos de la Administración Espacial y Aeronáutica Nacional (NASA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos de América, propusieron el uso de imágenes de satélite para monitorear la cobertura vegetal a nivel regional y global, mediante el empleo de índices de vegetación (IV). A partir de las imágenes de satélite fue posible caracterizar y describir la cobertura vegetal que da forma a los ecosistemas (Kogan 1997), así como identificar aquellos cuya cobertura es afectada por factores de presión como el cambio de uso del suelo o el cambio climático.

La cobertura vegetal depende de la presencia y/o dominancia de las especies que la componen. En Baja California Sur, los matorrales se caracterizan por la dominancia de arbustos de los géneros *Jatropha*, *Bursera* y *Fouquieria* (ocupan 86% de la superficie); le siguen en importancia la selva baja caducifolia (en la región Los Cabos) con los géneros *Lysiloma*, *Jatropha*, *Cyrtocarpa*, *Bursera*, entre otros; y los manglares (en las costa del golfo de California y Pacífico) con *Rhizophora*, *Laguncularia* y *Avicennia*. En la parte sur del estado, en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna existen bosques principalmente de encino (*Quercus* spp.; INEGI 2018).

Índices de vegetación

Los IV se utilizan para describir la cobertura vegetal y los cambios que experimenta en diferentes escalas espaciales (local, regional o global) y temporales (diaria, mensual o anual). Éstos ocupan la fracción del espectro de luz que reflejan los diferentes elementos del paisaje (vegetación, suelo, agua, entre otros) en diferentes longitudes de onda (p.e. visible e infrarrojo; Tucker 1979); en otras palabras, se utiliza el grado de verdor como indicador de la densidad relativa y la salud de la vegetación, así como de los ecosistemas terrestres.

Los IV se obtienen a partir de algoritmos matemáticos de diversa índole. Uno de los más utilizados es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), el cual ha demostrado tener una alta concordancia con la cobertura vegetal presente en diferentes tipos de ecosistemas terrestres (desier-

Martínez-Rincón, R.O., C.A. Salinas-Zavala, M.V. Morales-Zárate y D. Gómez Gallardo. 2025. Tendencias de cambio en la cobertura vegetal: cambio de uso del suelo y variabilidad climática. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 332-338.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

tos, pastizales, bosques, entre otros). El NDVI se calcula considerando la parte de la luz reflejada en el infrarrojo cercano (IRC) menos la que es reflejada en el rojo, entre la sumatoria de ambos:

Esta ecuación surge debido a que se ha demostrado que plantas con mayor verdor reflejan mayor cantidad de energía en el IRC y, por el contrario, reflejan una menor cantidad de energía en el rojo (Tucker 1979). El NDVI tiene valores entre -1 (cuerpos de agua y nieve) y 1 (bosques y selvas); los valores cercanos a 0 se asocian con suelos desnudos o con una cobertura vegetal muy escasa. Para el caso de Baja California Sur, los valores más altos del NDVI se encuentran en la parte sur, particularmente en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna y áreas adyacentes. Otros lugares con valores altos del NDVI se encuentran en la Sierra de San Francisco, Sierra de Guadalupe, Sierra La Giganta y en los canales de Santo Domingo (al norte de bahía Magdalena). Por el contrario, los valores más bajos se encuentran en la parte norte, principalmente en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (figura 1).

Tendencia de la cobertura vegetal

La evaluación de la variación temporal en la cobertura vegetal requiere series de tiempo lo suficientemente largas que permitan detectar los cambios que se suceden. Uno de los métodos más utilizados para detectar cambios temporales en la cobertura vegetal es la implementación de modelos de regresión lineal simple a series de tiempo del NDVI (Van Leeuwen *et al.* 2013). La pendiente descrita en el modelo de regresión puede tomar valores negativos o positivos. Cuando la pendiente es negativa sugiere una tendencia negativa en el NDVI, que significa una disminución en el verdor de la vegetación; cuando la pendiente es igual a 0, significa que el verdor de la vegetación se ha mantenido constante durante el periodo de estudio; y cuando la pendiente es positiva significa que ocurrió un aumento en el verdor de la vegetación.

En este contexto, se realizó una clasificación de la tendencia del NDVI en Baja California Sur, en función de los valores de las pendientes registradas durante 2001-2016. De esta manera, el territorio sudcaliforniano se puede dividir en 5 categorías: 1) tendencia negativa fuerte (0.003% de la superficie estatal), 2) tendencia negativa moderada (0.14%), 3) tendencia neutra (98.68%), 4) tendencia positiva moderada (1.16%), y 5) tendencia positiva fuerte (0.005%). La mayor parte del estado presenta tendencias ligeramente positivas, lo que indica un leve incremento en el verdor de la vegetación. En la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno se observaron tendencias negativas, principalmente en zonas aledañas a las lagunas San Ignacio y Ojo de Liebre, en la costa del Pacífico. La parte sur del estado (municipios de La Paz y Los Cabos) también presenta valores con tendencia negativa, especialmente en zonas aledañas a las ciudades La Paz, Cabo San Lucas y San José del Cabo. En estas localidades se registraron los valores más bajos de tendencia del NDVI, lo que indica que la cobertura vegetal ha experimentado un alto nivel de deterioro (figura 2).

Efecto de la variabilidad climática

Evaluar el efecto del cambio climático en la cobertura vegetal representa un gran reto, puesto que la definición del cambio climático conlleva a la caracterización de la variabilidad climática en series de tiempo de décadas. Sin embargo, científicos alrededor del mundo han utilizado índices climáticos como una aproximación para medir la variabilidad climática. El Índice Multivariado del Niño (MEI por sus siglas en inglés) se ocupa ampliamente para evaluar y describir la variabilidad de la temperatura superficial del mar en una región oceánica del océano Pacífico ecuatorial. Este índice describe el fenómeno de El Niño,[1] el cual tiene un gran impacto en las condiciones ambientales que se presentan tanto en el océano como en la atmósfera.

Diversos trabajos demuestran que durante eventos El Niño, la precipitación aumenta considerablemente en zonas tropicales, y se promueve así un aumento en el vigor de la vegetación (Plisnier *et al.* 2000, Erasmi *et al.* 2009, Van Leeuwen *et al.* 2013). Por el contrario, durante eventos La Niña,[2] la precipitación disminuye considerablemente, y se promueve así una disminución

1 Se caracteriza por la presencia de masas de agua más cálidas que en años normales, lo que usualmente aumenta la humedad atmosférica de la región.
2 Se caracteriza por la presencia de masas de agua más frías que en años normales, lo que usualmente disminuye la humedad atmosférica de la región.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

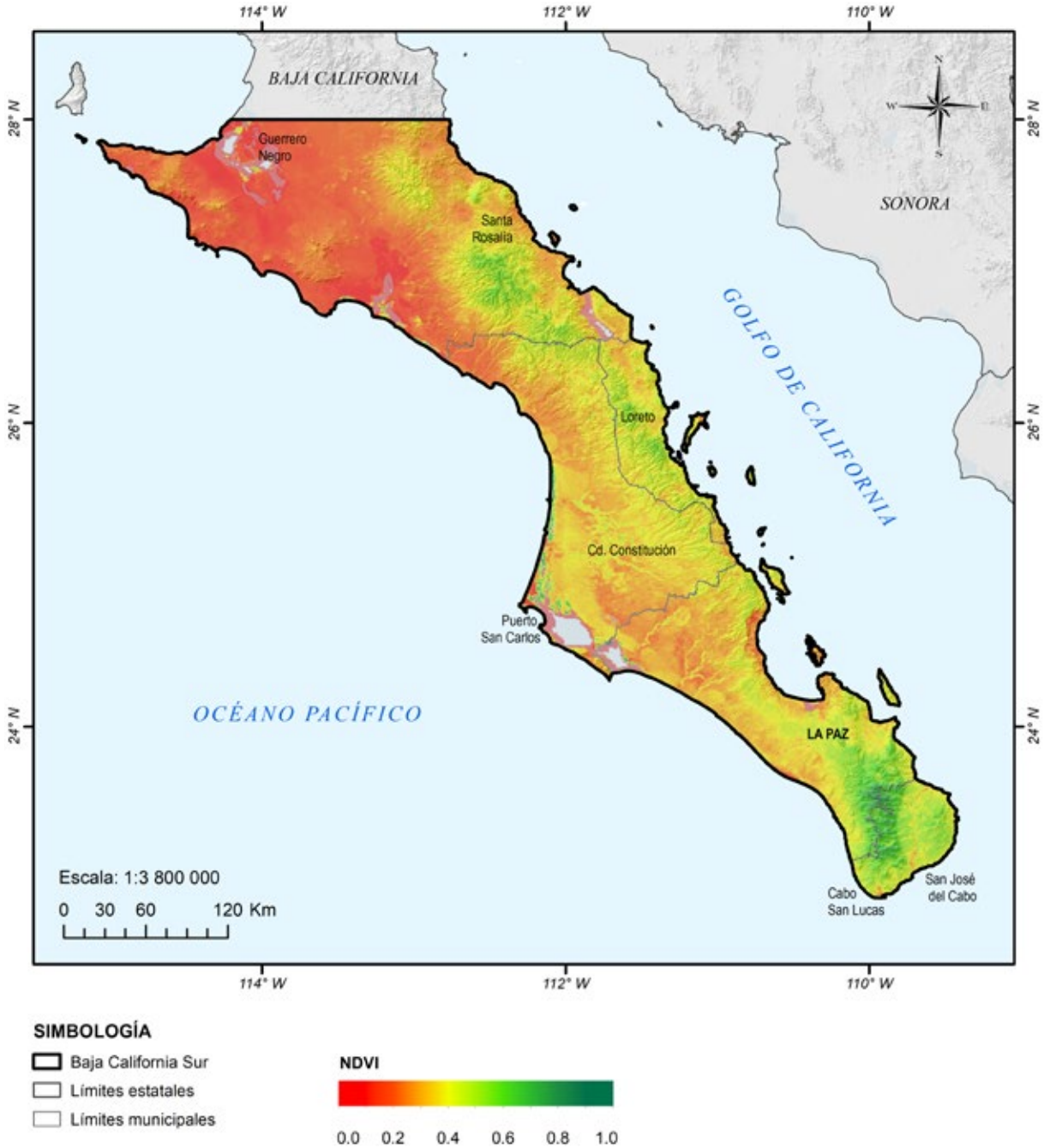


Figura 1. Promedio del NDVI para el periodo 2001-2016. Estas imágenes de satélite tienen una resolución espacial de 250 m, es decir, cada pixel representa el promedio del NDVI de un área de 250 x 250 m, equivalente a una superficie de 62 500 m². Fuente: elaboración propia con datos de NASA 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

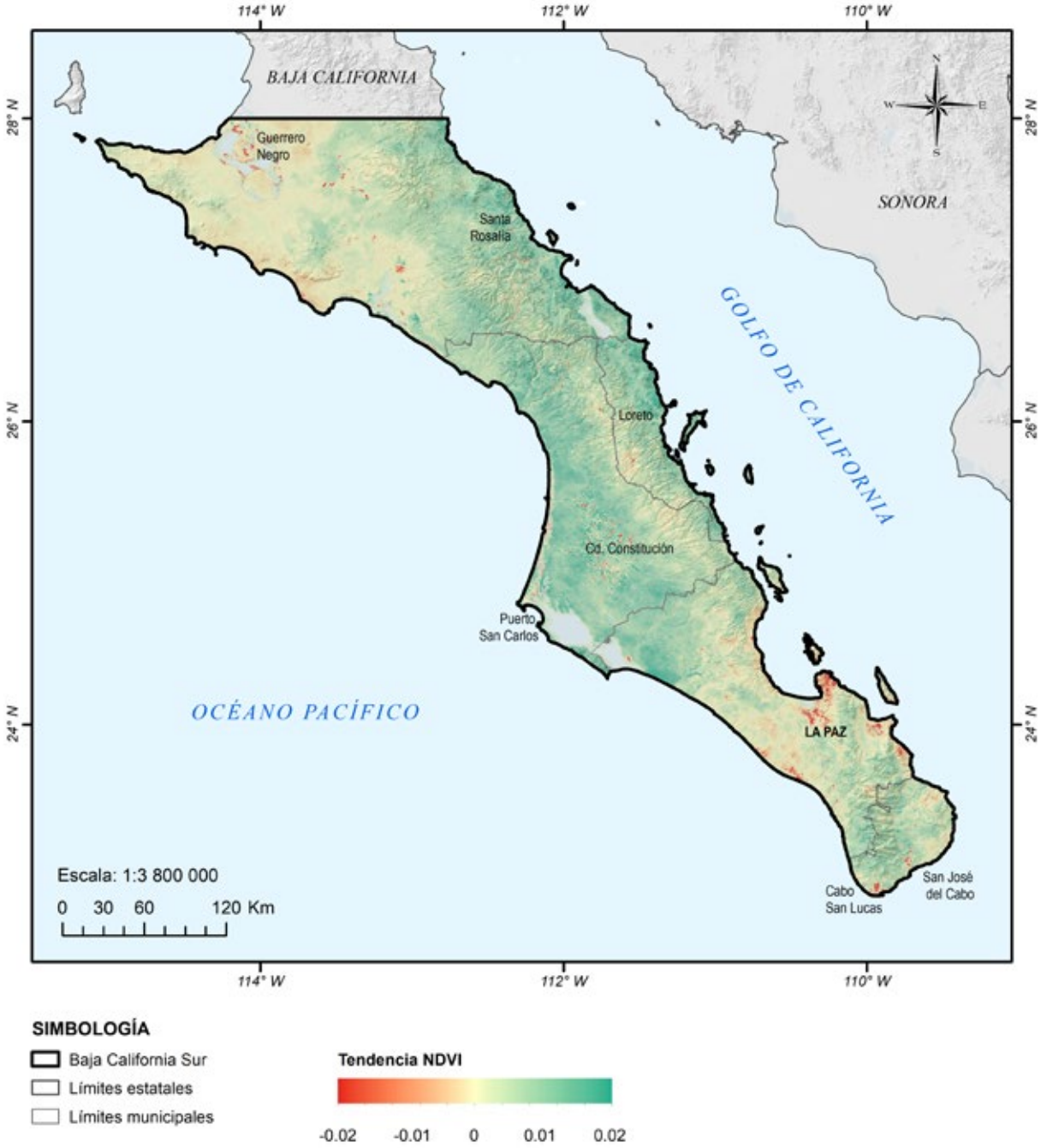


Figura 2. Tendencia del NDVI calculado para el periodo 2001-2016. Fuente: elaboración propia con datos de NASA 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

en el vigor de la vegetación (Kogan 2000). Por ello, en años recientes ha aumentado el número de publicaciones científicas donde se relacionan cambios en la cobertura vegetal con el MEI. En el caso de Baja California Sur, las señales de las anomalías del NDVI han sido muy similares en los últimos años y a diferentes latitudes (figura 3a); además, se aprecia que existe una alta correlación entre estas anomalías y el MEI a lo largo del periodo 2001-2016 (figura 3b). Lo anterior indica que durante eventos El Niño el vigor de la vegetación aumenta, contrario de lo que sucede en La Niña donde el vigor de la vegetación disminuye.

Por su parte, si se analiza geográficamente la correlación entre las anomalías del NDVI y el MEI durante el periodo 2001-2016, se aprecia que dicha correlación tiene patrones espaciales muy definidos. Las correlaciones más altas (valores cercanos a 1) se presentan en la parte sur del estado y en las sierras (donde el NDVI tiene valores más altos). A su vez, los valores que no denotan correlación (valores cercanos a 0) se presentan en algunas partes al norte del estado y en el municipio de Comondú (zonas donde el NDVI es más bajo). Finalmente, también se registraron correlaciones negativas (valores cercanos a -1) en el territorio sudcaliforniano, particularmente al noroeste de la entidad, lo que indica que durante eventos El Niño la vegetación disminuyó su vigor.

Conclusiones y recomendaciones

Por la gran variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal, se recomienda realizar estudios puntuales en las zonas detectadas con tendencias negativas. Esto permitirá evaluar de manera detallada

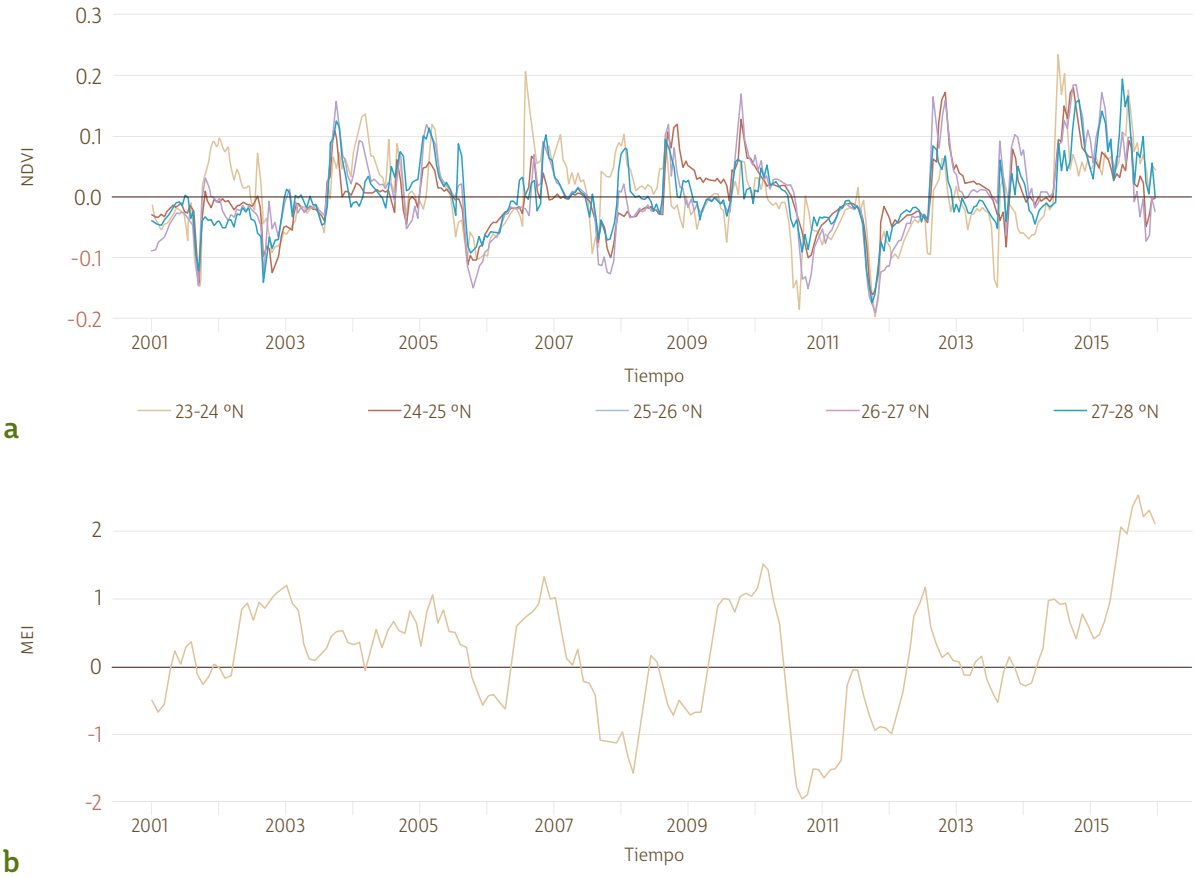


Figura 3. Series de tiempo de las anomalías de: a) el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI); b) el Índice Multivariado del Niño (MEI). Fuente: elaboración propia con datos de NASA 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

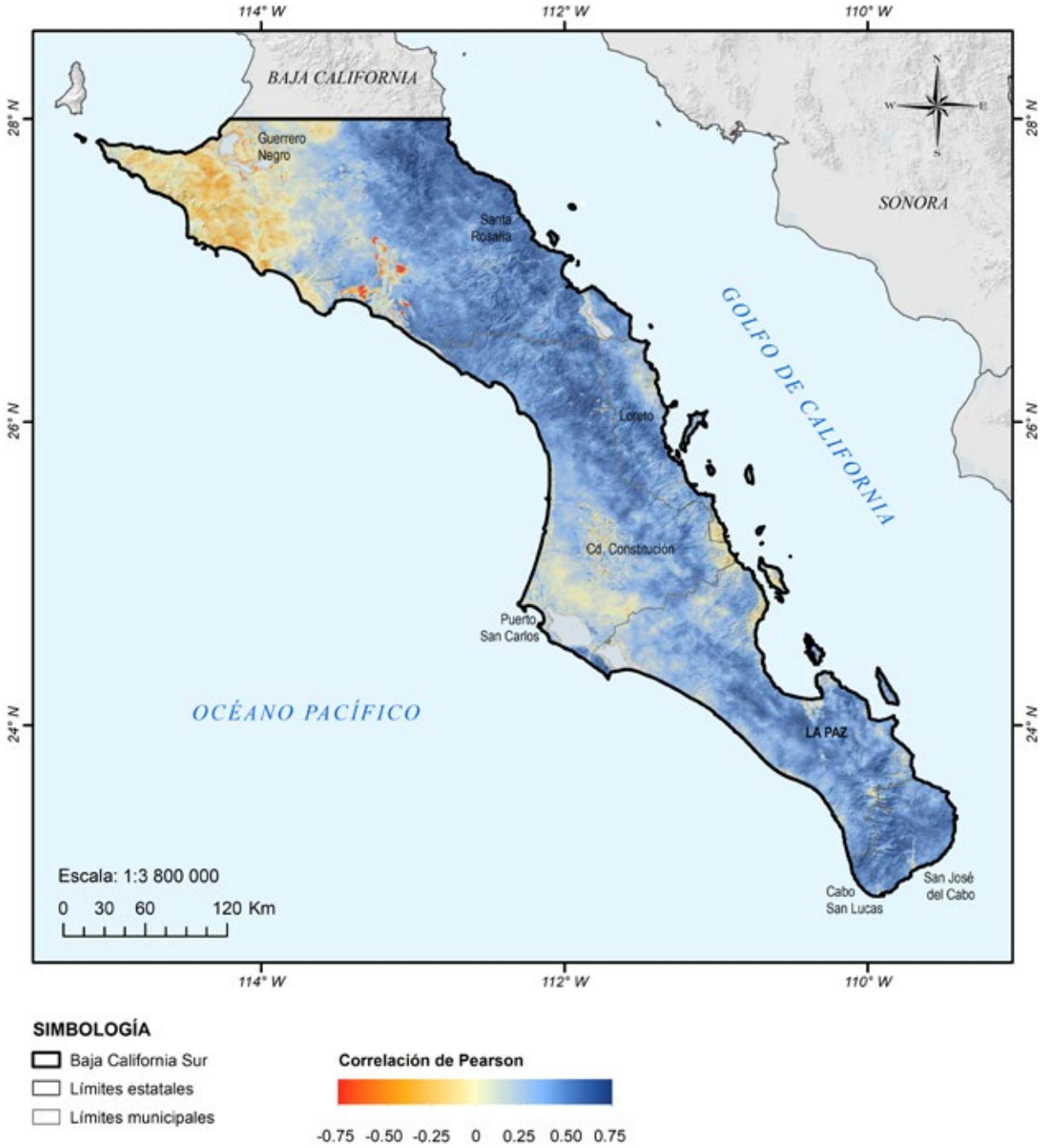


Figura 4. Correlación entre las anomalías del NDVI y el MEI calculados para el periodo 2001-2016. Fuente: elaboración propia con datos de la NASA 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

los cambios que han sufrido los ecosistemas terrestres a causa del cambio de uso del suelo, particularmente en términos de pérdida de hábitat y por lo tanto de biodiversidad. De igual forma, se recomienda realizar una caracterización minuciosa de la cobertura vegetal en las áreas que presentan una mayor variabilidad, con la finalidad de identificar los factores que están ejerciendo la mayor presión sobre los ecosistemas, ya sean de origen antrópico o natural.

Referencias

Erasmi, S., P. Propastin y M. Kappas. 2009. Spatial patterns of NDVI variation over Indonesia and their relationship to ENSO warm events during the period 1982-2006. *Journal of Climate* 22:6612-6623.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2018. *Flora y fauna de Baja California Sur*. INEGI, México.

Kogan, F.N. 1997. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78:621-636.

—. 2000. Satellite-observed sensitivity of world land ecosystems to El Niño/La Niña. *Remote Sensing Environment* 74:445-446.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. 2017. *Normalized difference vegetation index series obtained by moderate-resolution imaging spectroradiometer*. En: <https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13q1>, última consulta: 14 de octubre de 2019.

Plisnier, P.D., S. Serneels y E.F. Lambin. 2000. Impact of ENSO on East African ecosystems: a multivariate analysis based on climate and remote sensing data. *Global Ecology and Biogeography* 9:481-497.

Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environment* 8:127-150.

Van Leeuwen, W.J.D., K. Hartfield, M. Miranda y F.J. Meza. 2013. Trends and ENSO/AAO driven variability in NDVI derived productivity and phenology alongside the Andes mountains. *Remote Sensing* 5:1177-1203.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cambio climático y florecimientos algales nocivos

David Javier López Cortés,[†] Francisco Eduardo Hernández Sandoval, Erick Julián Núñez Vázquez, Christine Johanna Band Schmidt, José Jesús Bustillos Guzmán, Ignacio Leyva Valencia y César Augusto Salinas Zavala

Introducción

Las actividades económicas en las últimas décadas han provocado perturbaciones sin precedentes en el ciclo global del carbono, lo cual ha contribuido al cambio climático y la alteración del pH del océano (Fu *et al.* 2010). Los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) muestran evidencias de las alteraciones climáticas y pronostican diferentes escenarios que afectarán los ecosistemas marinos (IPCC 2007). Las repercusiones más inmediatas que se pronostican son: a) incremento en la temperatura superficial del mar, b) alteración de la sincronía de los periodos climáticos cálidos y fríos, c) aumento de la estratificación y disminución de la capa de mezcla del océano, d) reducción de la emersión de nutrientes en algunas zonas, e) incremento de lluvias torrenciales y de intensidad de huracanes, f) aumento en el acarreo de compuestos terrígenos a las zonas costeras, y g) mayor incidencia de rayos solares y radiación ultravioleta.

El incremento de la asimilación del bióxido de carbono (CO_2) en el agua puede ocasionar una reducción en el pH, y causar una acidificación del océano, así como una alteración en el balance químico elemental del carbonato (CO_3^{2-}). Este tipo de alteración se reporta desde la plataforma continental de Canadá hasta San Gregorio, en Baja California Sur, con valores de pH menores a 7.7 que afectan a especies marinas que requieren asimilar carbonato de calcio ($CaCO_3$; Feely *et al.* 2008, 2016), entre ellas fitoplancton como los cocolitofóridos. Las costas sudcalifornianas poseen una alta diversidad de especies fitoplanctónicas (Martínez-López y Verdugo-Díaz 2000) y algunas de ellas son nocivas (Garate-Lizárraga *et al.* 2016a, b). Aunque no existe un consenso en la comunidad científica sobre cómo el cambio climático promueve de manera directa la formación de florecimientos algales nocivos (también denominados FAN; Wells *et al.* 2015), hay evidencias que demuestran que diversos aspectos físico-químicos afectan a las comunidades de fitoplancton (p.e. variaciones en la temperatura del agua, incrementos en eutrofización, vientos, huracanes, niveles de CO_2 y cambios en el pH del océano; Hallegraeff 2015).

Florecimientos algales nocivos

Muchas especies que forman FAN se encuentran en las costas del estado. En este sentido, Muciño-Márquez (2010) registró para la bahía de La Paz 78 especies, y Gárate-Lizárraga y colaboradores (2016b) reportaron

López-Cortés, D.J., F.E. Hernández-Sandoval, E.J. Núñez-Vázquez, C.J. Band-Schmidt, J. Bustillos Guzmán, I. Leyva-Valencia y C.A. Salinas-Zavala. 2025. Cambio climático y florecimientos algales nocivos. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 340-348.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

para la costa occidental 80 (54 de diatomeas y 26 de dinoflagelados). Algunas de estas especies han ocasionado daños a la salud animal y a la economía de la región, como es el caso de *Pseudo-nitzschia* spp. que se asoció a mortalidad de aves en la región Los Cabos (Sierra-Beltrán *et al*. 1997).

En 2006, un FAN de las diatomeas *Pseudo-nitzschia* spp. y *Thalassiosira eccentrica* en la bahía de La Paz ocasionó la muerte de 106 t de pescado y otros organismos marinos. Durante este evento se implementó una veda sanitaria que afectó la economía de los pescadores ribereños (Guluarte-Castro y Bañuelos 2007, López-Cortés *et al*. 2015); sin embargo, no se cuantificaron estas pérdidas. Durante 2007, se reportó un FAN del dinoflagelado *Akashiwo sanguinea* en la región costera de Punta Abreojos en la costa del Pacífico del estado, el cual impactó diferentes pesquerías con pérdidas estimadas de 1 784 616 dólares (Herrera-Sepúlveda *et al*. 2008, Núñez-Vázquez *et al*. 2011).

Una década después, en junio de 2017, en la bahía de La Paz se presentó un FAN del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* productor de toxinas paralizantes (PSP por sus siglas en inglés), acompañada de otras especies que también fueron abundantes: *Mesodinium rubrum*, *Chaetoceros* spp. *Pseudo-nitzschia* spp. y *Gonyaulax spinifera*. Durante este FAN se registraron fuertes vientos que causaron movimientos de convección de la columna de agua y con ello el transporte de nutrientes desde aguas profundas a la superficie, lo que ocasionó una disminución de la temperatura superficial del agua (entre 20 y 23°C; figura 1), comparada con la temperatura habitual (28°C) que se presenta en esta época del año (Reyes-Salinas 1999). Esta condición hidrográfica y química favoreció la proliferación de *G. catenatum* y las otras especies de fitoplancton.

La duración de este FAN fue extensa y los valores de toxinas paralizantes[1] para muestras de fitoplancton y especies de moluscos como el callo de hacha (*Atrina maura*), rebasaron el límite máximo permitido para su consumo por la NOM-242-SSA1-2009 (SS 2011). Ante esto y para evitar los síntomas por intoxicación (cuadro 1), la Comisión Estatal para Riesgos Sanitarios del estado (COEPRIS-BCS) implementó una veda sanitaria para la extracción y venta de moluscos bivalvos de la región.

En la entidad, varias de las especies que producen florecimientos algales en las costas se les reconoce en la literatura por producir diferentes toxinas potencialmente peligrosas para la salud pública, entre ellas toxinas paralizantes, toxinas diarreicas y ciguatoxinas (cuadro 2). Por ejemplo, la enfermedad conocida como ciguatera o ciguata se origina por ingerir peces (p.e. barracuda, cabrillas, pargos) contaminados con ciguatoxinas (CTX) producidas por dinoflagelados epibentónicos de los géneros *Gambierdiscus* y *Fukuyoa*. Estas especies de dinoflagelados habitan sobre las macroalgas, corales y pastos marinos, y los peces al alimentarse de ellos ingieren las toxinas de los dinoflagelados y las acumulan. Se cuenta con registros de diversas especies de dinoflagelados en las bahías de La Paz, Magdalena y en el Parque Nacional Cabo Pulmo (Okolodkov y Gárate-Lizárraga 2006, Núñez-Vázquez *et al*. 2019), lo que representa un riesgo potencial para la salud pública (figura 2).

Además de las toxinas que producen, algunas especies recurrentes en la entidad producen metabolitos secundarios que pueden tener efectos alelopáticos.[2] En este sentido, Dorantes-Aranda y colaboradores (2009, 2010) demostraron el efecto tóxico de *Margalefidinium polykrikoides* y hemolítico en el pargo (*Lutjanus guttatus*); Campa-Córdova y colaboradores (2009) encontraron que al exponer juveniles de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) a *Prorocentrum lima*,[3] se activan las defensas antioxidantes. Este mismo dinoflagelado, tiene efectos negativos en la expresión de genes asociados al sistema inmune, así como al ciclo celular en el ostión (*Crassostrea gigas*), por lo que causa mortalidades mayores a 40% (Romero-Geraldo y Hernández-Saavedra 2014, Romero-Geraldo *et al.* 2014). Recientemente, Pérez-Morales y colaboradores (2017) demostraron el efecto letal del dinoflagelado *M. polykrikoides* y la rafidofícea *Chattonella* sp. en larvas de camarón (*L. vannamei*).

1 Valores obtenidos en el Laboratorio de Microalgas Nocivas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR).
2 Es cuando un organismo produce uno o más compuestos bioquímicos que influyen negativamente en el crecimiento, supervivencia o reproducción de otros organismos.
3 Dinoflagelado productor de toxinas como el ácido okadaico y la dinofisistoxina-1 (Heredia-Tapia *et al*. 2002).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

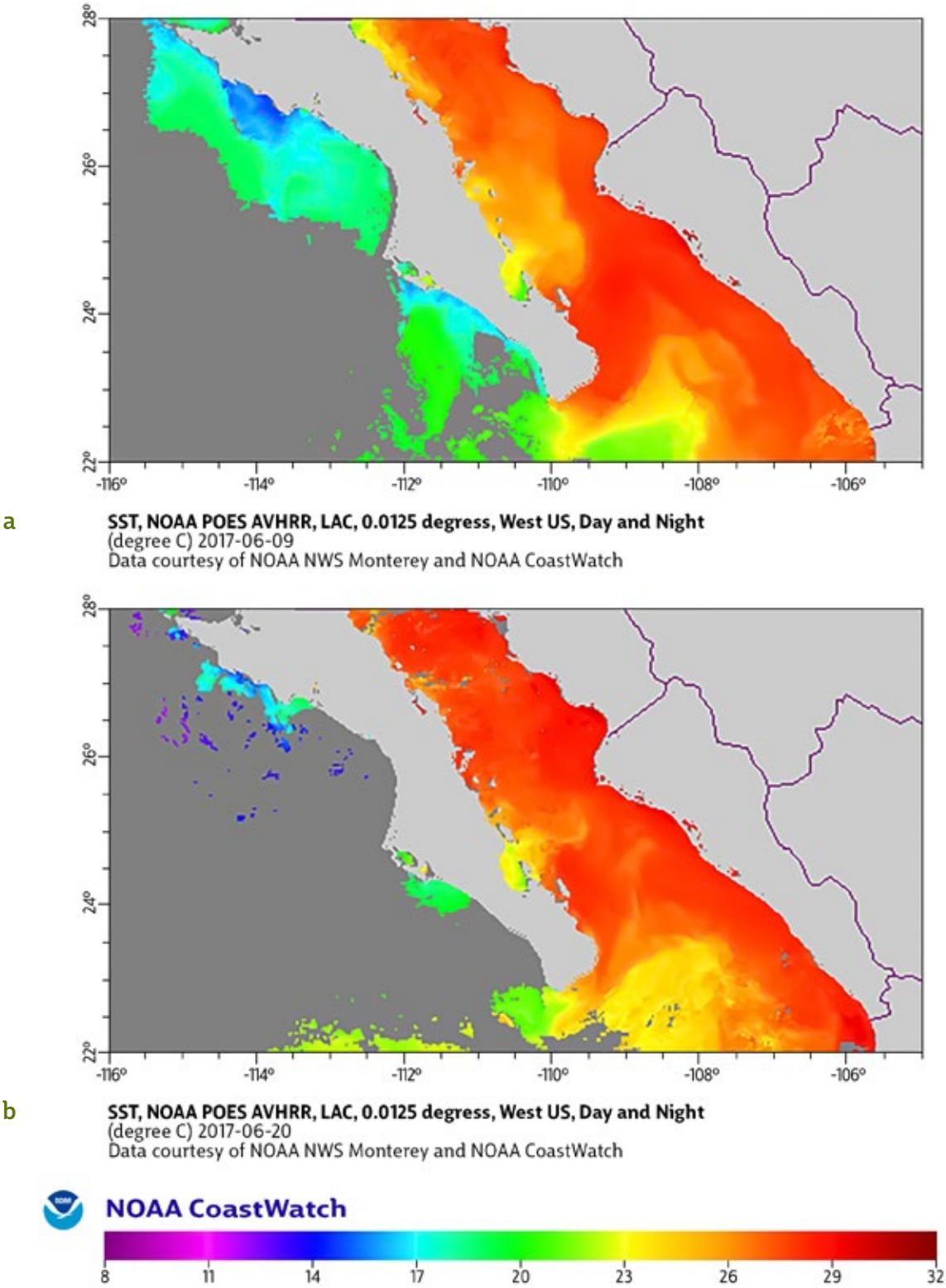


Figura 1. Imágenes de satélite de temperatura superficial del mar durante una proliferación masiva de *Gymnodinium catenatum* y otras especies de fitoplancton en la bahía de La Paz, en junio de 2017. a) 9 de junio; b) 20 de junio. Fuente: Coast Watch 2018.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Tipo de toxinas producidas por microalgas y los síntomas generales que causan en el humano.

Tipo de toxina	Especies productoras	Síntomas generales
PARALIZANTES (PSP) Intoxicación paralizante por consumo de mariscos	*Gymnodinium catenatum*,* *Alexandrium* spp.,* y *Pyrodinium bahamense**	Sensación de hormigueo; entumecimiento de cara, cuello, manos, náuseas, vómito, disnea, ataxia; y muerte por paro respiratorio
DIARREICAS (DSP) Intoxicación diarreica por consumo de mariscos	*Dinophysis* spp.* y especies epibentónicas de *Prorocentrum* spp.*	Diarrea, náuseas, vómito y dolor abdominal
AMNÉSICAS (ASP) Intoxicación amnésica por consumo de mariscos	*Pseudo-nitzschia* spp.*	Náuseas, vómito, diarrea, calambres desorientación, vértigo, confusión y pérdida temporal de la memoria
CIGUATOXINAS (CFP) Intoxicación por ciguatoxinas por consumo de pescado	*Gambierdiscus* spp.* y *Fukuyoa* spp.*	Náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, arritmias, parestesias, mialgias, artralgias, hipotermia, cambios en la percepción de la temperatura y otros múltiples síntomas neurológicos
BREVETOXINAS (NSP) Intoxicación neurotóxica por consumo de mariscos	*Karenia* spp.	Náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea y parestesia
AZASPIRÁCIDOS (AZP) Intoxicación por azaspirácidos por consumo de mariscos	*Azadinium* spp.	Náuseas, vómito, diarrea intensa, calambres en el estómago y síntomas neurológicos

*Especies presentes en el estado. PSP: *Paralytic Shellfish Poisoning*; DSP: *Diarrhetic Shellfish Poisoning*; ASP: *Amnesic Shellfish Poisoning*; CFP: *Ciguatera Fish Poisoning*; NSP: *Neurotoxic Shellfish Poisoning*; AZP: *Azaspiracid Shellfish Poisoning*. Fuente: elaboración propia con datos de FAO 2005, Band-Schmidt *et al.* 2011, García-Mendoza *et al.* 2016, Núñez-Vázquez y Bustillos-Guzmán 2016, Núñez-Vázquez *et al.* 2016, Farabegoli *et al.* 2018.

Asimismo, Le Du y colaboradores (2017) reportaron que diferentes dosis de toxinas diarreicas (ácido okadaico y dinofisistoxina-1) disueltas en agua de mar, afectan el desarrollo de los embriones del pez jurel (*Seriola rivoliana*), especie de importancia comercial. Todo ello demuestra claramente que organismos tan pequeños pueden ocasionar efectos en la fauna marina a través de las moléculas que producen.

Por otra parte, los cambios térmicos asociados al calentamiento global pueden incrementar la formación de FAN y con ello la producción de estas y otras toxinas, además de modificar los patrones de distribución e impactar el reclutamiento de peces de relevancia económica en la entidad o tener efectos directos sobre los ecosistemas donde se producen los FAN. Un dato inquietante es la presencia de *Pyrodinium bahamense* que, aunque nunca ha formado FAN, tiene afinidad por aguas cálidas y es productora de toxinas paralizantes en la zona sur del golfo de California, particularmente en la zona de Los Cabos y la bahía de La Paz (Gárate-Lizárraga y González-Armas 2011, Cuellar-Martínez *et al.* 2018). Experimentos revelan que la germinación de quistes de *P. bahamense* en la bahía de La Paz, es favorecida a mayores temperaturas y en presencia de extracto de suelo (Morquecho *et al.* 2014).

Conclusiones y recomendaciones

Las modificaciones físicas y químicas asociadas al fenómeno del cambio climático (p.e. calentamiento del mar, cambios en los patrones de lluvias e incidencia de huracanes, procesos de enriquecimiento de nutrientes y salinidad), claramente pueden modificar los patrones de incidencia de las especies de algas en las zonas costeras, algunas de ellas pueden ser formadoras de FAN. Ejemplo de estas especies son: *P. bahamense*, *G. catenatum*, *P. lima*, *M. polykrikoides*, *Gambierdiscus* spp., diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* y rafidofíceas del género *Chattonella* sp. Asimismo, en las costas del Pacífico en Baja California Sur existen dos especies de dinoflagelados que producen toxinas paralizantes.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 2. Especies de fitoplancton incidentes con potencial de desarrollar FAN en las costas sudcalifornianas y su compuesto tóxico o nocivo.

Especies y géneros	Compuesto tóxico o nocivo	Referencias
Diatomeas		
Pseudo-nitzschia spp.	AD	Gárate-Lizárraga y Muñetón-Gómez 2009, Muciño-Márquez 2010, Muciño-Márquez *et al.* 2018, López-Cortés *et al.* 2015
Dinoflagelados		
Akashiwo sanguinea	N	Muciño-Márquez *et al.* 2018
Alexandrium catenella	TP	Gárate-Lizárraga *et al.* 2004
A. monilatum	TP	Gárate-Lizárraga *et al.* 2004
A. tamiyavanichi	TP	Gárate-Lizárraga *et al.* 2004
Noctiluca scintillans	N	Gárate-Lizárraga *et al.* 2006, Bustillos-Guzmán *et al.* 2013, Muciño-Márquez *et al.* 2018
Margalefidinium polykrikoides	ERO	Gárate-Lizárraga 2013, López-Cortés *et al.* 2014, Muciño-Márquez *et al.* 2018
Gymnodinium catenatum	TP	Gárate-Lizárraga *et al.* 2006, 2016b, Hernández-Sandoval *et al.* 2009, Muciño-Márquez 2010, López-Cortés *et al.* 2011, Muciño-Márquez *et al.* 2018
Pyrodinium bahamense	TP	Gárate-Lizárraga y González-Armas 2011, Morquecho *et al.* 2014
Lyngulodinium polyedra	YTX	Gárate-Lizárraga *et al.* 2009, Muciño-Márquez 2010
Gonyaulax spinifera	YTX	Muciño-Márquez 2010
Prorocentrum lima	TD	Heredia-Tapia *et al.* 2002, Muciño-Márquez 2010
P. rhathymum	TD	Gárate-Lizárraga *et al.* 2006, Muciño-Márquez *et al.* 2018
P. minimum	HPT	Gárate-Lizárraga *et al.* 2006
Dinophysis fortii	TD	Gárate-Lizárraga *et al.* 2006
D. caudata	TD	Gárate-Lizárraga *et al.* 2006
D. tripos	TD	Muciño-Márquez *et al.* 2018
Amphidinium sp.	Amfidinoles	Muciño-Márquez 2010
Coolia spp.	Cooliatoxinas	Muciño-Márquez 2010
Gambierdiscus spp., *Fukuyoa* spp. y *Ostreopsis* spp.	CFP	Núñez-Vázquez *et al.* 2019
Rafidofíceas		
Chattonella marina var. *marina* y var. *ovata*	ERO, hemolisinas, hemoglutininas	Band-Schmidt *et al.* 2004, 2012
C. subsalsa	ERO	Band-Schmidt *et al.* 2012
Fibrocapsa japonica	ERO	Band-Schmidt *et al.* 2004, 2012
Ciliados		
Mesodinium rubrum	N	Gárate-Lizárraga *et al.* 2002

AD: ácido domoico; ERO: especies reactivas de oxígeno; TP: toxinas paralizantes; YTX: yessotoxinas; TD: toxinas diarreicas; CFP: ciguatoxinas; HPT: hepatotoxinas; N: nocivas. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

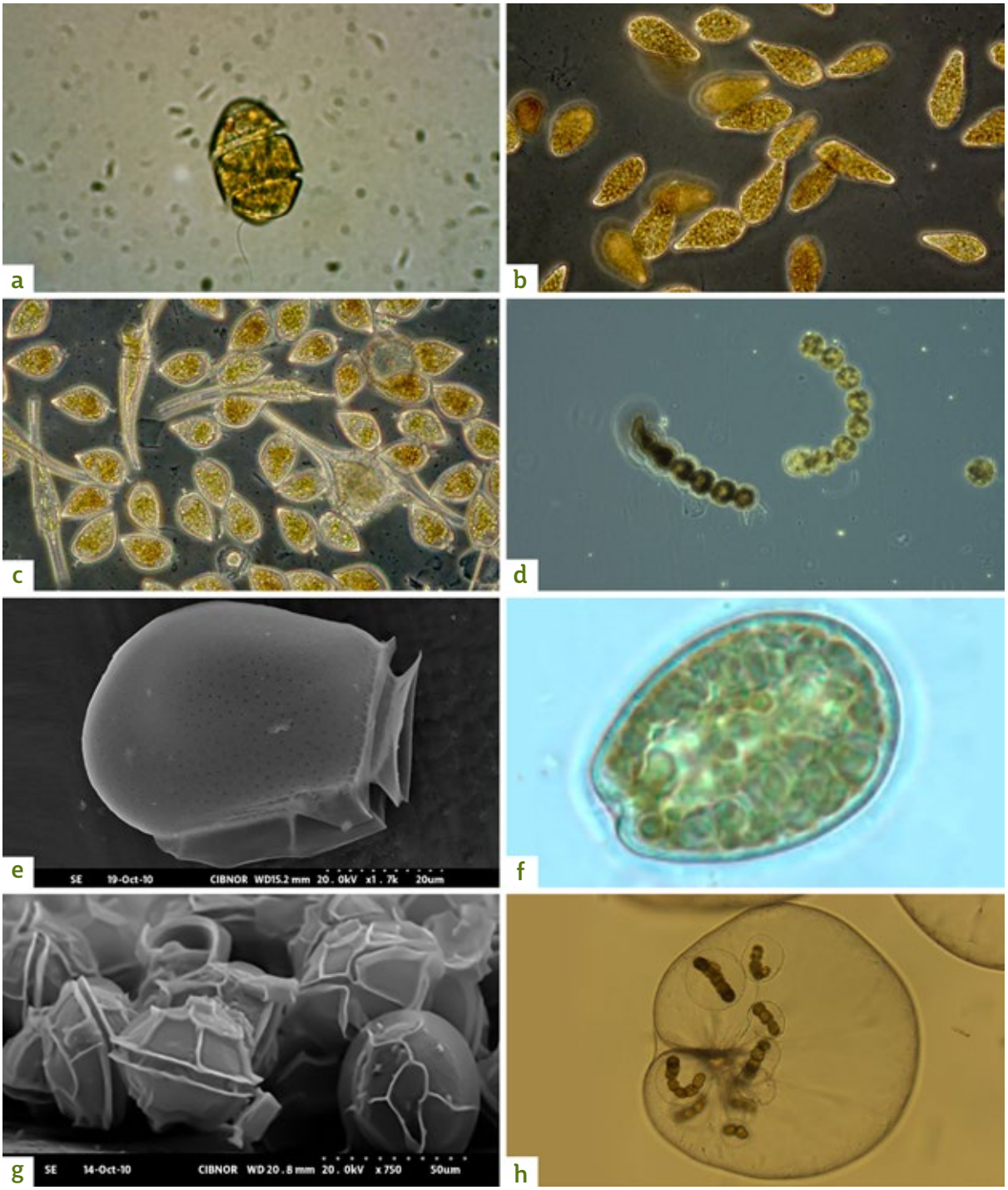


Figura 2. Algunas especies que forman FAN en las costas del estado. a) *Margalefidinium polykrikoides* (aumento 40X); b) *Chattonella marina* (aumento 40X); c) *Prorocentrum micans* y *Ceratium* sp. (aumento 40X); d) *Gymnodinium catenatum* (aumento 40X); e) *Dinophysis* sp. en San Juanico (microscopio electrónico de barrido); f) *Prorocentrum lima* de la costa de la isla El Pardito (aumento 40X); g) *Pyrodinium bahamense* en Chiapas (microscopio electrónico de barrido); h) *Noctiluca scintillans* alimentándose de *G. catenatum* (aumento 40X). Fotos: Leyberth Fernández Herrera (a), Christine Band Schmidt (b, c ,d), Erick Núñez Vázquez (e, f, g), José Bustillos Guzmán (h).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Una de éstas, *P. bahamense*, produce más toxinas con mayor potencia (p.e. saxitoxina) y tiene mayor afinidad por las aguas cálidas hacia el sur, en Jalisco; mientras que la otra, *G. catenatum*, produce toxinas menos potentes (p.e. tipos B y C), es afín a aguas más frías y se encuentra generalmente más hacia el norte.

De acuerdo a un estudio donde se modelaron los posibles desplazamientos de especies formadoras de FAN (considerando sus afinidades térmicas, de salinidad, de profundidad y de estratificación de la masa de agua, versus diversos escenarios del cambio climático de la zona costera hasta mediados o finales de esta década), se encontró que el hábitat de *G. catenatum* más adecuado se presentaría en latitudes más al norte de su distribución actual y por lo tanto en una zona factible donde puede invadir y proliferar (Townhill *et al*. 2018). De lo anterior, es posible suponer que el hábitat de ambas especies tenderá a desplazarse hacia el norte como consecuencia del cambio climático, por lo que *G. catenatum* podrá encontrarse en la costa occidental de Baja California, así como en zonas al norte del golfo de California y formar florecimientos; mientras que en zonas del sur del estado es probable que sea más común encontrar FAN de *P. bahamense*.

El golfo de California se reconoce por su alta diversidad (considerado el mayor acuario del mundo según Jacques Cousteau), y por ser una de las zonas pesqueras más importantes del país, en donde destacan la pesca de moluscos, sardinas y anchovetas, así como la acuacultura de camarón y bivalvos; mientras que en la costa del Pacífico del estado destacan las zonas de producción de langosta, abulón y atún. El posible incremento de FAN de especies productoras de toxinas implicaría que ante este escenario dicha biodiversidad y productividad se viera afectada, debido a que en las zonas de incidencia de los FAN solo algunas especies tienen capacidad de tolerar sus toxinas. Por lo anterior, es necesario tener planes de monitoreo de estos eventos, con énfasis en las zonas de mayor posibilidad de incidencia, lo que ayudaría al establecimiento de sistemas tempranos de detección, y con esto se podría tener la oportunidad de mitigar sus efectos en la acuacultura, pesquerías, turismo y salud humana.

Agradecimientos

Al Programa de Planeación Ambiental y Conservación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). A Gerardo Hernández García por la edición de las figuras. A los proyectos FORDECYT 260040 y SIP 2018-0662. Al Coast Watch Program de la National Oceanic and Atmospheric Administration por las fotos de temperatura superficial. Gracias al revisor quien aporto sugerencias importantes para mejorar el escrito.

Referencias

Band-Schmidt, C.J., J.J. Bustillos-Guzmán, D.J. López-Cortés *et al*. 2011. El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21:381-412.

Band-Schmidt, C.J., A. Martínez-López, J.J. Bustillos-Guzmán *et al*. 2012. Morphology, biochemistry and growth of Raphidophyte strains from the Gulf of California. *Hydrobiology* 693:81-97.

Band-Schmidt, C.J., M.L. Morquecho-Escamilla, D.U. Hernández-Becerril *et al*. 2004. Raphidopyceans in Mexican coasts. *Hydrobiology* 515:79-84.

Bustillos-Guzmán, J.J., C.J. Band-Schmidt, D.J. López-Cortés *et al*. 2013. Grazing of the dinoflagellate *Noctiluca scintillans* on the paralytic toxin-producing dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*: Does grazing eliminate cells during a bloom? *Ciencias Marinas* 39:291-302.

Campa-Córdova, A.I., E.J. Núñez-Vázquez y A. Luna-González. 2009. Superoxide dismutase activity in juvenile *Litopenaeus vannamei* and *Nodipecten subnodosus* exposed to the toxic dinoflagellate *Prorocentrum lima*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, *Part C* 149:317-322.

Coast Watch. 2018. *Coast watch browser*. En: <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/coastwatch/CWBrowser.jsp>, última consulta: 15 de agosto de 2018.

Cuellar-Martínez, T., R. Alonso-Rodríguez, A.C. Ruiz-Fernández *et al*. 2018. Environmental forcing on the flux of organic-walled dinoflagellate cysts in recent sediments from a subtropical lagoon in the Gulf of California. *Science of the Total Environment* 621:548-557.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Dorantes-Aranda, J.J., L.M. García-Parra y R. Alonso-Rodríguez. 2009. Hemolytic activity and fatty acids composition in the ichthyotoxic dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* isolated from bahía de La Paz, Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 58:1401-1405.

Dorantes-Aranda, J.J., L.M. García de La Parra, R. Alonso-Rodríguez y L. Morquecho 2010. Toxic effects of the harmful dinoflagellates *Cochlodinium polykrikoides* on the spotted rose samper *Lutjanus guttatus*. *Environmental Toxicology* 25:319-326.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. *Biotoxinas marinas*. En: <http://www.fao.org/3/y5486s/y5486s00.pdf>, última consulta: junio de 2018.

Farabegoli, F., L. Blanco, L.P. Rodríguez *et al*. 2018. Phycotoxins in marine shellfish: origin, occurrence and effects on humans. *Marine Drugs* 16:188.

Feely, R.A., C.L. Sabine, J.M. Hernández-Ayon *et al*. 2008. Evidence for upwelling of corrosive "acidified" water onto the continental shelf. *Science* 320:1490-1492.

Feely, R.A., S.R. Alin, B. Carter *et al*. 2016. Chemical and biological impacts of ocean acidification along the west coast of North America. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 183:260-270.

Fu, F.X., A.R. Place, N.S. Garcia y D.A. Hutchins. 2010. CO_2 and phosphate availability control the toxicity of the harmful bloom dinoflagellate *Karlodinium veneficum*. *Aquatic Microbial Ecology* 59:55-65.

Gárate-Lizárraga, I. 2013. Bloom of *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae: Gymnodiniales) in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 67:217-222.

Gárate-Lizárraga, I. y R. González-Armas. 2011. Occurrence of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* along the southern coast of the Baja California Peninsula. *Marine Pollution Bulletin* 62:626-630.

Gárate-Lizárraga, I. y M.S. Muñetón-Gómez. 2009. Primer registro de la diatomea epibionte *Pseudohimantidium pacificum* y de otras asociaciones simbióticas en el Golfo de California. *Acta Botanica Mexicana* 88:33-47.

Gárate-Lizárraga, I., Y. Okolodkov y R. Cortés-Altamirano. 2016a. Microalgas formadoras de florecimientos algales en el Golfo de California. En: *Florecimientos algales nocivos en México*. E. García-Mendoza, S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz y E.J. Núñez-Vázquez (eds.). CICESE, Ensenada, pp. 228-241.

Gárate-Lizárraga, I., G. Verdugo-Díaz y Y. Okolodkov. 2016b. Florecimientos algales nocivos en la costa Occidental de Baja California Sur. En: *Florecimientos algales nocivos en México*. E. García-Mendoza, S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz y E.J. Núñez-Vázquez (eds.). CICESE, Ensenada, pp. 44-59.

Gárate-Lizárraga, I., C.J. Band-Schmidt, F. Aguirre-Bahena y T. Grayeb-del Alamo. 2009. A multi-species microalgae bloom in bahía de La Paz, Gulf of California, Mexico. *Oceánides* 24:15-19.

Gárate-Lizárraga, I., C.J. Band-Schmidt, R. Cervantes-Duarte y D.G. Escobedo-Urías. 2002. Mareas rojas de *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger y Budenbrock ocurridas en el golfo de California durante el invierno de 1998. *Hidrobiológica* 12:15-20.

Gárate-Lizárraga, I., J. Bustillos-Guzmán, K. Erler *et al*. 2004. Paralytic shellfish toxins in the chocolata clam, *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae), in bahía de La Paz, Gulf of California. *Revista de Biología Tropical* 52:133-142.

Gárate-Lizárraga, I., J.J. Bustillos-Guzmán, D.J. López-Cortés *et al*. 2006. Paralytic shellfish toxin profiles in net phytoplankton samples from bahía Concepción, Gulf of California, México. *Marine Pollution Bulletin* 52:800-815.

García-Mendoza, E., A. Olivos-Ortiz, S.I. Quijano-Scheggia *et al*. 2016. Introducción general a los FAN. En: *Florecimientos algales nocivos en México*. E. García-Mendoza, S.I. Quijano-Sheggia, A. Olivos-Ortiz y E.J. Núñez-Vázquez (eds.). CICESE, Ensenada, pp. 10-19.

Guluarte-Castro, A.L. y M.A. Bañuelos. 2007. Florecimiento de algas nocivas (marea roja) en la bahía de La Paz, Baja California Sur. *Red Sanitaria* 3:1-4.

Hallegraeff, G.M. 2015. Harmful marine algal blooms and climate change: progress on a formidable predictive challenge. En: *Climate change and marine and freshwater toxins*. L.M. Botana, M.C. Louzao y N. Vilariño (eds.). Walter de Gruyer GmbH, Berlín/Boston, pp. 181-193.

Heredia-Tapia, A., B.O. Arredondo-Vega, E.J. Núñez-Vázquez *et al*. 2002. Isolation of *Prorocentrum lima* (Syn. *Exuviaella lima*) and diarrheic shellfish poisoning (DSP) risk assessment in the Gulf of California, Mexico. *Toxicon* 40:1121-1127.

Hernández-Sandoval, F.E., D.J. López-Cortés, C.J. Band-Schmidt *et al*. 2009. Toxinas paralizantes en moluscos bivalvos durante una proliferación de *Gymnodinium catenatum* Graham en la bahía de La Paz, México. *Hidrobiológica* 19:245-256.

Herrera-Sepúlveda, A., A. Sierra-Beltrán y N. Hernández-Saavedra. 2008. Floraciones algales nocivas: perspectivas y estrategias biotecnológicas para su detección. *Biotecnología* 12:23-40.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Summary for policymakers. En: *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen *et al*. (eds.). Cambridge University Press, Nueva York, pp. 4-6.

Le Du, J., D. Tovar-Ramírez y E.J. Núñez-Vázquez. 2017. Embryotoxic effects of dissolved okadaic acid on the development of longfin yellowtail *Seriola rivoliana*. *Aquatic Toxicology* 190:210-216.

López-Cortés, D.J., C.J. Band-Schmidt, I. Gárate-Lizárraga *et al*. 2011. Co-ocurrencia de *Chatonella marina* y *Gymnodinium catenatum* en la bahía de La Paz, golfo de California (primavera 2009). *Hidrobiológica* 21:185-196.

López-Cortés, D.J., C.J. Band-Schmidt, J.J. Bustillos-Guzmán *et al*. 2014. Condiciones ambientales durante un florecimiento de *Cochlodinium polikrykoides* (Gymnodiniales, Dinophyceae) en la ensenada de La Paz, golfo de California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49:97-110.

López-Cortés, D.J., E.J. Núñez-Vázquez, I. Gárate-Lizárraga *et al*. 2015. Mass fish die-off during a diatoms bloom in the bahía de La Paz, Gulf of California. *Hidrobiológica* 25:51-60.

Martínez-López, A. y G. Verdugo-Díaz. 2000. Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena, B.C.S. En: *BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano*. D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 125-142.

Morquecho, L., R. Alonso-Rodríguez y G.A. Martínez-Tecuapacho. 2014. Cyst morphology, germination characteristics, and potential toxicity of *Pyrodinium bahamense* in the Gulf of California. *Botanica Marina* 57:303-314.

Muciño-Márquez, R.E. 2010. *Variación estacional de la comunidad fitoplanctónica en las granjas atuneras en la bahía de La Paz, Baja California Sur*. Tesis de maestría en manejo de recursos marinos. CICIMAR-IPN, La Paz.

Muciño-Márquez, R.E., I. Gárate-Lizárraga, D.J. López-Cortés *et al*. 2018. Seasonal variation of the phytoplankton community in tuna farms in bahia de La Paz, southerm Gulf of California, Mexico. *Latin American Journal of Acuatic Research* 46:1011-1024.

Núñez-Vázquez, E.J. y J.J. Bustillos-Guzmán. 2016. *Impacto de las toxinas marinas en la salud pública y animal de México*. En: <http://www.jornada.unam.mx/2016/07/25/eco-cara.html>, última consulta: 19 de febrero 2019.

Núñez-Vázquez, E.J., A. Almazán-Becerril, D.J. López-Cortés *et al*. 2019. Ciguatera in Mexico (1984-2013). *Marine Drugs* 17:13.

Núñez-Vázquez, E.J., I. Gárate-Lizárraga, C.J. Band-Schmidt *et al*. 2011. Impacts of Harmful Algal Blooms on wild and cultured animals in the Gulf of California. *Journal of Environmental Biology* 32:413-423.

Núñez-Vázquez, E.J., C.J. Band-Schmidt, F.E. Hernández-Sandoval *et al*. 2016. Impactos de los florecimientos algales nocivos en la salud pública y animal (silvestres y de cultivo) en el golfo de California. En: *Florecimientos Algales Nocivos en México*. E. García-Mendoza, S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz y E.J. Núñez-Vázquez (eds.). CICESE, Ensenada, pp. 196-212.

Okolodkov, B.Y. e I. Gárate-Lizárraga. 2006. An annotated checklist of dinoflagellates (Dinophyceae) from the Mexican Pacific. *Acta Botanica Mexicana* 74:1-154.

Pérez-Morales, A., C.J. Band-Schmidt y S.F. Martínez-Díaz. 2017. Mortality on zoea stage of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* caused by *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae) and *Chattonella* spp. (Raphidophyceae). *Marine Biology* 164:57.

Reyes-Salinas, A. 1999. *Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, BCS*. Tesis de maestría en manejo de recursos marinos. CICIMAR-IPN, La Paz.

Romero-Geraldo, R.J. y N.Y. Hernández-Saavedra. 2014. Stress gene expression in *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in response to experimental exposure to the toxic dinoflagellate *Prorocentrum lima* (Ehrenberg) Dodge, 1975. *Aquaculture Research* 45:1512-1522.

Romero-Geraldo, R.J., N. García-Lagunas y N.Y. Hernández-Saavedra. 2014. Effects of *In vitro* exposure to diarrheic toxin producer *Prorocentrum lima* on gene expressions related to cell cycle regulation and immune response in *Crassostrea gigas*. *PLOS ONE* 9(5):e97181.

SS. Secretaría de Salud. 2011. *Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba*. Publicada el 10 de febrero de 2011 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Sierra-Beltrán, A., M. Palafox-Uribe, J. Grajales-Montiel *et al*. 1997. Sea bird mortality at Cabo San Lucas, Mexico: evidence that toxic *Pseudonitzschia* sp. is spreading. *Toxicon* 35:447-453.

Townhill, B.L., J. Tinker, M. Jones *et al*. 2018. Harmful algal blooms and climate change: exploring future distribution changes. *ICES Journal of Marine Science* 75:1882-1893.

Wells, M.L., V.L. Trainer, T.J. Smayda *et al*. 2015. Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae* 40:68-93.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Efectos del cambio climático en las cactáceas endémicas a la Península de Baja California

Aurora Breceda Solís Cámara† y Eva Benavides Rios

Introducción

Las cactáceas (familia Cactaceae) son uno de los grupos de plantas más representativos de las regiones semiáridas de América del Norte, y presentan alto número de endemismos dentro de esta región. Son un grupo prioritario para la conservación a nivel mundial, debido a que ocupan el quinto lugar de los grupos taxonómicos más amenazados, con 31% de las especies consideradas amenazadas dentro de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN; Goettsch *et al*. 2015).

Las principales presiones a las que se enfrentan las cactáceas son: a) saqueo; b) comercio ilegal de plantas vivas y semillas para la industria hortícola y colecciones privadas; y c) el cambio de uso del suelo para fines agropecuarios o urbano-turísticos (Becerra 2000, Jiménez 2011, Goettsch *et al*. 2015). Además, éstas presentan cualidades biológicas inherentes como alta especificidad de hábitat, lenta tasa de crecimiento y alta fragilidad en las primeras etapas de vida (Esparza-Olguín *et al*. 2002, Hernández y Godínez 1994), lo que agudiza su vulnerabilidad.

Adicionalmente, el cambio climático podría reducir el área de distribución potencial de varias especies (Téllez-Valdés y Dávila-Aranda 2003). Por ejemplo, Dávila y colaboradores (2013) encontraron que la superficie con hábitat adecuado para el cactus columnar *Neobuxbaumia tetetzo* ha mostrado una disminución en el valle de Tehuacán-Cuicatlán a causa del cambio climático. Asimismo, Martorell y colaboradores (2015) analizaron varias amenazas para la especie *Coryphantha werdermannii* (endémica de Coahuila), y concluyeron que el cambio climático representa el mayor problema para su persistencia, mostrando una reducción de al menos 90% de sus áreas adecuadas en el escenario más optimista.

Por su parte, Aragón-Gastélum y colaboradores (2017) cuantificaron la supervivencia de tres cactus del Desierto Chihuahuense: *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus histrix* y *Stenocactus coptonogonus*. Los resultados sugieren que los escenarios predictivos de cambio global limitarán en gran medida el reclutamiento de plantas y la persistencia a largo plazo de las poblaciones naturales de estas especies de cactáceas endémicas a México. A pesar de lo anterior, aún se sabe poco sobre el impacto del cambio climático sobre este grupo de plantas.

Escenarios de cambio climático en especies endémicas

Con la finalidad de obtener información sobre las preferencias climáticas de 38 especies de cactáceas

Breceda Solís-Cámara, A. y E. Benavides Rios. 2025. Efectos del cambio climático en las cactáceas endémicas a la Península de Baja California. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 350-353.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

endémicas a la Península de Baja California, se realizaron modelos de nicho. Esto permitió realizar una predicción espacial sobre dónde están potencialmente distribuidas y cómo cambiaría su distribución con diferentes escenarios futuros de cambio climático.

Para cada especie evaluada se tomaron en cuenta dos parámetros de vulnerabilidad al cambio climático: 1) el hábitat adecuado presente se conserva a futuro; y 2) el hábitat adecuado se pierde (Benavides 2016). De las especies analizadas, 29% son vulnerables ante el cambio climático, debido a que presentan menos de 50% de hábitat estable y muestran una disminución de sus áreas de distribución entre 50-97% para el año 2070. Además, destacan seis especies por la pérdida de hábitat y la poca prioridad de conservación que tienen tanto en la Lista Roja de la UICN (2018) como en la NOM-059 (SEMARNAT 2010), por lo que resulta prioritario realizar acciones para su conservación (cuadro 1, figura 1).

Conclusiones y recomendaciones

Por el impacto potencial del cambio climático sobre ciertas cactáceas se recomienda su inclusión en las listas de especies bajo protección, así como considerar su vulnerabilidad para efectos de manejo y aprovechamiento de recursos naturales. Para ello, es importante hacer estudios poblacionales e impulsar programas de propagación *in situ* y *ex situ*, con el fin de aumentar su probabilidad de supervivencia. El presente estudio exalta la necesidad de actualizar las categorías de cuatro especies dentro de la Lista Roja de especies amenazadas (UICN 2018):

- *Echinocereus mombergerianus* aparece en la categoría datos deficientes (DD). Los resultados de este trabajo contribuyen en ampliar la información necesaria para definir su estado de conservación.
- *E. pensilis* está en la categoría de preocupación menor (LC). Se menciona que no se conocen amenazas para esta especie y que las tendencias de las poblaciones son estables; no obstante, con base en el presente estudio se sugiere que el cambio climático representa una amenaza para su persistencia, debido a que en algunos escenarios se pierde prácticamente la totalidad de su hábitat adecuado.
- *Ferocactus gracilis* se encuentra en la categoría preocupación menor (LC). La lista menciona que la tendencia de las poblaciones es estable, pero de acuerdo con los resultados, se espera una reducción de su hábitat por efecto del cambio climático, lo que puede derivar en un declive de sus poblaciones.
- La información generada para *F. rectispinus*, una especie aún no evaluada por la Lista Roja es una contribución para establecer el estado de conservación de esta especie.
- *Opuntia pycnantha* se encuentra en la categoría de preocupación menor (LC). A pesar de que no se conocen amenazas para esta especie y que las tendencias de las poblaciones son estables, el presente estudio sugiere que el cambio climático representa una amenaza para su persistencia, ya que en algunos escenarios se pierde prácticamente la totalidad de su hábitat adecuado.

Cuadro 1. Cactáceas prioritarias para la conservación con base en las posibles afectaciones proyectadas para diferentes escenarios de cambio climático.

Especie	Contracción de hábitat (%)	Hábitat estable (%)	UICN	NOM-059
Echinocereus mombergerianus	44	50	DD	
Echinocereus pensilis	90	10	LC	Pr
Ferocactus gracilis	70	22	LC	
Ferocactus rectispinus	55	24	NE	A
Opuntia pycnantha	96	3	LC	
Stenocereus eruca	63	37	LC	Pr

DD: datos insuficientes; NE: no evaluada; LC: preocupación menor; Pr: sujeta a protección especial; A: amenazada. Fuente: elaboración propia con datos de SEMARNAT 2010, UICN 2018.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

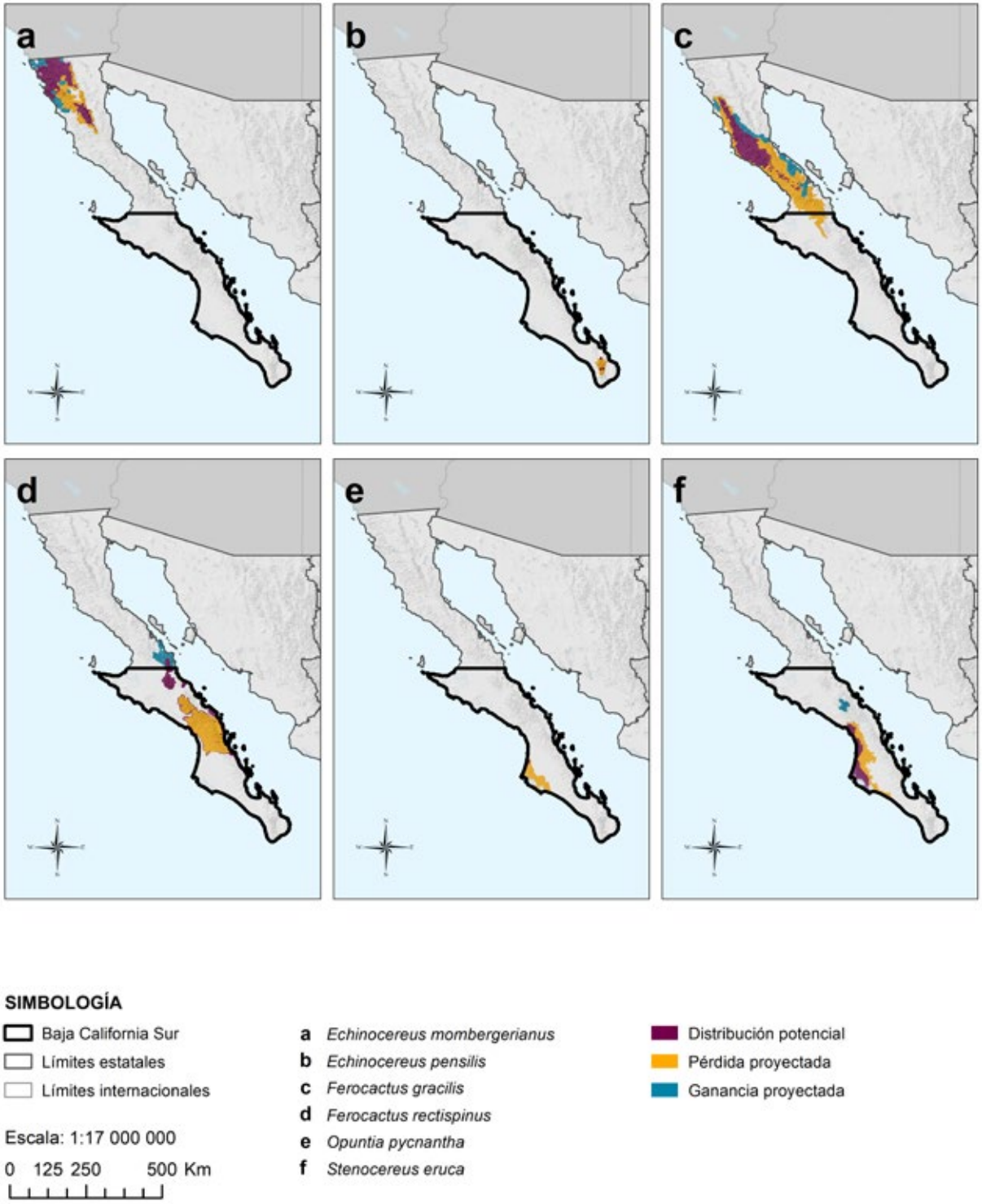


Figura 1. Modelos de impacto por cambio climático en hábitats de: a) *Echinocereus mombergerianus*; b) *Echinocereus pensilis*; c) *Ferocactus gracilis*; d) *F. rectispinus*; e) *Opuntia pycnantha*; f) *Stenocereus eruca*. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

- *Stenocereus eruca* es una especie que está en preocupación menor (LC). Los resultados del presente estudio indican que el cambio climático representa una amenaza para la persistencia de la especie, al reducirse drásticamente a futuro su área de distribución potencial.

Referencias

Aragón-Gastélum, J.L., E. Badano, L. Yáñez-Espinosa *et al.* 2017. Seedling survival of three endemic and threatened Mexican cacti under induced climate change. *Plant Species Biology* 32(1):92-99.

Becerra, R. 2000. Las cactáceas, plantas amenazadas por su belleza. *Biodiversitas* 6(32):1-5.

Benavides, R., E.C. 2016. *Patrones de sensibilidad de las cactáceas ante el cambio climático en la Península de Baja California, México*. Tesis de maestría. CIBNOR, La Paz.

Dávila, P., O. Téllez y R. Lira. 2013. Impact of climate change on the distribution of populations of an endemic Mexican columnar cactus in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Plant Biosystems* 147(2):376-386.

Esparza-Olguín, L., T. Valverde y E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Mexico. *Biological Conservation* 103:249-259.

Goettsch, B., C. Hilton-Taylor, G. Cruz-Piñón *et al.* 2015. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants* 15142:1-7.

Hernández, H.M. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana* 26:33-52.

Jiménez, C.L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria* 12(1):1-23.

Martorell, C., D.M. Montañana, C. Ureta y M.C. Mandujano. 2015. Assessing the importance of multiple threats to an endangered globose cactus in Mexico: Cattle grazing, looting and climate change. *Biological Conservation* 181:73-81.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Téllez-Valdés, O. y P. Dávila-Aranda. 2003. Protected areas and climate change: a case study of the cacti of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology* 17:846-853.

UICN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2018. *The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2018-1*. En: <http://www.iucnredlist.org>, última consulta: mayo de 2018.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Relación entre las tendencias climáticas y el dengue

Vania Verónica Serrano Pinto, Sara Cecilia Díaz Castro, Manuel Moreno Legorreta y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

Una de las enfermedades infecciosas de transmisión por vectores más difundida en todo el mundo es el dengue, la cual ha superado 400 millones de casos al año (Bhatt *et al.* 2013). El dengue es causado por cuatro serotipos[1] del virus DENV (Chiparelli y Schelotto 2002), el cual se transmite por hembras de mosquito infectadas, principalmente de las especies *Aedes aegypti* y *Ae. albopictus* (Fernández 2009). Ambas especies también son vectores de la fiebre amarilla (Kettle 1984, Harwood y James 1993), y *Ae. aegypti* es además vector de la fiebre chikungunya (Yanola *et al.* 2011) y el virus Zika (Hayes 2009). El dengue es nativo de áreas tropicales; sin embargo, a consecuencia del cambio climático se ha expandido a zonas templadas y áridas. Desde los años setenta está presente en toda América Latina, incluyendo México, donde se han producido grandes brotes epidemiológicos (Guzmán *et al.* 2006).

Una implicación importante del cambio climático es la salud de las poblaciones humanas (Patz *et al.* 1998). Para entender, prevenir y encontrar soluciones potenciales a los efectos del cambio climático en este tipo de enfermedades, es necesario un entendimiento más profundo de su relación con factores climáticos (Epstein 2005), así como de los cambios particulares que están ocurriendo en cada región (Fuller *et al.* 2009, Hii *et al.* 2009, Lambrechts *et al.* 2010).

El dengue es una de las principales amenazas de salud en Baja California Sur, por ello, es urgente estudiar el comportamiento de esta enfermedad en relación con el cambio climático. En este sentido, en el presente trabajo se analiza la incidencia del dengue en el periodo 1990-2016 para la entidad, y se muestran los resultados de la relación entre los datos climáticos estacionales y mensuales (precipitación, temperaturas máximas y mínimas) con los registros de dengue mediante una correlación de Pearson.

Clima y su relación con el dengue

El clima tiene un impacto directo en las poblaciones de mosquitos (Gubler *et al.* 2001). La precipitación está directamente relacionada con su distribución y abundancia, debido al aumento en el número de charcos de agua donde las hembras ponen sus hue-

1 Variable de un microorganismo infeccioso que se diferencia por los antígenos u otras moléculas que se encuentran en su superficie.

Serrano-Pinto, V., S.C. Díaz, M. Moreno y A. Ortega-Rubio. 2025. Relación entre las tendencias climáticas y el dengue. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 354-360.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

vos (Gómez y Rodríguez 1994). La lluvia crea hábitats adicionales para el desarrollo de larvas y pupas de mosquitos (Morin *et al*. 2013), especialmente cuando la temperatura es alta. Otros factores como el tipo de suelo, los cultivos, las características socioeconómicas de las áreas residenciales, la cobertura forestal y los índices de vegetación, apoyan o restringen directamente la calidad y la disponibilidad de los hábitats de los mosquitos (Van Benthem *et al*. 2005). Asimismo, la temperatura afecta su desarrollo, comportamiento y, particularmente, las tasas de fertilidad y mortalidad (Christophers 1960, Rueda *et al*. 1990, Tun-Lin *et al*. 2000). Por ejemplo, se ha identificado que la temperatura entre 20 y 30°C beneficia a las poblaciones de *Ae. aegypti* (Tun-Lin *et al*. 2000).

Existen diversos estudios que relacionan el clima con enfermedades transmitidas por los mosquitos (Rogers y Randolph 2000, Small *et al*. 2003, Ebi *et al*. 2005). Algunos incluso han demostrado que las variables climáticas como los cambios en la temperatura y las precipitaciones, desempeñan un papel importante en la incidencia del dengue (Gubler 1997, Thai y Anders 2011, Morin *et al*. 2013), así como la relación entre la temperatura y la velocidad de replicación del virus DENV (Watts *et al*. 1987). Además de estos factores, la conducta humana propicia o restringe las poblaciones de mosquitos en ambientes específicos (Chang *et al*. 1997, Vanwambeke *et al*. 2007). Por esta razón, las correlaciones entre la incidencia del dengue con los factores climáticos no son lineales; y generalmente se analizan con modelos multifactoriales (Gubler 1997, Morin *et al*. 2013).

Situación nacional y estatal

Como se indicó anteriormente, la fiebre del dengue surgió como una enfermedad tropical (Chang *et al*. 1997, Hii *et al*. 2009); sin embargo, ya no es exclusiva de los trópicos y ahora está expandida en regiones templadas, como es el caso de México. Gaxiola-Robles y colaboradores (2012) realizaron una evaluación sobre la incidencia del dengue en el periodo 1980-2009, lapso en el que se registraron 549 defunciones causadas por DENV. A pesar de que las tasas de mortalidad han disminuido desde entonces, la incidencia ha aumentado (SS 2016).

En Baja California Sur predomina un clima árido con temperaturas de verano por encima de los 40°C (CONAGUA 2017). Durante al menos tres décadas la población ha sido afectada por la fiebre del dengue, con brotes epidemiológicos cíclicos caracterizados por una alta incidencia, provocando un aumento de 652% en los casos reportados en el periodo 2012-2014 (Moreno-Legorreta *et al*. 2015). Además de la fiebre del dengue, en los últimos 20 años en el estado se presentan casos de fiebre hemorrágica por dengue (actualmente dengue con signos de alarma), la cual también ha tenido patrones cíclicos de ocurrencia.

A partir de 2008 se registraron ocho defunciones, y estuvieron presentes en la región los serotipos DENV1 y DENV2. Sin embargo, desde 2003 cuando se presentó el brote epidemiológico más elevado, la tasa de incidencia ha disminuido considerablemente (Serrano-Pinto y Moreno Legorreta 2017). En este contexto, Díaz-Castro y colaboradores (2017) evaluaron la relación de este padecimiento con las tendencias climáticas del periodo 1990-2013, evidenciando que los casos de dengue se relacionan con la temperatura mínima mensual.

El objetivo de este estudio fue actualizar la información relacionada con las tendencias climáticas y los casos de dengue hasta 2016, pues se considera importante seguir monitorizando la evolución de esta grave enfermedad para corroborar el comportamiento de las tendencias en el tiempo y proporcionar información que permita tomar acciones necesarias para reducir los brotes epidemiológicos en la región.

Análisis de correlación

Los datos sobre la incidencia de la fiebre del dengue se obtuvieron de la base de datos en línea de los informes anuales de morbilidad del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica[2] que abarca de 1990 a 2016, último año donde se tienen registros (SS 2016). Por otro lado, los datos mensuales totales de las temperaturas máxima y mínima, así como los de precipitación en las 17 estaciones meteorológicas que existen

2 Sistema de información de la Dirección General de Epidemiología adscrita a la Secretaría de Salud.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

en el estado, se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional de La Paz (CONAGUA 2017).

Con los datos de temperatura y precipitación se obtuvieron las series mensuales para el periodo 1990-2016. Para evaluar si el dengue afecta más en una temporada específica del año, los datos se agregaron por temporadas: invierno (noviembre a febrero), secas (marzo a mayo), y verano (junio a octubre). Asimismo, se realizó el análisis de correlación de Pearson para identificar series con tendencias significativas ($p < 0.05$), y se analizó el diferencial mensual de temperatura en la serie con relación a los casos reportados.

Los datos promedio de lluvias en el periodo indicado mostraron que los veranos con mayor precipitación se correlacionan con las temperaturas más altas, esto es de julio a octubre, con picos de lluvia en agosto y septiembre (figura 1). Las variaciones del verano no son similares a las variaciones del invierno porque la precipitación se deriva de diversos procesos climáticos. Las altas precipitaciones de verano ocurrieron en 1997, 1998, 2003, 2007, 2012 y 2014; y las altas precipitaciones de invierno ocurrieron en 1995, 2006, 2010, 2013 y 2014. Cabe señalar que, en 1992 la estación seca tuvo un valor relativamente alto (~35 mm); además, se puede apreciar la variabilidad interanual de las lluvias, patrón característico de zonas áridas. Sin embargo, la precipitación de verano muestra una tendencia al incremento; mientras que las lluvias de invierno presentan una ligera tendencia a la disminución (figura 1).

En cuanto a la temperatura, no se observó tendencia en las temperaturas máximas, pero a partir de 2006 se evidencia un aumento significativo de las temperaturas mínimas, lo que también se refleja en un cambio en la temperatura media anual (figura 2). Por otra parte, la incidencia del dengue fue evidente durante los años 1991, 1997, 2003, 2009, 2010, 2012, 2013 y 2014, cuando se presentaron brotes epidemiológicos (figura 3).

Los resultados de las correlaciones entre los datos de precipitación en diferentes estaciones y la incidencia del dengue, no fueron significativos. Sin embargo, se encontraron correlaciones significativas entre la incidencia de la enfermedad y la temperatura mínima mensual y las variaciones mensuales (cuadro 1). En la mayoría de los meses, la temperatura mínima se correlacionó con el número de casos de dengue. Para la propagación mensual de la temperatura,[3] se observó una correlación negativa, lo que sugiere que un estrecho margen influye en la incidencia del dengue (cuadro 1).

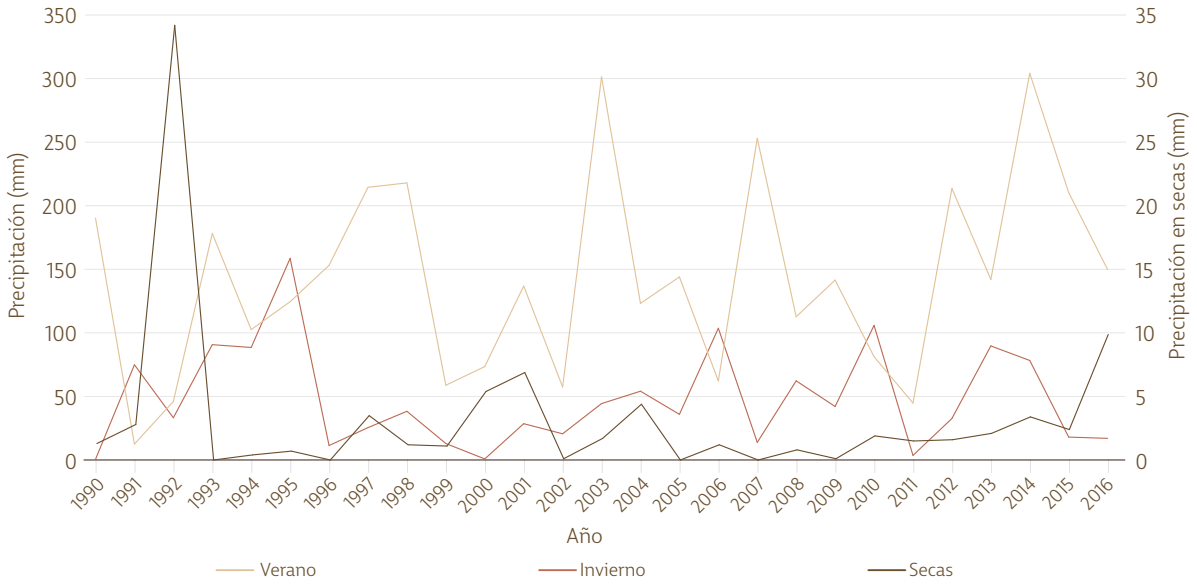


Figura 1. Precipitaciones estacionales en el periodo 1990-2016 para la entidad. Con la finalidad de apreciar su variabilidad, en el eje secundario vertical se graficaron los valores de la precipitación del periodo de secas. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2017.

3 Se refiere a que la temperatura se va incrementando mensualmente hasta llegar a sus valores máximos en el mes de agosto.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

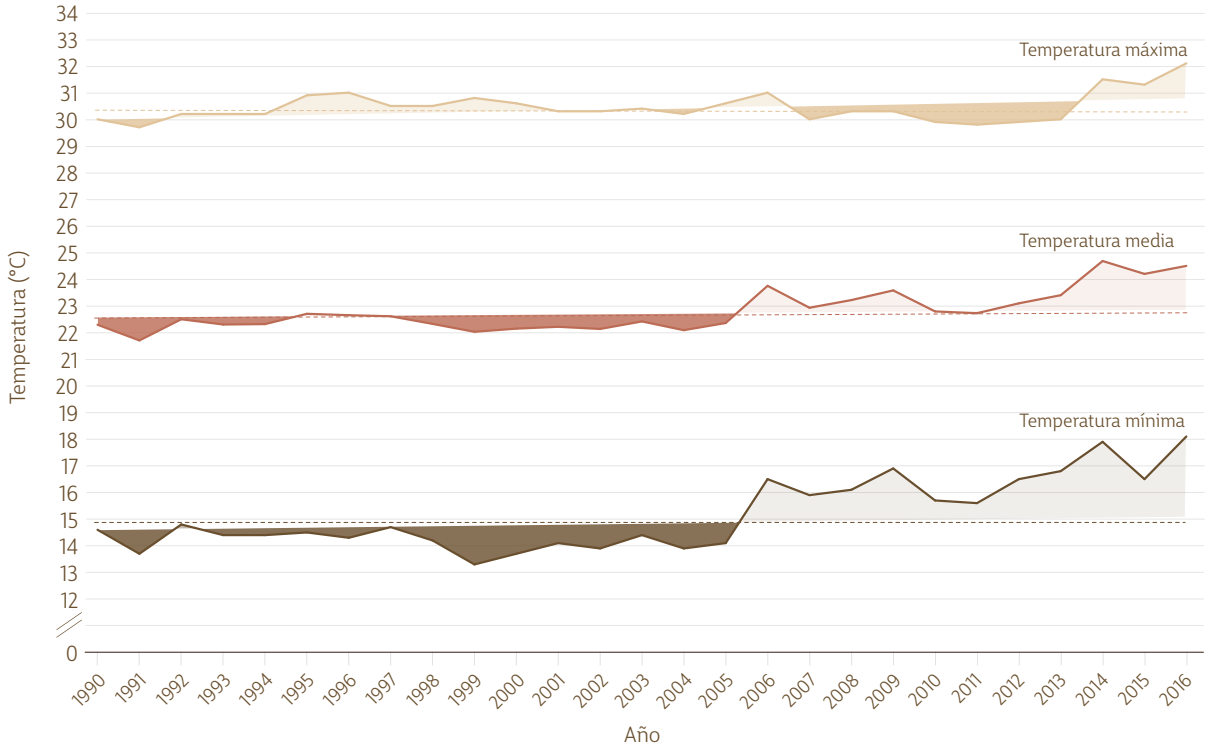


Figura 2. Variaciones anuales de temperatura en el periodo 1990-2016 para la entidad. Se distinguen los años más cálidos que el promedio del período (sombreado claro) y los años más fríos (sombreado obscuro). Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2017.

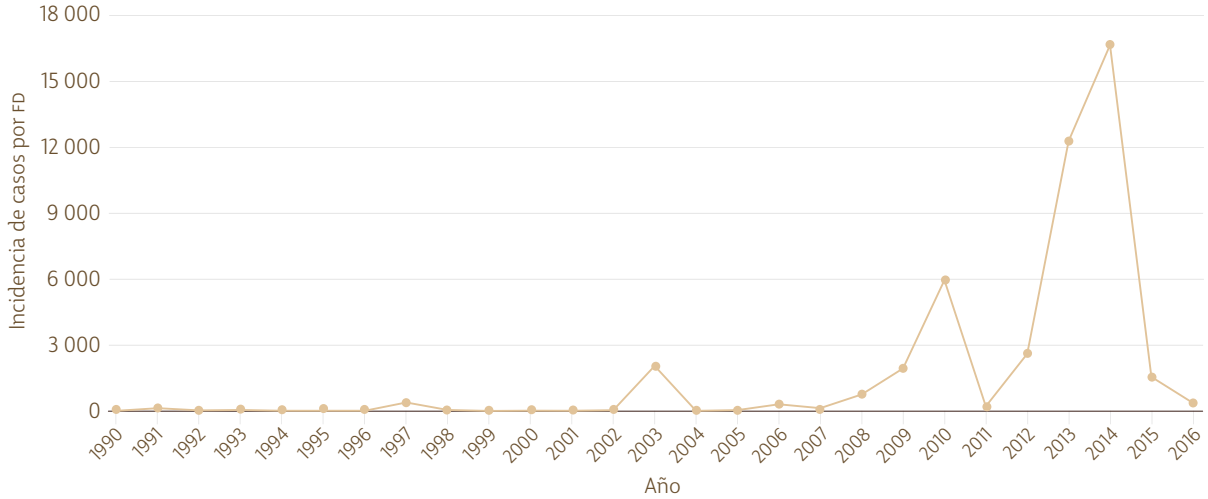


Figura 3. Variabilidad de incidencia en casos de dengue reportados de 1990 a 2016. Fuente: elaboración propia con datos de SS 2016, CONAGUA 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Valores de correlación entre los factores climáticos y la incidencia de dengue en el periodo 1990-2016.

Mes	Temperatura			Precipitación	PMT
	Mínima	Media	Máxima		
Enero	0.43*	0.19	-0.14	-0.10	-0.39
Febrero	0.40*	0.11	-0.25	0.03	-0.49*
Marzo	0.48*	0.40*	0.17	-0.10	-0.41*
Abril	0.46*	0.24	-0.27	-0.15	-0.50*
Mayo	0.40*	0.28	-0.10	0.41*	-0.46*
Junio	0.40*	0.23	-0.21	0.42*	-0.53*
Julio	0.39	0.16	-0.31	-0.07	-0.54*
Agosto	0.44*	0.40	-0.00	0.07	-0.50*
Septiembre	0.40*	0.22	-0.24	0.04	-0.52*
Octubre	0.35	0.18	-0.20	0.41*	-0.43*
Noviembre	0.49*	0.26	-0.09	-0.08	-0.45*
Diciembre	0.42*	0.40*	0.10	-0.07	-0.39
Anual	**0.52***	**0.43***	**-0.32**	**0.10**	

*Son significativos ($p < 0.05$). PMT: propagación mensual de la temperatura. Fuente: elaboración propia con datos de SS 2016, CONAGUA 2017.

La incidencia del dengue en Baja California Sur está directamente correlacionada con la temperatura mínima mensual, e inversamente con la propagación de la temperatura. Estos resultados son similares a los encontrados en otros estudios (Carrington *et al*. 2013a, b). Azil y colaboradores (2010) sugieren que la temperatura mínima y la temperatura media son los factores más importantes para la abundancia del vector. De acuerdo con Chen y Hsieh (2012), la oviposición (cuando las hembras ponen sus huevos) ocurre en el rango de 15 a 30°C; mientras que algunos autores mencionaron que las densidades de huevos más altas ocurren por encima de 17.5°C (Scott *et al*. 1993, Barrera *et al*. 2011). Desde 2006, en Baja California Sur las temperaturas mínimas oscilaron entre 16 y 17°C (CONAGUA 2017).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2013) indicó que las previsiones para el cambio climático apuntan a que los días y las noches frías son cada vez menos comunes. Se espera que dicha tendencia continúe a través del siglo XXI, lo que sugiere que el dengue en el estado podría aumentar al no existir temperaturas menores que limiten su abundancia. Debido a que no se observó ninguna tendencia hacia el aumento de las altas temperaturas, se reduce el promedio mensual de propagación de la temperatura, lo que también conduciría a un aumento de los casos de dengue (Kah *et al*. 2009).

Chen y Hsieh (2012) mencionan que no se encontraron correlaciones significativas para los datos de lluvia mensuales o estacionales con los casos de dengue, lo que indica que la precipitación no es tan relevante para la reproducción de *Ae. aegypti*. Contrariamente a esto, Arcari y colaboradores (2007) indican que la lluvia es un agente de cambio climático importante que afecta el patrón de distribución temporal y geográfica de la incidencia de los casos de dengue; mientras que la temperatura parece desempeñar un papel crítico en la intensidad del brote.

En este trabajo se determinó que los casos de dengue están directamente correlacionados con el aumento de la temperatura mínima mensual, lo que es consistente con lo encontrado por Díaz-Castro y colaboradores (2017) hasta 2013; lo anterior se evidencia con el aumento de los casos de dengue documentados, que pasaron de 12 277.80 en 2013 a 16 644.17 en 2014, cuando se obtuvo la segunda mayor temperatura mínima mensual registrada en la entidad (17.9°C).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones y recomendaciones

El aumento en el número de casos documentados de esta grave enfermedad ha llevado a que las autoridades sanitarias tengan que adoptar medidas preventivas para su control, como la realización de campañas de fumigación en ambientes locales específicos (implementadas para evitar mosquitos resistentes a insecticidas), así como la difusión de información por medios de comunicación, con el fin de concientizar a la población sobre las medidas que se deben tomar a nivel vivienda, como el mantenimiento de patios limpios y secos, y la correcta eliminación de la basura doméstica. Dichas campañas permitieron la disminución de los casos documentados en 2015 (1 548) y 2016 (367); sin embargo, aún hay casos de dengue y se espera que incrementen a medida que aumente la temperatura mínima mensual en la región.

Se prevé que la temperatura en esta región del país continúe aumentando, y debido a que el dengue comparte vectores con los virus chikungunya y Zika, las acciones preventivas mencionadas anteriormente deben intensificarse, así como la implementación de un programa de manejo mediante la introducción de la bacteria *Wolbachia pipientis* al interior de los mosquitos, con la intención de bloquear el ciclo de vida del virus dentro del vector (Fox *et al.* 2024). Este programa se está desarrollando en una primera fase en algunas colonias en la ciudad de La Paz. Por otro lado, es imprescindible continuar una mayor investigación científica sobre el tema.

Referencias

Arcari, P., N. Tapper y S. Pfueller. 2007. Regional variability in relationships between climate and dengue. Singapore. *Journal of Tropical Geography* 28(3):251-272.

Azil, A.H., S.A. Long, S.A. Ritchie y C.R. Williams. 2010. The development of predictive tools for pre-emptive dengue vector control: a study of *Aedes aegypti* abundance and meteorological variables in North Queensland, Australia. *Tropical Medicine and International Health* 15(10):1190-1197.

Barrera, R., M. Amador y A.J. MacKay. 2011. Population dynamics of *Aedes aegypti* and dengue as influenced by weather and human behavior in San Juan, Puerto Rico. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 5(12):e1378.

Bhatt, S., P.W. Gething, O.J. Brady *et al.* 2013. The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496(7446):504-507.

Carrington, L.B., M.V. Armijos, L. Lambrechts y T.W. Scott. 2013a. Fluctuations at a low mean temperature accelerate dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 7(4):e2190.

Carrington, L.B., M.C. Armijos, L. Lambrechts *et al.* 2013b. Effects of fluctuating daily temperatures at critical thermal extremes on *Aedes aegypti* life-history traits. *PLOS ONE* 8(3):e58824.

Chang, M.S., J. Hii, P. Buttner y F. Mansoor. 1997. Changes in abundance and behavior of vector mosquitoes induced by land use during the development of an oil palm plantation in Sarawak. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 91:382-386.

Chen, S.C. y M.H. Hsieh. 2012. Modeling the transmission dynamics of dengue fever: implications of temperature effects. *Science of the Total Environment* 431:385-391.

Chiparelli, H. y F. Schelotto. 2002. *Dengue una enfermedad emergente muy cerca de nuestro país*. En: <http://www.bvsde.paho.org/bvsasv/matedu/dengue2/den6290.htm>, última consulta: 16 de octubre de 2019.

Christophers, S.R. 1960. *Aedes aegypti (L): the yellow fever mosquito. Its life history, bionomics and structure.* Cambridge University Press, Londres.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2017. *Servicio Meteorológico Nacional*. En: <http://smn.cna.gob.mx>, última consulta: 5 de junio de 2017.

Díaz-Castro, S., M. Moreno-Legorreta, A. Ortega-Rubio y V. Serrano-Pinto. 2017. Relationship between dengue and climate trends in Northwestern Mexico. *Tropical Biomedicine* 34(1):157-165.

Ebi, K.L., J. Hartman, N. Chan *et al.* 2005. Climate suitability for stable malaria transmission in Zimbabwe under different climate change scenarios. *Climatic Change* 73:375-393.

Epstein, P.R. 2005. Climate change and human health. *New England Journal of Medicine* 353:1433-1436.

Fernández, S.I. 2009. *Biología y control de Aedes aegypti, Manual de operaciones*. UANL, Monterrey.

Fox, T., Y. Sguassero, M. Chaplin *et al.* 2024. *Wolbachia*-carrying *Aedes* mosquitoes for preventing dengue infection. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 4(4):CD015636.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Fuller, D.O., A. Troyo y J.C. Beier. 2009. El Niño Southern oscillation and vegetation dynamics as predictors of dengue fever cases in Costa Rica. *Environmental Research Letters* 4:140111-140118.

Gaxiola-Robles, R., A. Celis, V. Serrano-Pinto *et al.* 2012. Mortality trend by dengue in Mexico 1980 to 2009. *Revista de Investigación Clínica* 64(5):444-451.

Gómez, D. y M.H. Rodríguez. 1994. *Paludismo y dengue: de la erradicación a las zonas de riesgo*. Cuadernos de Salud. SS, México.

Gubler, D.J. 1997. Dengue and dengue hemorrhagic fever: its history and resurgence as a global public health problem. En: *Dengue and dengue hemorrhagic fever*. D.J. Gubler y G. Kuno (eds.). CAB International, Londres, pp. 1-22.

Gubler, D.J., P. Reiter, K.L. Ebi *et al.* 2001. Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environmental Health Perspective* 109(2):223-233.

Guzmán, M.G., G. García y G. Korí. 2006. El dengue y el dengue hemorrágico: prioridades de investigación. *Revista Panamericana de Salud Pública* 3:204-215.

Harwood, R. y M. James. 1993. *Entomología médica y veterinaria*. Limusa, México.

Hayes, E.B. 2009. Zika virus outside Africa. *Emerging Infectious Diseases Journal* 15(9):1347-1350.

Hii, Y.L., J. Rocklov, N. Ng *et al.* 2009. Climate variability and increase in intensity and magnitude of dengue incidence in Singapore. *Global Health* 11:2.

IPCC. Intergovernamental Panel on Climate Change. 2013. *Climate change 2013: the physical science basis*. En: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>, última consulta: 17 de octubre de 2019.

Kah, T., K. Hock y T. Su. 2009. Modeling dengue fever subject to temperature change. En: *IEEE Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. FSKD, Nueva Jersey.

Kettle, D.S. 1984. *Medical and veterinary entomology*. Helen Croom, Londres.

Lambrechts, L., T.W. Scott y D.J. Gubler. 2010. Consequences of the expanding global distribution of *Aedes albopictus* for dengue virus transmission. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 4(5):e646.

Moreno-Legorreta, M., S. Díaz-Castro, A. Ortega-Rubio *et al.* 2015. Decades of experience in the diagnosis of dengue fever in the northwest of Mexico. *Revista de Investigación Clínica, Clinical & Translational Investigation* 67(6):372-378.

Morin, C.W., A.C. Comrie y E. Kacey. 2013. Climate and dengue transmission: evidence and implications. *Environmental Health Perspectives* 121(11-12):1264-1272.

Patz, J.A., W.J.M. Martens, D.A. Focks y T.H. Jetten. 1998. Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. *Environmental Health Perspectives* 106:147-153.

Rogers, D.J. y S.E. Randolph. 2000. The global spread of malaria in a future, warmer world. *Science* 289:1763-1766.

Rueda, L.M., K.J. Patel, R.C. Axtell y R.E. Stinner. 1990. Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Journal of Medical Entomology* 27:892-898.

Scott, T., L. Clarck, P. Lorenz *et al.* 1993. Detection of multiple feeding in *Aedes aegypti* (Díptera: Culicidae) during a single gonotrophic cycle using a histologyc tecnique. *Journal of Medical Entomology* 30:94-99.

Serrano-Pinto, V. y M. Moreno-Legorreta. 2017. Dengue hemorrhagic fever in the Northwest of Mexico: A two decade analysis. *Revista de Investigación Clínica* 69(3):152-158.

Small, J., S.J. Goetz y S.I. Hay. 2003. *Climatic suitability for malaria transmission in Africa, 1911-1995*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100:15341-15345.

SS. Secretaría de Salud. 2016. *Sistema Único de información para la Vigilancia Epidemiológica, anuario de morbilidad 1984-2016*. En: <http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/anuarios.html>, última consulta: 17 de octubre de 2019.

Thai, K.T. y K.L. Anders. 2011. The role of climate variability and change in the transmission dynamics and geographic distribution of dengue. *Experimental Biology and Medicine* 236:944-954.

Tun-Lin, W., T.R. Burkot y B.H. Kay. 2000. Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in north Queensland, Australia. *Medical and Veterinary Entomology* 14:31-37.

Van Benthem, B.H.B., S.O. Vanwambeke, N. Khantikul *et al.* 2005. Spatial patterns of and risk factors for seropositivity for dengue infection. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 72:201-208.

Vanwambeke, S.O., E.F. Lambin, M.P. Eichhorn *et al.* 2007. Impact of land use change on dengue and malaria in northern Thailand. *Ecohealth* 4(1):37-51.

Watts, D.M., D.S. Burke y B.A. Harrison. 1987. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 36:143-152.

Yanola, I., P. Somboon y C. Walton. 2011. High-throughput assays for detection of the F1534C mutation in the voltage-gated sodium channel gene in permethrin-resistant *Aedes aegypti* and the distribution of this mutation throughout Thailand. *Tropical Medicine & International Health* 16(4):501-509.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Impacto de la variabilidad climática natural sobre la biodiversidad marina

Romeo Saldívar Lucio, Aída Martínez López, Christian Salvadeo,
Salvador Emilio Lluch Cota y Daniel Bernardo Lluch Cota

Introducción

El sistema climático de la Tierra posee una complejidad inherente, originada por la combinación de mecanismos naturales y antropogénicos que lo determinan o modulan. La variabilidad climática incluye variaciones periódicas en diferentes escalas temporales como las diferencias de temperatura y precipitación entre verano e invierno o las diferencias entre años, fluctuaciones azarosas de procesos físicos y químicos como las erupciones volcánicas, así como procesos de retroalimentación como cuando hay más calor que ocasiona mayor evaporación y formación de nubes que luego bloquean la luz solar y disminuyen el calor y la evaporación.

Algunas regiones del planeta muestran un comportamiento casi oscilatorio de variación como la que ocurre en el Pacífico tropical, conocidos en conjunto como patrones naturales o modos de variación (NCAR 2015). El Niño-Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés) es el patrón natural que domina la escala interanual (variación entre años), que afecta principalmente atributos estacionales como el inicio, duración o intensidad del verano o el invierno. El fenómeno ENSO se presenta con periodicidades irregulares de entre dos y ocho años, (observables en variables como la temperatura superficial del mar) y se manifiesta con mayor frecuencia cada cinco años en variables biológicas (p.e. cambios de distribución de especies; Fiedler 2002, Lluch-Belda *et al.* 2005).

Este fenómeno se caracteriza por presentar una fase de calentamiento anormal del océano Pacífico oriental tropical-subtropical y templado (El Niño); y una fase de enfriamiento anormal (La Niña). Cada fase o evento puede durar de uno a dos años, aunque recientemente se ha observado que su duración puede extenderse al interactuar con otros fenómenos como puede ser el *Blob* o procesos multidecadales. En la fase cálida (El Niño) hay una caída abrupta de la productividad primaria (biomasa) en los sistemas de afloramientos costeros (también conocidos como zonas de surgencias), ecosistemas que se caracterizan por su importancia ecológica y pesquera (Lluch-Belda 2000).

Las variaciones del clima a escala decadal-interdecadal en el Pacífico norte están representadas por varios patrones climáticos, entre éstos destaca la Oscilación Decadal del Pacífico o la Oscilación del Giro del Pacífico Norte (Mantua *et al.* 1997, Di Lorenzo *et al.* 2008). En tales escalas se pueden encontrar cambios en variables físicas como la presión atmosférica (Minobe 1999) o la actividad de surgencias (Saldívar-

Saldívar-Lucio, R., A. Martínez-López, C. Salvadeo, S.E. Lluch-Cota y D.B. Lluch-Cota. 2025. Impacto de la variabilidad climática natural sobre la biodiversidad marina. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 361-367.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Lucio *et al.* 2016), así como en variables biológicas (p.e. el reclutamiento y la abundancia de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax*; Zwolinski y Demer 2014).

En este contexto, Baja California Sur se caracteriza por tener variaciones periódicas en diferentes variables oceánicas (figura 1) y atmosféricas, las cuales son resultado de la influencia que ejercen la circulación atmosférica de gran escala, las mareas nodales lunares y la actividad solar sobre los patrones de vientos dominantes, la posición e intensidad de los centros de presión y la fuerza de las celdas de circulación atmosférica (Saldívar-Lucio *et al.* 2016). La importancia de estas escalas de variación en los cambios de distribución y abundancia de organismos marinos presentes en la entidad, ha sido señalada en diversos estudios (Lluch-Belda *et al.* 2003a, 2009, Lluch-Cota *et al.* 2010, Salvadeo *et al.* 2011a).

Respuesta de la biodiversidad a las variaciones climáticas

Golfo de California

Presenta una marcada estacionalidad como consecuencia de cambios en los patrones de corrientes y vientos, con dos estaciones bien definidas: templada (muy productiva, que va de noviembre a mayo), y cálida (menos productiva, que abarca de junio a octubre; Lluch-Cota *et al.* 2007). Esta estacionalidad es determinante para los patrones de desplazamiento, frente a las costas del estado, de numerosas especies en el ambiente pelágico (que viven en la columna de agua), como las sardinas del Pacífico (*Sardinops sagax*), los calamares gigantes (*Dosidicus gigas*) y algunos mamíferos marinos como la ballena gris (*Eschrichtius robustus*; Salvadeo *et al.* 2009, Pardo *et al.* 2013).

Además del ciclo estacional, la variación interanual del fenómeno ENSO es el cambio ambiental más notorio en el golfo de California (Baumgartner y Christensen 1985, Lluch-Cota *et al.* 2010). Con imágenes de satélite se ha observado que, durante la fase cálida, la productividad primaria (constituida principalmente por microalgas del plancton) disminuye en gran parte del golfo, incluyendo las costas sudcalifornianas (Kahru *et al.* 2004, Herrera-Cervantes *et al.* 2010). En registros históricos de sedimento marino del golfo y de la bahía de La Paz, se ha confirmado la baja productividad y mayor presencia de especies de microalgas de aguas tropicales y subtropicales durante los eventos El Niño; mientras que los episodios fríos de La Niña se destacan por una elevada productividad oceánica y por una mayor presencia de especies de microalgas de aguas templadas (Baumgartner *et al.* 1985, Martínez-López *et al.* 2012, 2016). Gracias a su afinidad biogeográfica, diferentes especies del zooplancton son indicadoras de las condiciones hidrográficas relacionadas con El Niño y La Niña (Alvariño 1971,1992, Lluch-Cota *et al.* 2007).

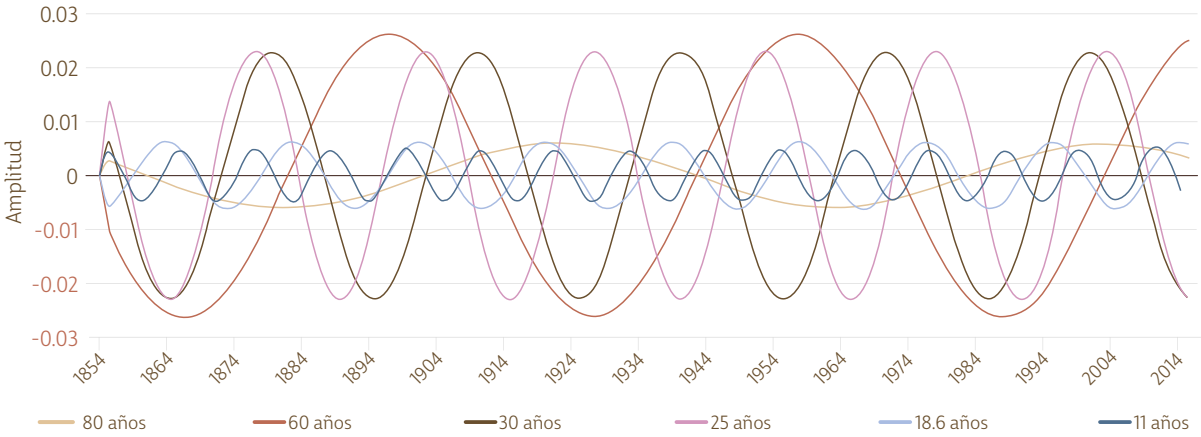


Figura 1. Ejemplo de las escalas de variación, entre 10 y 100 años, identificadas en la temperatura superficial del Pacífico sudcaliforniano a partir de la base de datos de temperatura superficial del mar extendida y reconstruida (ERSST; Smith y Reynolds 2003). Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Las comunidades de peces frente a las costas del estado también son afectadas por estos fenómenos. Durante un evento El Niño, se observa el aumento de la diversidad de peces, con el dominio de especies tropicales de baja biomasa; mientras que en las condiciones frías de La Niña la diversidad es menor y dominan las de afinidad templada y con grandes biomasas (Saldívar-Lucio 2010). Estos cambios en la comunidad de peces, consecuencia de los fenómenos interanuales, se manifiestan en el reclutamiento y la biomasa de las reservas (stocks) de especies de interés comercial como calamar y sardina, disminuyendo sus capturas durante (y después) eventos El Niño e incrementándose al ocurrir eventos La Niña (Lluch-Cota *et al.* 2017).

La disminución en la abundancia y la disponibilidad de calmares y sardinas también afecta la abundancia y la distribución de numerosas especies de depredadores tope del ambiente marino, entre los que se incluyen aves como el pelícano café (*Pelecanus occidentalis californicus*) y el charrán elegante (*Thalasseus elegans*), así como mamíferos marinos como el rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*; Salvadeo *et al.* 2011a, b, Velarde *et al.* 2015, Anderson *et al.* 2017). Cabe señalar que, bajo las condiciones adversas de El Niño, la productividad en el norte del golfo no cae abruptamente debido a la mezcla de fuertes corrientes de marea en la región de las grandes islas (Kahru *et al.* 2004, Herrera-Cervantes *et al.* 2010). Esta característica hace que la región sea un refugio para fauna pelágica como sardinas, calamares y sus depredadores, que se desplazan hacia esa zona en busca de alimento (Tershy *et al.* 1991, Lluch-Belda *et al.* 2003b). Lo anterior, provoca que durante condiciones El Niño algunas especies se desplacen hacia el norte del golfo y dejen las aguas del estado (Salvadeo *et al.* 2011b).

Un aspecto positivo de los efectos subregionales de los eventos El Niño de finales del siglo XX, fue que se observaron en al menos dos períodos cálidos capturas excepcionalmente altas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en la boca del golfo de California (Torres-Orozco *et al.* 2006). Estos efectos en las zonas pelágicas también se perciben en ecosistemas bentónicos (del fondo marino): en el caso particular de los corales, las elevadas temperaturas provocan la disociación de microalgas que están en simbiosis con los pólipos del coral (fenómeno conocido como blanqueamiento de coral), lo que ha sido detectado con diferentes intensidades frente a las costas sudcalifornianas durante eventos El Niño, además de que se han registrado cambios en la incorporación de minerales para la formación de arrecifes (Reyes-Bonilla 2001, Carriquiry y Villaescusa 2010).

Corriente de California

Esta corriente fluye a lo largo del año en dirección al Ecuador, y transporta agua fría desde la punta norte de la isla de Vancouver (Canadá) hasta Baja California Sur. Al igual que en la costa del golfo, la región de la Corriente de California también presenta una marcada estacionalidad oceánica, con una estación muy productiva a causa de los afloramientos costeros consecuencia del aumento de los vientos que corren paralelos a la costa durante los meses de primavera (Lluch-Belda 2000). Estos afloramientos de aguas frías y ricas en nutrientes interactúan con fenómenos oceanográficos de importancia ecológica y pesquera a escala regional, como son los frentes (gradientes de temperatura y salinidad) y giros (remolinos) oceánicos (Etnoyer *et al.* 2004, 2006, Yen *et al.* 2006, Kurczyn *et al.* 2012, Pardo *et al.* 2015), que hacen que las costas estatales se encuentren entre las más productivas a nivel global.

Además de la estacionalidad en los afloramientos costeros, la variabilidad interanual del fenómeno ENSO modula la productividad oceánica en las costas del estado, por ejemplo, con decrementos mayores a 75% durante eventos intensos de El Niño (Martínez-López y Verdugo Díaz 2000, Lluch-Belda *et al.* 2003a). Durante este tipo de eventos cálidos se identifica un incremento en la diversidad de las comunidades planctónicas, con un aumento en el número de especies de larvas de peces y copépodos de afinidad tropical (Palomares-García y Gómez-Gutiérrez 1996, Funes-Rodríguez *et al.* 1998, Hernández-Trujillo 1999, Palomares-García *et al.* 2003, Lavaniegos y Jiménez-Pérez 2006).

Este recambio de especies templadas por tropicales del plancton, también es un rasgo distintivo en algunos peces. En condiciones cálidas se observa el desplazamiento hacia el norte de especies tropicales como el dorado (*Coryphaena hippurus*) y la barracuda

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

(*Sphyraena barracuda*); mientras que las condiciones frías producen que éstas y otras especies de afinidad tropical se contraigan hacia el sur (Lluch-Belda *et al.* 2005). Este cambio latitudinal en la distribución de especies afecta además a recursos masivos de importancia pesquera como la sardina en bahía Magdalena, que se desplaza hacia el norte y es reemplazada por especies tropicales (Funes-Rodríguez *et al.* 2001). Asimismo, se tiene información sobre la disminución de recursos pesqueros con alto valor en el mercado, como la langosta (*Panulirus interruptus*) y el abulón (*Haliotis fulgens*), asociada a la variabilidad interanual de los eventos ENSO (McCay *et al.* 2011, Micheli *et al.* 2012).

Los cambios latitudinales en la distribución de especies del plancton y peces también ocurren con grandes mamíferos como la ballena gris (*E. robustus*). Hay registros que indican que las madres con cría se distribuyen al norte del estado en condiciones cálidas; mientras que bajo condiciones frías se desplazan en dirección al Ecuador, observándose ejemplares tan al sur como las costas de Jalisco porque las madres buscan la temperatura óptima para disminuir el estrés térmico de los recién nacidos (Urbán-Ramírez *et al.* 2003, Salvadeo *et al.* 2015). Posterior al evento El Niño en 1997-1998, se registró una mortalidad masiva de ballenas grises en las costas sudcalifornianas, debido a que los animales estaban malnutridos por la caída de la productividad en el Ártico (Le Boeuf *et al.* 2000, Urbán-Ramírez *et al.* 2003). Esta disminución de la productividad de los ecosistemas oceánicos durante los eventos cálidos de El Niño, también produce un aumento en la mortalidad de las crías y fallas en la reproducción de especies como el caso del lobo marino (*Zalophus californianus*) en las islas del Pacífico (Elorriaga-Verplancken *et al.* 2016).

Otra escala de variación con fuerte influencia en la región es la Oscilación Decadal del Pacífico, descrita como una fluctuación de largo período que afecta principalmente el clima en el Pacífico norte y Norteamérica (Mantua *et al.* 1997). Esta variación se caracteriza por tener periodos de calentamiento y enfriamiento menos intensos que el fenómeno ENSO, pero con una duración de décadas. Los periodos cálidos se caracterizan por una baja producción primaria y los fríos son más productivos (Kahru *et al.* 2009). Las modificaciones de tendencia en la variación decadal se conocen como cambios de régimen, mismos que presentan una fuerte señal detectable en variables físicas y biológicas. Un ejemplo de ello es la distribución de las poblaciones de sardinas y calamares a lo largo de las costas mexicanas, entre las que se incluyen las sudcalifornianas (Lluch-Belda *et al.* 1989, Rodhouse 2008, Salvadeo *et al.* 2011a).

Conclusiones

Por su posición geográfica (zona de transición templado-tropical) y extensión latitudinal, los mares y costas de Baja California Sur están expuestos a diferentes patrones climáticos naturales de escalas locales, regionales y hemisféricas. Los patrones más evidentes son el ciclo interanual de origen tropical ENSO, y el interdecadal del Pacífico norte. Ambos patrones afectan en diferente magnitud la abundancia y distribución de especies de interés comercial y ecológico dentro de la entidad.

El estudio de la variabilidad climática natural y su expresión regional es un campo de investigación dinámico en las ciencias oceánicas y atmosféricas. El estado no solo es un caso de estudio excepcional por encontrarse en una gran zona de transición climática bajo la influencia de dos regiones marinas, sino que también contribuye de manera significativa, a través de su universidad y centros de investigación, a la evolución del conocimiento sobre los patrones climáticos que predominan en las regiones marinas estatales. A pesar del grado de avance, aún se requieren estudios para consolidar el conocimiento de la variabilidad climática natural, tanto en el mar como en tierra, con la finalidad de sentar las bases para el desarrollo de pronósticos climático-biológicos que potencialicen la toma de decisiones informadas y las capacidades de manejo de los recursos naturales sudcalifornianos.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Alvariño, A. 1971. Siphonophores of the pacific, with a review of the world distribution. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography* 16:1-432.

—. 1992. Day and night bathymetric distribution of seventeen species of Chaetognatha during the four seasons of 1969, in California and Baja California waters. *Investigaciones Marinas* CICIMAR 7:1-169.

Anderson, D.W., C.R. Godínez-Reyes, E. Velarde *et al.* 2017. Brown pelicans, *Pelecanus occidentalis californicus* (Aves: Pelecanidae): five decades with ENSO, dynamic nesting, and contemporary breeding status in the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 43(1):1-34.

Baumgartner, T. y N. Christensen. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Journal of Marine Research* 43(4):825-848.

Baumgartner, T., V. Ferreira-Bartrina, H. Schrader y A. Soutar. 1985. A 20 year varve record of siliceous phytoplankton variability in the central Gulf of California. *Marine Geology* 64:113-129.

Carriquiry, J.D. y J.A. Villaescusa. 2010. Coral Cd/Ca and Mn/Ca records of ENSO variability in the Gulf of California. *Climate of the Past* 6:401-410.

Di Lorenzo, E., N. Schneider, K.M. Cobb *et al.* 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophysical Research Letters* 35(8):L08607.

Elorriaga-Verplancken, F.R., G.E. Sierra-Rodríguez, H. Rosales-Nanduca *et al.* 2016 Impact of the 2015 El Niño-Southern Oscillation on the Abundance and Foraging Habits of Guadalupe Fur Seals and California Sea Lions from the San Benito Archipelago, Mexico. *PLOS ONE* 11(5):e0155034.

Etnoyer, P., D. Canny, B. Mate y L. Morgan. 2004. Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering sea (B2B) Ecoregion. *Oceanography* 17(1):90-101.

Etnoyer, P., D. Canny, B. Mate *et al.* 2006. Sea-surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California Peninsula, Mexico. *Deep-Sea Research II* 53:340-358.

Fiedler, P.C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific ocean: review of ENSO and decadal. *Marine Ecology Progress Series* 244:265-283.

Funes-Rodríguez, R., A. Fernández-Alamo y R. González-Armas. 1998. Larvas de peces recolectadas durante dos eventos El Niño en la costa occidental de Baja California Sur, México. *Oceánides* 13(1):67-75.

Funes-Rodríguez, R., A. Hinojosa-Medina, R. Avendaño-Ibarra *et al.* 2001. Spawning of small pelagic fish in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, at the beginning of the 1997-1998 El Niño event. *Estuarine and Coastal Marine Science* 53(5):653-664.

Hernández-Trujillo, S. 1999. Variability of community structure of Copepoda related to El Niño 1982-83 and 1987-88 along the west coast of Baja California Peninsula, Mexico. *Fisheries Oceanography* 8(4):284-295.

Herrera-Cervantes, H., S. Lluch-Cota, D. Lluch-Cota *et al.* 2010. ENSO influence on satellite-derived chlorophyll trends in the Gulf of California. *Atmósfera* 23(3):253-262.

Kahru, M., S.G. Marinone, S. Lluch-Cota *et al.* 2004. Ocean color variability in the Gulf of California: scales from days to ENSO. *Deep Sea Research II* 51:139-146.

Kahru, M., R. Kudela, M. Manzano-Sarabia y B.G. Mitchell. 2009. Trends in primary production in the California Current detected with satellite data. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 114(C2):1-7.

Kurczyn, J.A., E. Beier, M.F. Lavín y A. Chaigneau. 2012. Mesoscale eddies in the northeastern Pacific tropical-subtropical transition zone: Statistical characterization from satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research* 117:C10021.

Lavaniegos, B.E. y L.C. Jiménez-Pérez. 2006. Biogeographic inferences of shifting copepod distribution during 1997-1999 El Niño and La Niña in the California Current. En: *Contributions to the study of East Pacific crustaceans*. M.E. Hendrickx (ed.). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-UNAM, México, pp. 113-158.

Le Boeuf, B.J., M.H. Pérez-Cortés, J. Urbán-Ramírez *et al.* 2000. High gray whale mortality and low recruitment in 1999: potential causes and implications. *Journal of Cetacean Research and Management* 2:85-99.

Lluch-Belda, D. 2000. Centros de actividad biológica en la costa occidental de Baja California. En: *Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano*. D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 49-64.

Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki *et al.* 1989. Worldwide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. *South African Journal of Marine Science* 8:195-205.

Lluch-Belda, D., D. Lluch-Cota y S. Lluch-Cota. 2003a. Scales of interannual variability in the California Current System: associated physical mechanisms and likely ecological impacts. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 44:76-85.

—. 2003b. Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography* 59:503-513.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

—. 2005. Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fisheries Oceanography* 14(6):458-467.

Lluch-Belda, D., P. Del Monte-Luna y S. Lluch-Cota. 2009. 20th century variability in Gulf of California SST. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 50:147-154.

Lluch-Cota, S., E.A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez *et al.* 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography* 73:1-26.

Lluch-Cota, S., A. Parés-Sierra, V.O. Magaña-Rueda *et al.* 2010. Changing climate in the Gulf of California. *Progress in Oceanography* 87:114-126.

Lluch-Cota, S., C. Salvadeo, D. Lluch-Cota *et al.* 2017. Impacts of climate change on Mexican Pacific fisheries. En: *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: A global analysis*. B. Phillips y M. Pérez-Ramírez (eds.). John Wiley and Sons, EUA, pp. 219-238.

Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang *et al.* 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(6):1069-1079.

Martínez-López, A. y G. Verdugo Díaz. 2000. Composición y dinámica del fitoplancton en el cabo de bahía Magdalena, BCS. En: *Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano*. D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 125-142.

Martínez-López, A., I.G. Álvarez Gómez y R. Durazo. 2012. Climate variability and silicoflagellate fluxes in Alfonso basin (Southern Gulf of California). *Botanica Marina* 55(2):177-185.

Martínez-López, A., I.G. Álvarez-Gómez, L. Pérez-Cruz *et al.* 2016. Production, exportation and preservation of silicoflagellates in Alfonso basin, Gulf of California. *Journal of Sea Research* 109:52-62.

McCay, B.J., W. Weisman y C. Creed. 2011. Coping with environmental change: systemic responses and the roles of property and community in three fisheries. En: *World fisheries: a social-ecological analysis*. R.E. Ommer, R.I. Perry, K. Cochrane y P. Cury (eds.). Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 381-400.

Micheli, F., A. Saenz-Arroyo, A. Greenley *et al.* 2012. Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. *PLOS ONE* 7(7):e40832.

Minobe, S. 1999. Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts. *Geophysical Research Letters* 26(7):855-858.

NCAR. National Center for Atmospheric Research. 2015. *The Climate Data Guide: Overview: Climate Indices*. En: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/overview-climate-indices>, última consulta: 4 de noviembre de 2019.

Palomares-García, R. y J. Gómez-Gutiérrez. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-1984. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43:583-595.

Palomares-García, R., A. Martínez-López, R. De Silva-Dávila *et al.* 2003. Biological effects of El Niño 1997-98 on shallow subtropical ecosystem: bahía Magdalena, Mexico. *Geofísica Internacional* 42(3):455-466.

Pardo, M., N. Silverberg, D. Gendron *et al.* 2013. Role of environmental seasonality in the turnover of a cetacean community in the southwestern Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series* 487:245-260.

Pardo, M., T. Gerrodette, E. Beier *et al.* 2015. Inferring cetacean population densities from the absolute dynamic topography of the ocean in a hierarchical Bayesian framework. *PLOS ONE* 10(3):e0120727.

Reyes-Bonilla, H. 2001. Effects of the 1997-1998 El Niño- Southern Oscillation on coral communities of the Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 69:251-266.

Rodhouse, P.G. 2008. Large-scale range expansion and variability in ommastrephid squid populations: a review of environmental links. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 49:83-89.

Saldívar-Lucio, R. 2010. *Cambios de largo plazo en la ictiofauna arrecifal del Parque Nacional Cabo Pulmo, Baja California Sur, México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, México.

Saldívar-Lucio, R., E. Di Lorenzo, M. Nakamura *et al.* 2016. Macroscale patterns in upwelling/downwelling activity at North American west coast. *PLOS ONE* 11(11):e0166962.

Salvadeo, C., A. Gómez-Gallardo, D. Lluch-Belda y J. Urbán-Ramírez. 2009. The odontocete community and its environment in the southwestern Gulf of California. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 7(1-2):23-32.

Salvadeo, C., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota y M. Mercuri. 2011a. Review of Long term macro-fauna movement by multi-decadal warming trends in the Northeastern Pacific. En: *Climate Change: geophysical foundations and ecological effects*. J. Blanco y H. Kheradmand (eds.). Intech Open, Croacia, pp. 217-230.

Salvadeo, C., S. Flores-Ramírez, A. Gómez-Gallardo *et al.* 2011b. Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) in the southern Gulf of California: relationship with climate and prey availability. *Ciencias Marinas* 37(2):215-225.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Salvadeo, C., M. Nájera-Caballero, J. Urbán-Ramírez y D. Lluch-Belda. 2015. The effect of climate variability on gray whales (*Eschrichtius robustus*) within their wintering areas. *PLOS ONE* 10(8):e0134655.

Smith, T.M. y R.W. Reynolds. 2003. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854-1997). *Journal of Climate* 16(10):1495-1510.

Tershy, B.R., D. Breese y S. Alvarez-Borrego. 1991. Increase in cetacean and seabird numbers in the Canal de Ballenas during an El Niño-Southern Oscillation event. *Marine Ecology Progress Series* 69:299-302.

Torres-Orozco, E., A. Muhlia-Melo, A. Trasviña y S. Ortega-García. 2006. Variation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catches related to El Niño-Southern Oscillation events at the entrance to the Gulf of California. *Fishery Bulletin* 104:197-203.

Urbán-Ramírez, J., U.A. Gómez-Gallardo y S. Ludwig. 2003. Abundance and mortality of gray whales at Laguna San Ignacio, Mexico, during the 1997-1998 El Niño and the 1998-1999 La Niña. *Geofisica Internacional* 42:439-446.

Velarde, E., E. Ezcurra, M.H. Horn y R.T. Patton. 2015. Warm oceanographic anomalies and fishing pressure drive seabird nesting north. *Science Advances* 1(5):e1400210.

Yen, P.P., W.J. Sydeman, S.J. Bograd y K.D. Hyrenbach. 2006. Spring-time distributions of migratory marine birds in the southern California Current: Oceanic eddy associations and coastal habitat hotspots over 17 years. *Deep-Sea Research II* 53:399-418.

Zwolinski, J.P. y D.A. Demer. 2014. Environmental and parental control of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) recruitment. *ICES Journal of Marine Sciences* 71:2198-2207.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Riesgos a la conservación por la proliferación de proyectos turísticos en el municipio de Los Cabos

Edgar Ibarra Núñez, Arturo González Baheza, Pablo Hernández Morales, Alba Eritrea Gámez Vázquez, Oscar Arizpe Covarrubias y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

Baja California Sur tiene una economía estrechamente ligada al turismo, sector que genera beneficios económicos estimados hasta en 64% de su producto interno bruto (SE 2015). El corredor turístico Cabo San Lucas-San José del Cabo, en el municipio de Los Cabos, se considera un ejemplo de éxito del modelo turístico de sol-playa, orientado al mercado extranjero y de altos ingresos (Bojórquez *et al*. 2016). En él se asienta la mayor parte de los hoteles de la entidad, con 459 164 cuartos (SECTUR 2017), y capta la mayor parte de los ~2 millones de turistas que arriban anualmente al estado (SECTUR 2015).

Dicho fenómeno ha provocado un rápido aumento poblacional, por el flujo de personas que emigran de otras entidades en búsqueda de trabajo en el sector turístico. En este sentido, el número de habitantes del municipio de Los Cabos creció 16 veces en el periodo 980-2010 (INEGI 2010), y en el periodo 2005-2015 aumentó 57% (INEGI 2015). Al mismo tiempo, debido a la gran riqueza natural terrestre y marina en la entidad se han decretado instrumentos de protección federales (p.e. el Parque Nacional Cabo Pulmo) y locales (p.e. la Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo), que en conjunto reconocen 33.6% de la superficie estatal como áreas naturales protegidas (ANP; CONANP 2017). Sin embargo, el crecimiento de los polos urbanos costeros se sobrepone con las ANP, por lo que este aumento de la actividad turística y la infraestructura que lleva asociada representan retos para la conservación de los ecosistemas en las zonas costeras de la región peninsular.

Esta situación es especialmente evidente en el municipio de Los Cabos, donde la inadecuada planeación urbana y turística (en muchos casos violatoria de los planes de desarrollo urbano y programas de ordenamiento territorial), son importantes factores de presión sobre los ecosistemas, debido a que generan déficit hídrico e intrusión salina en los acuíferos, así como suelos erosionados y destrucción del paisaje, entre otros efectos (Cariño *et al.* 2008). Dichos factores han llevado que la región padezca un estrés hídrico, que afecta directa e indirectamente a la población, a los servicios ecosistémicos y a la biodiversidad.

El municipio de Los Cabos, ubicado en una zona árida y cálida con una precipitación media anual de 421.5 mm (CONAGUA 2015), no cuenta con fuentes superficiales que cubran la demanda de agua, por lo que las fuentes subterráneas son el principal elemento de provisión hídrica. Debido a este déficit en los recursos hídricos que sostienen las actividades del municipio,

Ibarra-Núñez, E., A. González-Baheza, P. Hernández-Morales, A.E. Gámez, O. Arizpe y A. Ortega-Rubio. 2025. Riesgos a la conservación por proliferación de proyectos turísticos en el municipio de Los Cabos. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 368-372.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

el aumento de proyectos turístico-hoteleros ha significado la pérdida de vegetación tropical subhúmeda, árida y semiárida, así como de especies en riesgo registradas en la NOM-059 (SEMARNAT 2010) y la fauna nativa asociada.

Desarrollos turísticos y pérdida de cobertura vegetal en el corredor turístico

Con la finalidad de determinar el impacto de la actividad turística en el corredor Cabo San Lucas-San José del Cabo, se delimitó un área de 54 551.49 ha de acuerdo con el polígono del Instituto Municipal de Planeación de Los Cabos y el Plan Director de Desarrollo Urbano San José del Cabo y Cabo San Lucas (PDU 2040; Ayuntamiento de Los Cabos 2015). Para determinar la pérdida de cobertura vegetal y suelo natural por el aumento de proyectos turísticos dentro del corredor turístico y su relación con las posibles afectaciones a la biodiversidad costera, se compararon imágenes satelitales de la zona en el periodo 2000-2015.

Para ello, se utilizó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), el cual se calcula a partir de los espectros de la luz visible y la luz infrarroja cercana, reflejada por la vegetación y captada por sensores en satélites especiales (figura 1). El principio de esto es que la vegetación sana absorbe la mayor parte de la luz visible que recibe y refleja una gran parte de la luz del infrarrojo cercano; mientras que la vegetación poco saludable o escasa refleja más luz visible y menos infrarroja cercana (Weier y Herring 2011, González-Baheza 2017).

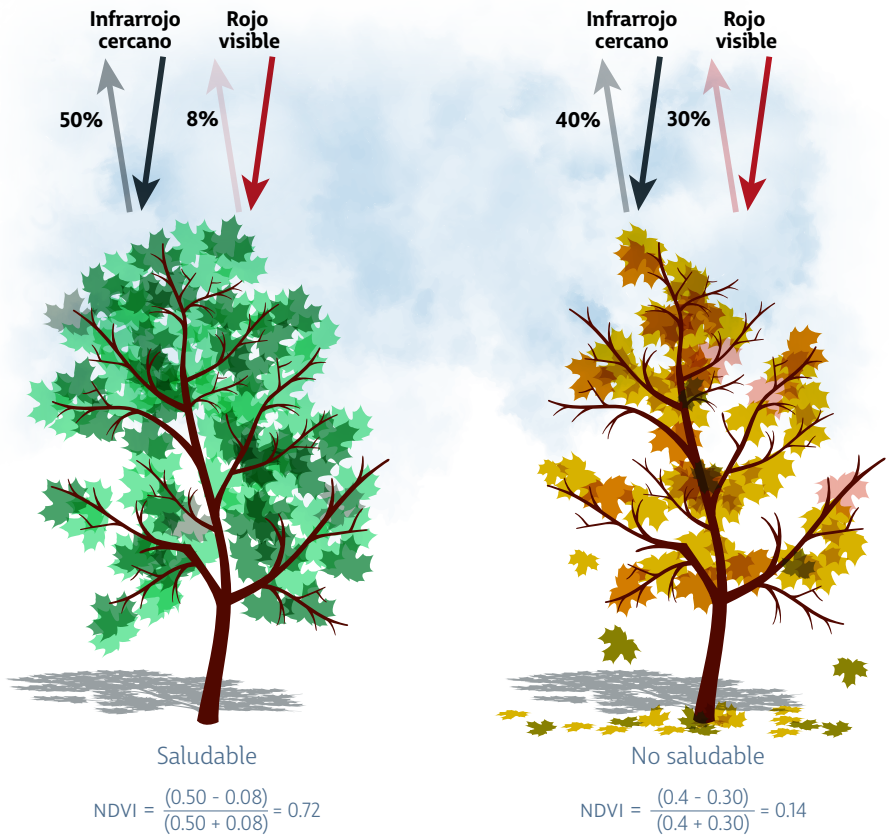


Figura 1. Ejemplo del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), utilizando sensores remotos instalados en satélites para medir y cartografiar la densidad del verdor de la vegetación sobre la superficie terrestre; y algoritmos que determinan la densidad de verdor en una superficie, con las longitudes de onda visibles e infrarrojas de la luz del sol. Fuente: Weier y Herring 2011, González-Baheza 2017.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

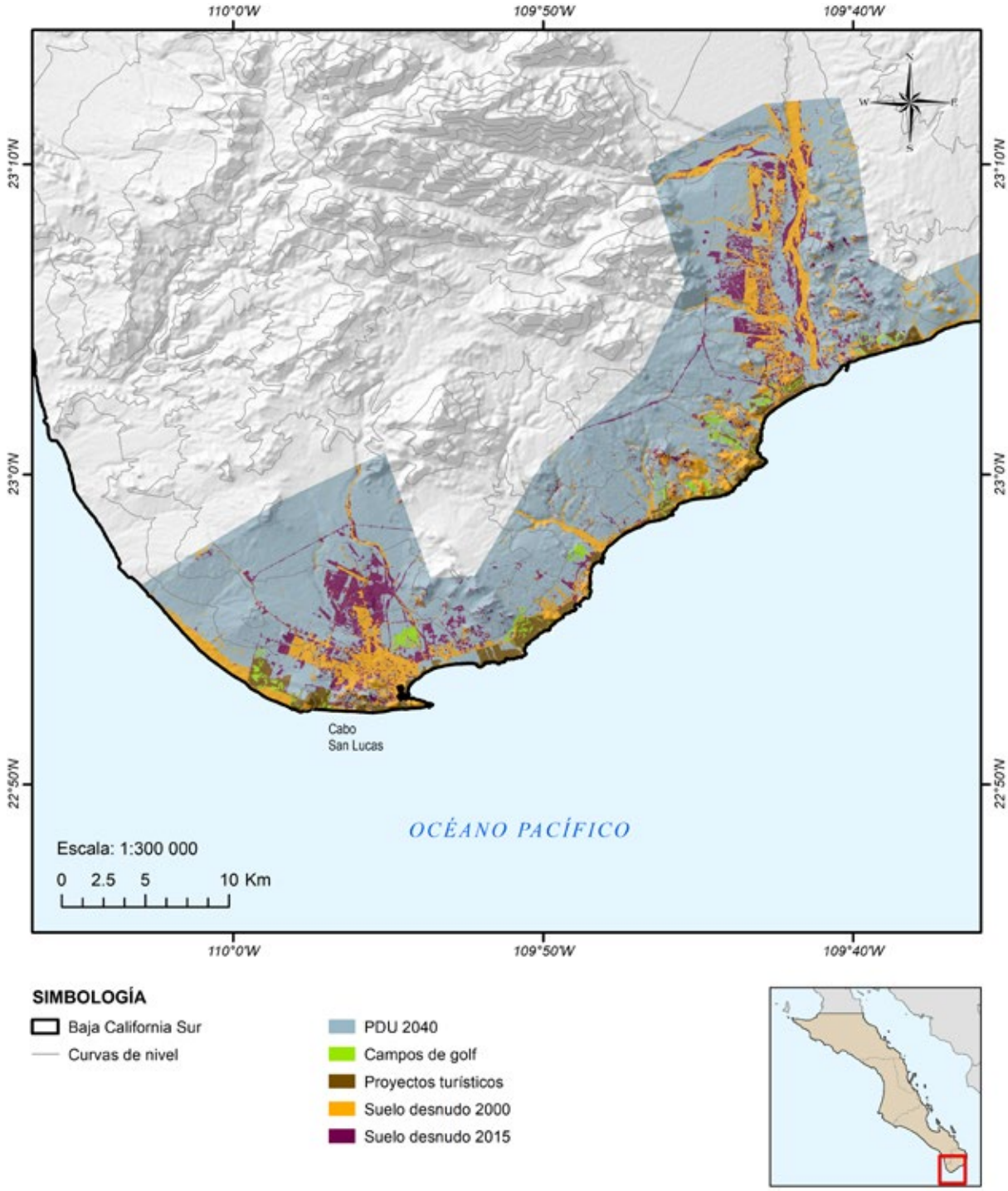


Figura 2. Suelo desnudo para 2000 y 2015 en la región costera de Los Cabos. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 5 y 8.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Los resultados muestran un aumento de la superficie del suelo desnudo: en 2000 el área carente de vegetación fue 82.74 km^2 (8 274.55 ha), mientras que en 2015 la extensión se incrementó a 126.91 km^2 (12 691.03 ha). Esto representó ~15% del área del PDU 2040 en el año 2000 y ~23% en 2015, lo que indica un incremento de 8% de superficie desnuda o modificada, lo cual se atribuye principalmente al desarrollo de infraestructura turística (como campos de golf) y al crecimiento urbano asociado a una mayor inmigración de mano de obra (figura 2). Esta drástica y rápida transformación del espacio costero es producto, en un alto porcentaje, del turismo de sol y playa, y repercute negativamente sobre la biodiversidad del corredor costero, incluso de la región de Cabo del Este, donde se encuentra el ANP Parque Nacional Cabo Pulmo (figura 3).

Conclusiones y recomendaciones

Pese a los esquemas de protección existentes, hay incompatibilidad entre conservación y crecimiento del turismo tradicional de sol y playa. Las propuestas de regionalización del espacio para destinarlo a la conservación se ven comprometidas por la construcción de infraestructura turística, debido a que persiguen en esencia dos fines distintos: el crecimiento económico utiliza los recursos naturales como un capital infinito, mientras que la conservación procura la sustentabilidad.

El turismo se ha desarrollado en los lugares con mayor belleza escénica, haciendo uso de los elementos que conforman el paisaje. Esto deteriora la biodiversidad local y los ecosistemas vulnerables (p.e. dunas costeras y manglares), así como la propia belleza escénica.

El crecimiento del turismo depende de la condición del entorno natural y del paisaje; por lo tanto, se deben reforzar las medidas que regulan el uso del espacio, más allá del esquema de turismo tradicional hacia uno de turismo alternativo (Arizpe y Gámez 2011), lo que puede ser una vía para conciliar ambas perspectivas. Con ello, se buscaría hacer uso del paisaje con un menor impacto, de manera responsable con el medio ambiente y con la aplicación medidas de manejo sustentable.

Figura 3. Parque Nacional Cabo Pulmo. Foto: Isaí Domínguez Guerrero/Banco de imágenes CONABIO.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Arizpe, C.O. y V.A. Gámez. 2011. An alternative tourism model for a sustainable development in Los Cabos, B.C.S., Mexico. *Transactions on Ecology and Environment* 144:191-198.

Ayuntamiento de Los Cabos. 2015. *Plan de Desarrollo Municipal Los Cabos 2015-2018*. H. XII Ayuntamiento de Los Cabos, Baja California Sur.

Bojórquez, J., M. Ángeles y A.E. Gámez. 2016. Espacios de protección del capital: panoptismo y video vigilancia en el destino turístico de Cabo San Lucas, Baja California Sur (México). *Anais Brasileiros de Estudos Turísticos* 6(3):7-20.

Cariño, M., Y. Maya, S. Díaz *et al*. 2008. El escenario: presentación geográfica y socioeconómica del espacio sudcaliforniano. En: *Del saqueo a la conservación. Historia ambiental contemporánea de Baja California Sur, 1940-2003*. M. Cariño, y M. Monteforte (coords.). CONACYT/UABCS/INE, México, pp. 99-160.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2015. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero San José del Cabo (0319)*. Gerencia de Aguas Subterráneas-CONAGUA, México.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2017. *Áreas naturales protegidas decretadas. Listado de las áreas naturales protegidas*. En: <http://www.conanp.gob.mx/>, última consulta: 30 de agosto de 2017.

González-Baheza, A. 2017. *Modelo de riesgo-vulnerabilidad integral por amenazas clave asociadas a cambio climático en zonas costeras de Baja California Sur*. Tesis de doctorado. UABCS, Baja California Sur.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. *XIII Censo de población y vivienda 2010*. INEGI, México.

—. 2015. *Encuesta intercensal 2015. Encuestas en hogares, datos proyectos estadísticos*. En: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>, última consulta: 18 de agosto de 2017.

SE. Secretaría de Economía. 2015. *Información económica y estatal: Baja California Sur*. En: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/194464/baja_california_sur_2017_02.pdf>, última consulta: 22 de noviembre de 2017.

SECTUR. Secretaría de Turismo. 2015. *Estado de Baja California Sur. Información turística por entidad federativa en México*. En: <http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_BCS.aspx>, última consulta: 22 de noviembre de 2017.

—. 2017. *Estado de Baja California Sur. Información turística por entidad federativa en México, actividad hotelera Los Cabos*. En: <http://www.datatur.sectur.gob.mx:81/Reportes/Menu.aspx>, última consulta: 22 de noviembre de 2017.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

Weier, J. y D. Herring. 2011. *Measuring vegetation (NDVI & EVI)*. En: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php>, última consulta: 18 de enero de 2018.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Erosión por ganadería en la Sierra La Laguna

Yolanda Lourdes Maya Delgado

Introducción

La Sierra La Laguna se localiza en el extremo sur de la Península de Baja California (figura 1), entre las ciudades de La Paz y Cabo San Lucas. Con poco más de 2 000 msnm, es la mayor elevación de Baja California Sur y la principal captadora de humedad, donde se produce el escurrimiento y recarga de los acuíferos subterráneos, mismos que a su vez constituyen la mayor fuente de abastecimiento de agua para la región (Guertin *et al.* 1988).

La ganadería extensiva es la actividad económica más importante en la región desde hace más de 400 años, condicionada por la gran estacionalidad de la vegetación, principalmente en la selva baja, con una breve temporada húmeda en la que el ganado es mucho más numeroso que durante el estiaje. A finales del siglo XX había pocos habitantes en los casi 60 ranchos ganaderos distribuidos en el macizo montañoso; a pesar de ello, algunas localidades ya presentaban fuertes problemas de erosión. Con la finalidad de preservar ecosistemas únicos en la región, una amplia región de esta sierra (donde se encuentran principalmente bosques de encino y encino-pino) fue decretada como área natural protegida (ANP) con el nombre de Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna (SEDESOL 1994).

Existe una relación directa entre la estabilidad de los suelos y su capacidad de captar humedad; los suelos erosionados ocasionan una menor recarga de los acuíferos, de ahí la importancia de cuantificar la superficie erosionada y su distribución. En este contexto, se realizó un estudio para determinar si la erosión en la sierra se debía a las variables físicas, químicas y biológicas como el clima, tipo de vegetación, tipo de suelo y las características fisiográficas del macizo montañoso, o bien a las actividades productivas, particularmente la ganadería extensiva. De esta forma, se esperaba que los mayores problemas de erosión se localizaran en los alrededores de asentamientos humanos y caminos, y que las superficies erosionadas no correspondieran con las que se supondría fueran las más probables si se consideraban únicamente las condiciones naturales.

Para desarrollar este análisis, se utilizaron imágenes satelitales y un sistema de información geográfica (SIG), con el que se evaluaron los datos geográficamente referenciados de las imágenes para obtener: 1) el inventario del área afectada; 2) el análisis de la asociación entre áreas erosionadas y la ubicación de ranchos y caminos de acceso; y 3) el análisis de correspondencia entre la erosión potencial y la erosión real en 1996. Esta contribución forma parte de un estudio multiescalar realizado por la autora Maya-Delgado

Maya-Delgado, Y. 2025. Erosión por ganadería en la Sierra La Laguna. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 374-381.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

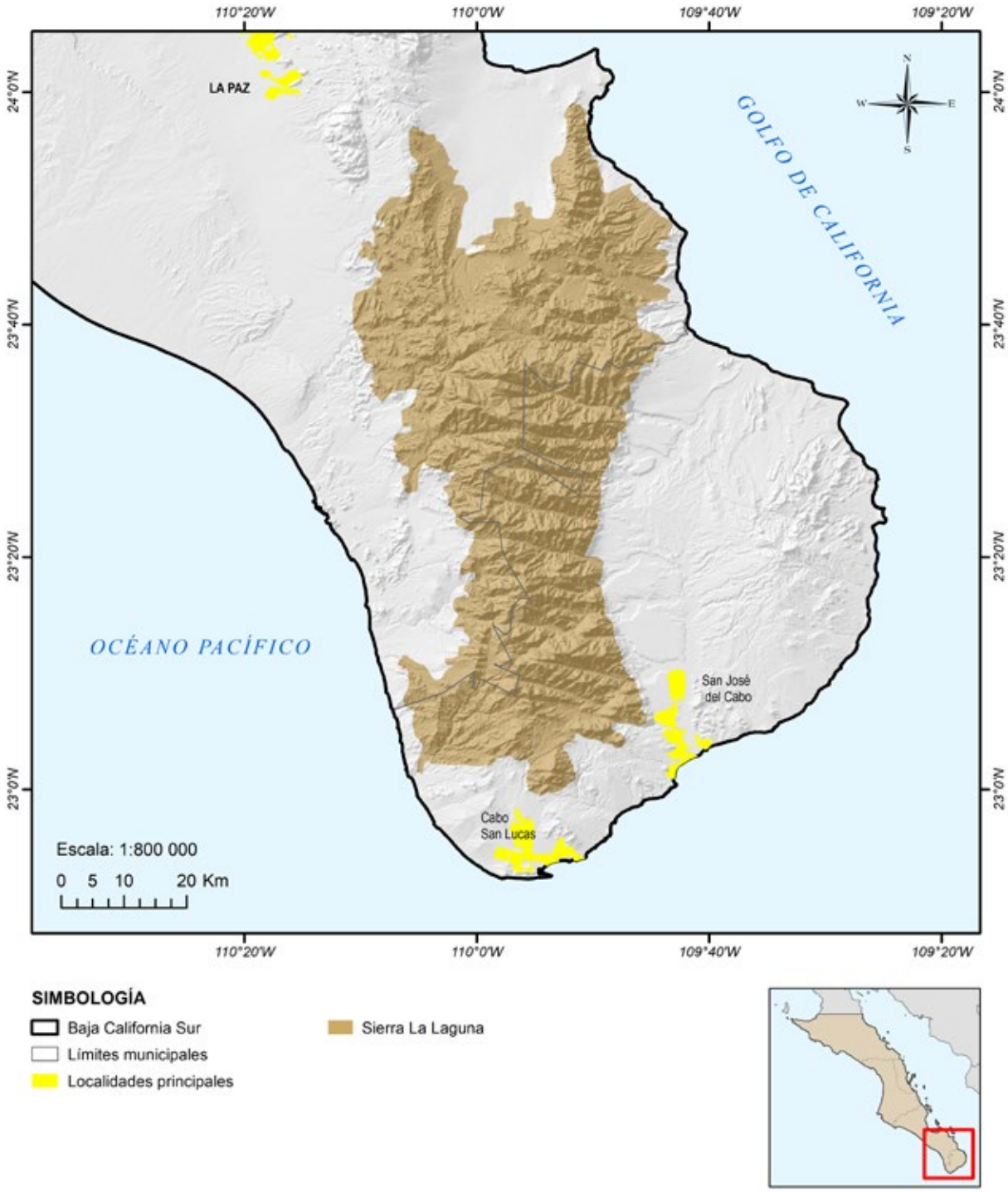


Figura 1. Ubicación de la Sierra La Laguna. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI 1998.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

(2004), y parte de los resultados se publicaron en Breceda Solís y colaboradores (2012) y Maya-Delgado (2012).

Inventario del área afectada en 1996

Con el SIG Idrisi (Clark Labs 2003) se hizo la clasificación supervisada de imágenes Landsat TM del 18 de septiembre de 1996. La clasificación supervisada se basa en la creación de firmas espectrales, que son la señal específica con la que determinado objeto sobre la superficie de la Tierra refleja la radiación solar y ésta se registra mediante un sensor satelital. La imagen se obtuvo en temporada húmeda, cuando la vegetación estaba verde y las zonas erosionadas eran fácilmente identificables tanto visualmente como por su señal. Las clases fueron: matorral, selva, bosque, erosión y arroyos. En el mapa resultante de la clasificación supervisada, se observó que las áreas con mayores problemas de erosión se presentaban en la selva baja caducifolia y se ubicaban al norte y al sur de la sierra (figura 2). Asimismo, se generaron las superficies correspondientes a cada clase, en donde se apreció que 5% de la superficie de la sierra se encontraba erosionada en 1996 (cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de la clasificación supervisada de la imagen Landsat TM del 18 de septiembre de 1996.

Clase	Superficie (km^2)	Porcentaje de cobertura
Selvas (baja caducifolia)	1 880	63
Bosques (encino y encino-pino)	603	20
Matorral (desértico)	326	11
Erosión	143	5
Arroyos	30	1

Fuente: elaboración propia.

Análisis de la asociación entre áreas erosionadas y la ubicación de ranchos y caminos de acceso

Para este análisis se eligieron tres áreas de estudio con problemas de erosión, ubicadas en zonas de acceso relativamente sencillo (figura 3). Para cada una se digitalizaron los ranchos y sus caminos de acceso. Posteriormente, se estimó la superficie erosionada en una proximidad de 2 km, debido a que el ganado recorre fácilmente esa distancia. Con ello, se calculó el porcentaje de superficie erosionada, así como la longitud total y el número de tramos que formaba la red de caminos que atravesaba cada área. Del análisis realizado se encontró que el mayor porcentaje de erosión se localizaba en la proximidad de los 2 km a los ranchos y caminos (cuadro 2, figura 4). También se observó que la localidad con la red de caminos más compleja era la que tenía la mayor superficie erosionada.

Análisis de correspondencia entre la erosión potencial y la erosión real

La erosión potencial de las tres áreas de estudio se determinó multiplicando en el SIG, pixel por pixel, las capas digitales que contenían la información sobre la erosividad de la lluvia (la fuerza con la que golpea el suelo), la erosionabilidad del suelo (la susceptibilidad del suelo a erosionarse), la pendiente y la cobertura de la vegetación, que son los factores que usa el mode-

Cuadro 2. Resultados del análisis del área contenida a 2 km de caminos y ranchos.

Área de estudio	Superficie erosionada (ha) a 2 km de los caminos	Porcentaje del total a 2 km de los caminos	Superficie erosionada (ha) a 2 km de los ranchos	Porcentaje del total a 2 km de los caminos	Tramos en la red de caminos
San Antonio de la Sierra	594	80.7	592	80.4	6
El Crucero	585	97.0	488	80.9	25
Los Naranjos	237	98.7	227	94.6	18

Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

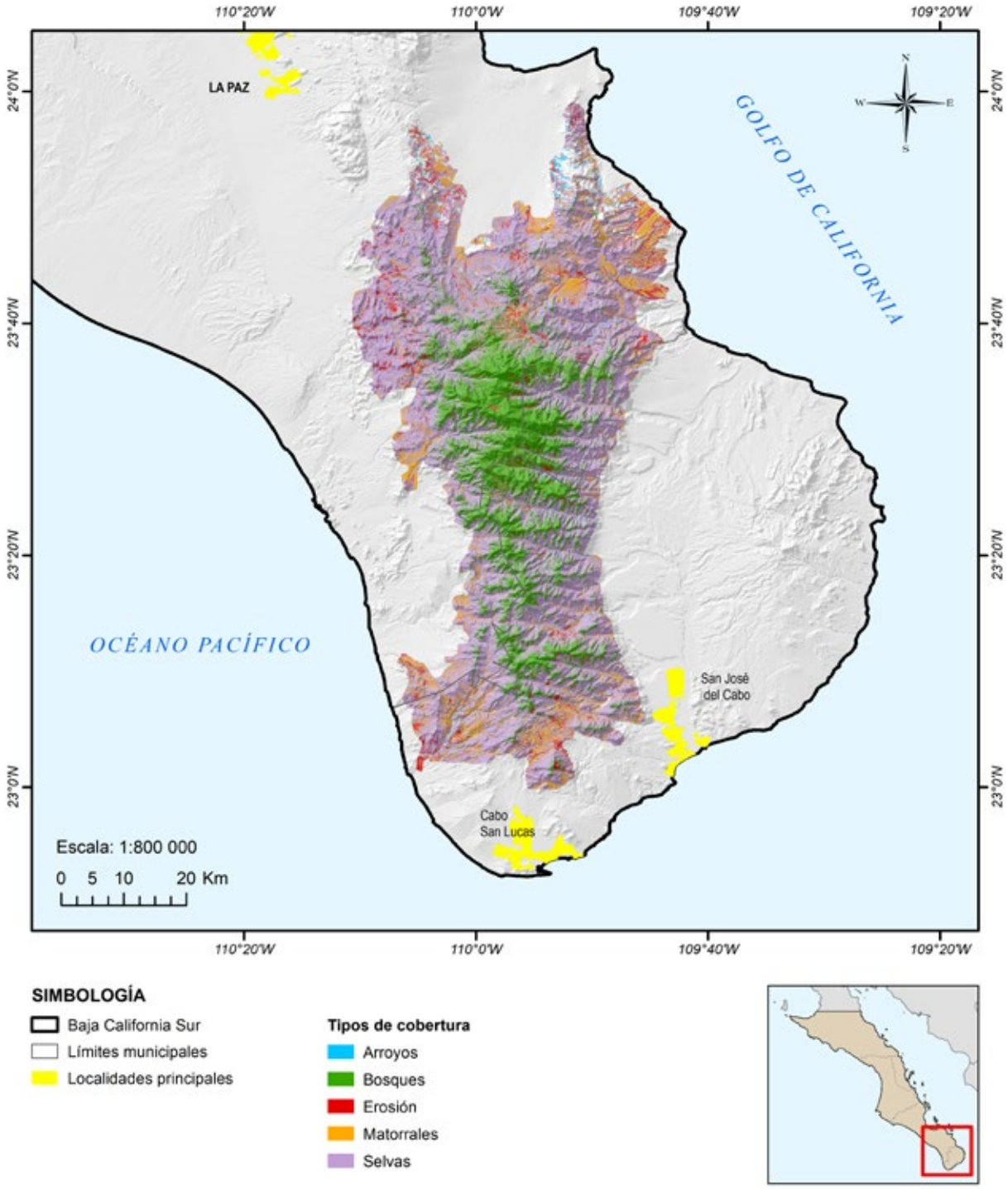


Figura 2. Mapa producto de la clasificación supervisada de la imagen Landsat TM del 18 de septiembre de 1996. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

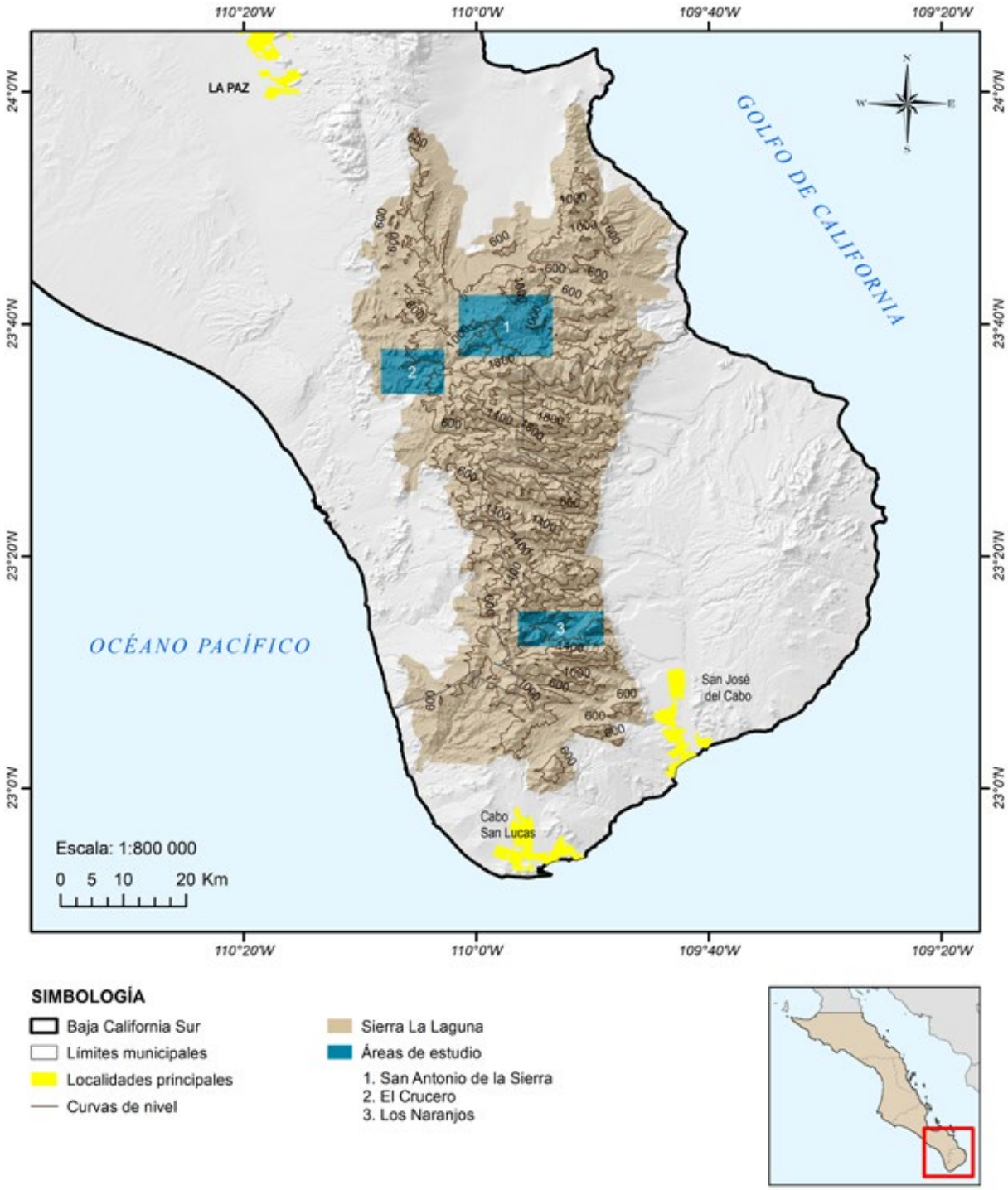


Figura 3. Altimetría de la Sierra La Laguna y ubicación de las áreas de estudio. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

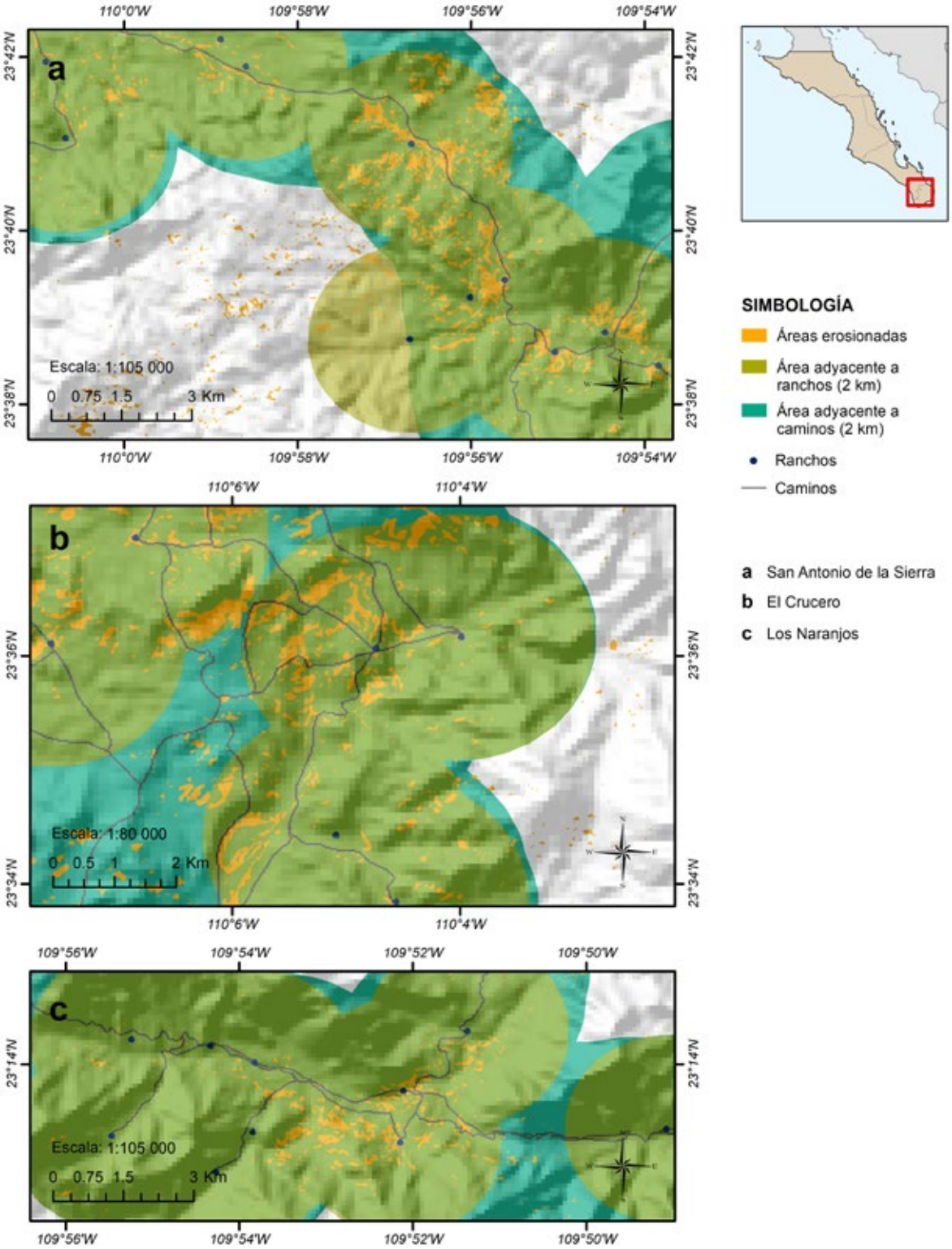


Figura 4. Relación espacial de las áreas erosionadas en 1996 con los ranchos y caminos de las áreas de estudio. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

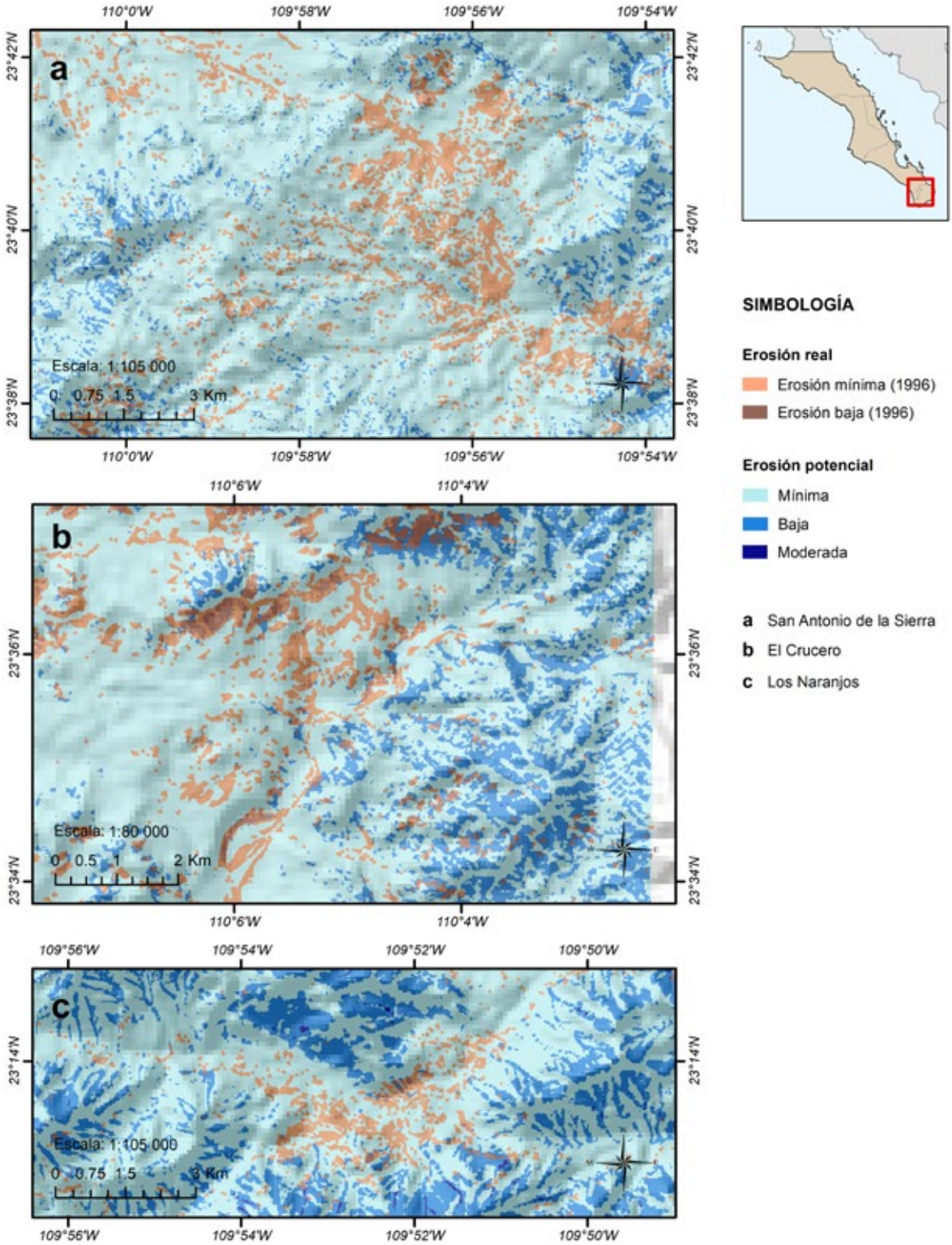


Figura 5. Erosión potencial y sobreposición de las zonas erosionadas en 1996. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

lo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés), de Wischmeier y Smith (1978). Para generar dichas capas digitales se utilizó la información publicada disponible (INEGI 1998, Figueroa *et al*. 1991) y la recopilada personalmente en campo.

Al aplicar la USLE se obtuvieron las tasas de erosión, las cuales predicen cuántas toneladas de suelo se pierden por hectárea anualmente (t/ha/año). Con dichos valores, se realizó la siguiente clasificación: mínima (0 a <1 t/ha/año), baja (1 a <10), moderada (10 a <30), alta (30 a <100), y extrema (>100). El mapa resultante reveló cómo se distribuían las tasas de erosión potencial en las tres áreas de estudio (figura 5). Como se esperaba, los resultados de la USLE confirmaron que las zonas potencialmente más susceptibles a la erosión eran las que tenían las mayores pendientes. Sin embargo, al sobreponer los mapas de erosión real y potencial, la mayor parte de la erosión en 1996 se ubicó en donde se esperaría que la erosión fuera mínima (<1 t/ha/año). Estos resultados apoyaron la hipótesis de que la erosión en la Sierra La Laguna no se debía al efecto de variables naturales, sino a las actividades humanas que ahí se realizan.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de este estudio sustentaron el planteamiento de que la erosión de los suelos en la Sierra La Laguna en 1996 estaba estrechamente relacionada con las actividades humanas, principalmente la ganadería extensiva desarrollada en la región durante un largo tiempo. Al decreto de la reserva, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas implementó regulaciones y programas de reforestación, que incluyen la exclusión del ganado y la construcción de estructuras para el control del escurrimiento superficial que buscan atenuar los principales factores de presión sobre sus ecosistemas y el servicio ambiental de recarga de acuíferos. Es sumamente recomendable continuar con estas acciones y prohibir cualquier tipo de actividad que fomente la deforestación y provoque la degradación de los suelos.

Referencias

Breceda Solís, A., L. Castorena Davis y Y. Maya Delgado. 2012. Transformaciones de una selva seca por actividades humanas en el paisaje rural de Baja California Sur, México. *Investigación Ambiental, Ciencia y Política Pública* 4(2):141-150.

Clark Labs. 2003. *Software Idrisi versión 14.0 (Kilimanjaro).* Clark University, Massachussets.

Figueroa, B., A. Amante, H.G. Cortés *et al*. 1991. *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Colegio de Posgraduados, Montecillo.

Guertin, P.D., P.F. Ffolliott y M.M. Fogel. 1988. Características fisiográficas e hidrológicas. En: *La Sierra de la Laguna de Baja California Sur.* L. Arriaga y A. Ortega (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 37-43.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1998. *Carta topográfica San José del Cabo. Clave F12B44, escala 1:50 000*. INEGI, México.

Maya-Delgado, Y.L. 2004. *La erosión en la Sierra de La Laguna, Baja California Sur*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias-UNAM, México.

—. 2012. Suelo y erosión. En: *Evaluación biológica y ecológica de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: avances y retos*. A. Ortega-Rubio, M. Lagunas-Vázques y L.F. Beltrán-Morales (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 295-302.

SEDESOL. Secretaría de Desarrollo Social. 1994. *Decreto por el que se declara como área natural protegida con el carácter de reserva de la biosfera, la región conocida como Sierra La Laguna, ubicada en los municipios de La Paz y Los Cabos, Estado de Baja California Sur.* Publicado el 6 de junio de 1994 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses. Agronomy Handbook 537*. USDA, Washington D.C.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

La minería metálica y sus impactos al ambiente

Elisa Jeanneht Armendáriz Villegas, Elio Guarionex Lagunes Díaz y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

La minería en México ha tenido una historia de desarrollo de varios siglos y en las pasadas décadas su auge se ha centrado en la extracción de metales preciosos, (principalmente oro y plata) e industriales (cobre, plomo, zinc). Se realiza a escala industrial y principalmente a cielo abierto o tajo abierto (figura 1; SGM 2013). La aplicación de nuevas tecnologías ha permitido explotar depósitos superficiales, los cuales son minados a tajo abierto, con equipos de alta productividad y la incorporación de la lixiviación en pilas (tecnología metalúrgica que tiene costos bajos). Estos cambios tecnológicos han hecho rentable el minado de depósitos de muy baja concentración, en comparación a los de antaño, y la aparición de operaciones de gran producción.

Cabe señalar que este tipo de minería genera enormes cantidades de residuos; por ejemplo, del material extraído para producir cobre, 99.5% se rechaza como residuos durante el proceso. Una mina de metal promedio rechaza 42% de material extraído inmediatamente como roca estéril, 52% como relaves, y 4% adicional de la fundición como escoria. En el material restante que alcanza tan solo 2%, está el intervalo de aprovechamiento del mineral (Ripley *et al.* 1996). Entre los impactos ambientales producidos está la contaminación de ríos y acuíferos con metales pesados y otras sustancias, drenaje ácido, remoción de la cubierta vegetal de grandes extensiones territoriales, generación de altas cantidades de escombros contaminantes, abatimiento de fuentes de agua, emisiones continuas de gases y polvos a la atmósfera durante la extracción y procesamiento (Moran 2000, WRI 2004). Aunado a ello, están enfermedades humanas, afectación a las actividades económicas locales y generación de marginación y pobreza (Moran 2000, WRI 2004).

En México, el sistema de registro de residuos contaminantes aún no considera a la minería entre los sectores que aportan desechos al ambiente (SEMARNAT 2018). Existen numerosos ejemplos y casos de derrames, rompimiento de diques de jales, volcadura de camiones contenedores de sustancias peligrosas y contaminación de ríos por efecto de minas abandonadas en los últimos años. Uno de ellos es el derrame de jales del Grupo México al río Sonora, acontecimiento que podría considerarse como el peor desastre ambiental en la industria minera mexicana (Méndez 2014).

Las acciones de inspección y vigilancia por parte de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) realizadas en el periodo 2013-2015 a las

Armendáriz-Villegas, E.J., E.G. Lagunes-Díaz y A. Ortega-Rubio. 2025. La minería metálica y sus impactos al ambiente. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 382-387.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Mina Creston Mascota en construcción en el Área de Protección de Flora y Fauna Tutuaca, Chihuahua. Foto: ICSA 2018.

1 134 instalaciones mineras del país, resultaron en 71 clausuras y se impusieron multas por 51.7 millones de pesos (PROFEPA 2016). Sin embargo, las multas no compensan los daños ocasionados al ambiente por los accidentes o durante y después de sus actividades de operación. Los sitios donde se establecen las minas pueden quedar contaminados por tiempo indefinido después de que las empresas concluyen sus operaciones.

Minería en áreas naturales protegidas

En México, 63 áreas naturales protegidas (ANP) federales contienen concesiones mineras, de las cuales 13 tienen uno o más proyectos mineros (Armendáriz-Villegas *et al.* 2015). Cabe precisar que una concesión minera no significa necesariamente la instalación próxima de una mina, sino que se deja abierta la posibilidad para que, en un periodo de 50 años, se den las condiciones socioeconómicas a escala local/global que favorezcan la inversión, que la empresa logre el convencimiento de los habitantes y líderes locales y se consigan los permisos necesarios para su operación (Armendáriz-Villegas y Ortega-Rubio 2015).

Proyecto Los Cardones en Sierra La Laguna

Aproximadamente 11% de la superficie de Baja California Sur se encuentra concesionada a la minería (SGM 2016), esto corresponde a 134 mil hectáreas en 71 concesiones que inician al este de La Paz con dirección al sureste hasta introducirse en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna (SIAM 2018). En la región, existen tres proyectos de minería metálica, principalmente de oro y plata (cuadro 1, figura 2).

Cuadro 1. Proyectos de minería metálica en el municipio de La Paz y situación de funcionamiento.

Proyecto	Situación
San Antonio-Argonaut Gold/ Minera Pitalla	No autorizado en materia de impacto ambiental para explotación. Sin operar
Los Cardones-Grupo Invecture-Vista Gold/ Desarrollos Zapal	Autorizado en materia de impacto ambiental para explotación. Sin operar
Picacho Blanco	No autorizado en materia de impacto ambiental para exploración. Sin operar

Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

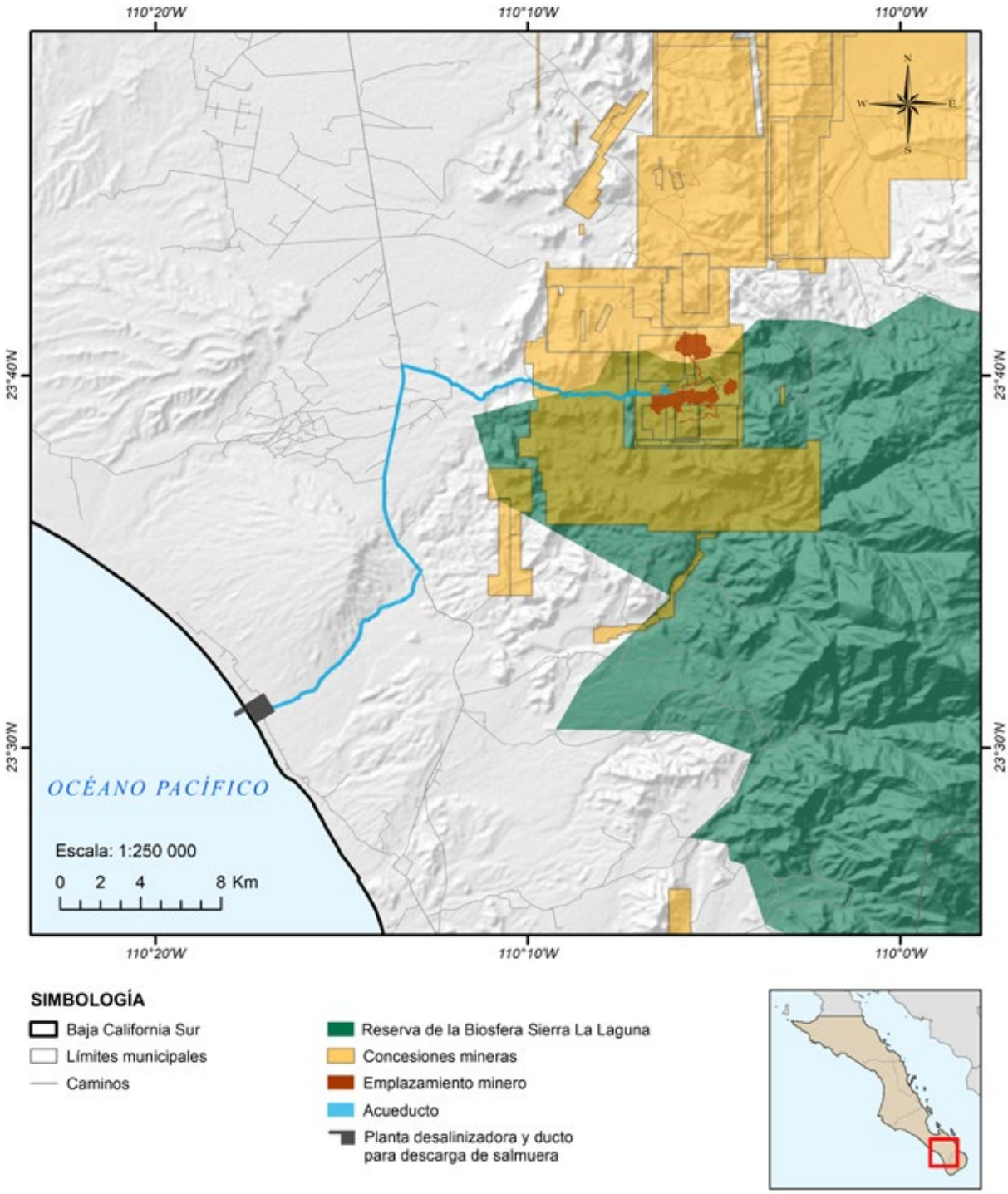


Figura 2. Ubicación del proyecto minero Los Cardones (en color rojo) en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna y concesiones mineras en la zona. Fuente: elaboración propia con datos de Desarrollos Zapal 2013, SEMARNAT y CONANP 2017, SIAM 2018.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Las primeras concesiones para el proyecto de Los Cardones se realizaron en la década de los ochenta, antes del decreto de Sierra La Laguna como ANP. El proyecto ha tenido diferentes inversionistas, pero se postergó su inicio debido a las condiciones económicas del precio del oro. En 2007 una nueva empresa (Vista Gold) adquirió la concesión y retomó los trámites para hacer exploración de nuevas vetas; sin embargo, no pudo tramitar el cambio de uso del suelo porque las concesiones de mayor interés están en terrenos nacionales. Otro impedimento fueron los trámites de impacto ambiental cuya resolución fue negativa (SEMARNAT 2014). Aunque el número de concesiones se incrementó entre 1990 y 2000, la presión social y sobre todo la difusión informativa de sus impactos potenciales, han sido primordiales para impedir la instalación de los proyectos Los Cardones y San Antonio (este último ubicado en las inmediaciones del poblado del mismo nombre en el municipio de La Paz).

La mina Los Cardones pretende procesar diariamente 15 mil toneladas de mineral con 7 500 m^3 de agua, a partir de la desalación de agua marina (Desarrollos Zapal 2013). Esta cifra de uso de agua puede estar subestimada, debido a que una mina de esta magnitud podría utilizar al menos unos 25 mil metros cúbicos diarios, además de 14.5 t de cianuro de sodio, 40-80 t de explosivos, y los desechos podrían ascender a 69 mil toneladas diarias de roca acumulada en montones llamados tepetateras (Trasviña 2018). El destino final de los desechos del procesamiento es una presa de jales, que deberá contenerlos a perpetuidad con una geomembrana plástica de 5 mm de grosor y con garantía por 10 años. Con excepción de la presa de jales, así como el acueducto y la desaladora que pretenden instalar en la costa occidental, el proyecto minero se ubicaría dentro de la subzona de aprovechamiento especial en la zona de amortiguamiento de la reserva (Paredones Amarillos 2012, Desarrollos Zapal 2013).

Estos desarrollos afectarían gravemente el abasto y calidad de agua para los municipios de La Paz y Los Cabos, cuyo estrés hídrico ya es preocupante (Romero-Schmidt y Ortega-Rubio 2012). La ANP es la principal captadora de agua de lluvia y pieza clave en la recarga de los acuíferos de estos municipios, donde se asienta alrededor de 70% de la población del estado (Breceda *et al.* 2014). La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece que las reservas de la biosfera, al igual que otras categorías de ANP, pueden presentar subzonas de aprovechamiento especial, donde la minería está permitida siempre y cuando no ocasione deterioro ecológico al ecosistema, modifique el paisaje sustancialmente u ocasione impactos ambientales irreversibles (SEDUE 1998). Sin embargo, el perfil de minería mencionado por la ley coincide más con la minería de oro de placer, en la que el aprovechamiento mineral se desarrollaba mediante búsquedas en el sedimento de los ríos; ni Los Cardones ni cualquier otro megaproyecto de minería metálica en el país cumple con las condiciones enunciadas. Aun así, existen proyectos de minería metálica en operación dentro de algunas ANP como son los casos del Área de Protección de Flora y Fauna Tutuaca (Chihuahua), la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (Baja California Sur), el Área de Protección de Recursos Naturales Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043 (Nayarit), la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (Jalisco) y el Parque Nacional Sierra de Órganos (Zacatecas; Armendáriz 2016).

Acciones civiles para evitar la minería en Los Cardones

En 2013, durante la consulta y reunión pública convocada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se externaron siete opiniones institucionales no favorables (cuatro de ellas, restrictivas) y 48 opiniones civiles en contra del proyecto. Sin embargo, el proyecto fue aprobado en junio de 2014, condicionado a la obtención de permisos faltantes, además de la presentación de estudios y medidas de mitigación (SEMARNAT 2014).

Ante esta situación se formó una organización defensiva civil denominada Frente Ciudadano en Defensa del Agua y la Vida en Baja California Sur (FRECIUDAV) con agrupaciones, organizaciones y ciudadanos independientes de los tres municipios del sur del estado, con el objeto de generar conciencia en la población y la organización de acciones colectivas para impedir el avance de los proyectos mineros Los Cardones, San Antonio y otros de alto impacto ambiental, que pudieran tener consecuencias irremediables para la

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

biodiversidad, los recursos hídricos, la salud y las actividades socioeconómicas en la entidad. Hasta mediados de 2018, el proyecto Los Cardones no ha cumplido con las condicionantes faltantes como el permiso de uso del suelo a nivel municipal, donde el FRECIUDAV –con apoyo de la ciudadanía– ha intervenido activamente. Otra condicionante es la obtención del permiso de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP; SEMARNAT 2014), el cual es independiente a la autorización en materia de impacto ambiental y está fundamentado en la Ley Minera (SEMIP 1992) y el reglamento de la LGEEPA en materia de ANP (SEMARNAP 2000).

Conclusiones y recomendaciones

Los proyectos mineros a establecerse dentro o fuera de ANP deben contar con todos los permisos necesarios para su instalación, los cuales incluyen el dictamen positivo en materia de impacto ambiental, el de CONANP, el de uso del suelo, cambio de uso del suelo, concesiones de agua y otros más en el ayuntamiento correspondiente. A medida que los megaproyectos mineros ganan la desacreditación social por sus severos impactos ambientales y sanitarios, las empresas necesitan invertir un mayor esfuerzo y recursos en las estrategias de convencimiento social; es decir, invierten en distorsionar la opinión pública, al no exponer con claridad sus impactos ambientales. Los procesos de corrupción pueden estar de la misma forma involucrados en la obtención de resoluciones a favor del desarrollo de los proyectos, como lo acontecido en Baja California Sur.

Como parte de la responsabilidad social empresarial de las mineras, aparecen términos como minería sustentable o responsable en el discurso de medios locales de información, en propaganda y organizaciones financiadas por las empresas. Mientras la minería metálica sea considerada una actividad inocua, lícita y además preferente sobre cualquier otro uso de la tierra, incluyendo el de la conservación de los recursos hídricos, se torna urgente la participación ciudadana en la toma de decisiones sobre los proyectos mineros, para que la misma ciudadanía verifique que las instituciones a cargo del cuidado y la protección ambiental, cumplan sus funciones a cabalidad y fomenten a su vez la participación social y la transparencia de sus acciones (Romero-Schmidt y Ortega-Rubio 2012).

Referencias

Armendáriz, E.J. 2016. *Áreas naturales protegidas y minería en México: perspectivas y recomendaciones*. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

Armendáriz-Villegas, E.J. y A. Ortega-Rubio. 2015. Concesiones mineras en áreas naturales protegidas de México. *La Jornada Ecológica* 200:11-13.

Armendáriz-Villegas, E.J., M.A. Covarrubias-García, E. Troyo-Diéguez *et al*. 2015. Metal mining and natural protected areas in Mexico: geographic overlaps and environmental implications. *Environmental Science and Policy* 48:9-19.

Breceda, A., J. Sosa Ramírez, C.L. Jiménez Sierra y A. Ortega-Rubio. 2014. Conservación en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur: logros y retos. *Investigación y Ciencia* 60:78-84.

Desarrollos Zapal. 2013. *Manifestación de impacto ambiental modalidad regional del proyecto minero Los Cardones*. En: <http://www.semarnat.gob.mx/gobmx/transparencia/constramite.html>, última consulta: 12 de febrero de 2019.

ICSA. Ingenieros Civiles S.A. de C.V. 2018. *Proyectos*. En: <http://www.ingenieriadeciudades.com/proyectosICSA>, última consulta: abril de 2018.

Méndez, E. 2014. *Grupo México causó derrame, afirma SEMARNAT*. En: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2014/08/27/978291>, última consulta: mayo de 2018.

Moran, R. 2000. Is this number to your liking? Water quality predictions in mining impact studies. En: *Prediction: science, decision making and the future of nature*. D. Sarewitz, R. Pielke Jr. y R. Byerly Jr. (eds.). Island Press, EUA, pp. 185-199.

Paredones Amarillos. 2007. *Manifestación de Impacto ambiental modalidad particular del proyecto minero Paredones Amarillos*. En: <http://www.semarnat.gob.mx/gobmx/transparencia/constramite.html>, última consulta: 12 de febrero de 2019.

PROFEPA. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. 2016. *Comunicado: Impone PROFEPA sanciones por más de 600 MDP en materia industrial en el país*. En: <https://www.gob.mx/profepa/prensa/impone-profepa-sanciones-por-mas-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

600-mdp-en-materia-industrial-en-el-pais?idiom=es>, última consulta: 12 de febrero de 2019.

Ripley, E., R. Redman y A. Crowder. 1996. *Environmental effects of mining*. St Lucie Press, EUA.

Romero-Schmidt, H. y A. Ortega-Rubio. 2012. Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna: salud ambiental versus minería a cielo abierto. *Ciencia y Desarrollo* 5:14-21.

SEDUE. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 11 de abril de 2022.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Áreas Naturales Protegidas*. Publicado el 30 de noviembre del 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 21 de mayo de 2014.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. *Resolutivo al Proyecto Minero Los Cardones*. En: <https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgiraDocs/documentos/bcs/resolutivos/2013/03BS2013M0005.pdf>, última consulta: 12 de febrero de 2019.

—. 2018. *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes de 2004 a 2015*. En: <http://apps1.semarnat.gob.mx/retc/index.html>, última consulta: mayo de 2018.

SEMARNAT y CONANP. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2017. *Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Noviembre 2017*. En: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anpnov17gw>, última consulta: mayo de 2018.

SEMIP. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. 1992. *Ley Minera*. Publicada el 26 de junio de 1992 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 20 de abril de 2022.

SGM. Servicio Geológico Mexicano. 2013. *Anuario estadístico de la minería mexicana 2012*. Coordinación General de Minería/SE, México.

—. 2016. *Panorama minero del estado de Baja California Sur*. SE, México.

SIAM. Sistema Integral de Administración Minera. 2018. *Concesiones mineras georreferenciadas en la República Mexicana*. En: <http://www.cartografia.economia.gob.mx/cartografia/>, última consulta: abril de 2018.

Trasviña, M. 2018. *Responsable del Laboratorio de Edafología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste*. Comunicación personal, abril.

WRI. World Resources Institute. 2004. *Mining and critical ecosystems: mapping the risks*. WRI, Washington, D.C.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Contaminación por arsénico en la Sierra La Laguna

Lía Celina Méndez Rodríguez, Baudilio Acosta Vargas y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

La Sierra La Laguna presenta una compleja mineralogía que incluye la existencia de depósitos de metales con altas concentraciones de sulfuros, como la arsenopirita, asociados a elementos de importancia comercial como el oro y la plata (Carrillo-Chávez *et al*. 1999). En un radio de aproximadamente 50 km de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna se desarrollaron actividades mineras desde la segunda mitad del siglo XVIII, que generaron más de 100 obras (SGM 2009). De ellas, se extrajeron alrededor de 3 000 kg de oro, 600 t de plata y 2 500 t de plomo (Carrillo-Chávez *et al.* 1999), que dejaron material de desecho a campo raso, calculado en más de 800 mil toneladas esparcidas aproximadamente en 400 km^2 entre El Triunfo y San Antonio (Carrillo-Chávez *et al*. 2000). Cabe señalar que estos desechos son susceptibles a la dispersión por la acción del viento y la lluvia (Naranjo-Pulido 2004).

Contaminación en la sierra

Estudios realizados en esta zona han evaluado los niveles de arsénico[1] en agua, suelo y vegetación. Por ejemplo, Carrillo-Chávez y colaboradores (2000), reportaron que en el agua hay concentraciones de arsénico entre 0.04-0.41 mg/l (cuadro 1), con los valores más elevados asociados a pozos de agua cercanos a una antigua planta de procesamiento del mineral, llamada Los San Juanes (figura 1). En los alrededores de la planta se observó la presencia de arsenolita (As_2O_3), que es un subproducto de la oxidación de la arsenopirita y se considera una importante fuente de aporte de arsénico al agua subterránea de esta región. Con base en esto, Naranjo-Pulido y colaboradores (2000) tomaron muestras de agua en seis pozos localizados a diferentes distancias y altitudes de esta planta de procesamiento, a las que también midieron el pH. Los resultados de su investigación mostraron una correlación negativa significativa entre la altitud y el contenido de arsénico en el agua, y confirmaron que hay un gradiente claro asociado a la pendiente, al aumentar el contenido de este elemento (de 0.0871 mg/l a 0.2440 mg/l) conforme se disminuye la altitud (cuadro 1).

Cabe señalar que los niveles de arsénico en agua reportados en los dos estudios disponibles en la bibliografía consultada para esta zona, se encuentran por arriba del valor máximo establecido por la

1 Componente que puede causar importantes problemas de salud, en función de la cantidad y frecuencia a la que se esté expuesto.

Méndez-Rodríguez, L.C., B. Acosta Vargas y A. Ortega-Rubio. 2025. Contaminación por arsénico en la Sierra La Laguna. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 388-391.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Planta Los San Juanes, en San Antonio. Foto: Lía Méndez Rodríguez.

Cuadro 1. Niveles promedio de arsénico registrados en los alrededores de la zona minera de San Antonio-El Triunfo.

Localidad	Arsénico (mg/l)
San Antonio	
5 m (481 msnm)*	0.0871
1 km (470 msnm)*	0.0903
1.9 km (462 msnm)*	0.1904
1.95 km (421 msnm)*	0.1754
2.85 km (383 msnm)*	0.1676
2.95 km (362 msnm)*	0.2440
San Antonio[a]	0.4100
San Antonio[a]	0.2600
El Triunfo[a]	0.2100
Los Encinos	0.0942
Los Encinos	0.0430
Testera[a]	0.0800
Rosario-Valle Perdido[a]	0.0400

*Se señala la distancia de la localidad muestreada en dirección norte a Los San Juanes. Fuente: elaboración propia con datos de [a]Carrillo-Chávez *et al.* 2000, Naranjo-Pulido *et al.* 2000.

NOM-127-SSA1-1994 (0.05 mg/l para agua potable; SS 1995) y todos superan el indicado por la Organización Mundial de la Salud (0.01mg/l). Carrillo-Chávez y colaboradores (2000) realizaron tres muestreos en 1997, con el propósito de valorar el efecto de la época de lluvia en los niveles de arsénico en el agua de siete pozos de la zona de San Antonio. Al respecto, registraron concentraciones de hasta 0.52, 1.29 y 0.70 mg/l en los meses de junio, agosto y septiembre respectivamente, con lo cual mostraron cómo los niveles aumentan al presentarse la primera tormenta en la época de lluvias o huracanes, aunque disminuyeron en el tercer muestreo, después de ocurridas varias precipitaciones, por lo que concluyeron que posiblemente ocurre un efecto de dilución. Adicionalmente, consideraron que a pesar de que varía el nivel de este elemento en pozos próximos a los desechos mineros durante el segundo muestreo, su dispersión hacia otros sitios es mínima, debido a los procesos de dilución y/o adsor-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

ción por minerales como los oxihidróxidos de hierro que se encuentran en esta área.

Por otra parte, Naranjo-Pulido y colaboradores (2002) analizaron la variación del contenido de arsénico a los 0, 15, 30 y 45 cm de profundidad del suelo, en ocho sitios con actividades mineras entre San Antonio y El Triunfo. Los resultados indicaron que no hay diferencias significativas en los niveles de arsénico entre las muestras de un mismo sitio a diferentes profundidades, pero sí entre los diferentes sitios. Se observó un gradiente que osciló de 12.46 mg/kg en San Antonio, a 8.68 mg/kg en El Triunfo.

En la vegetación, Naranjo-Pulido (2004) determinó arsénico en tallos, hojas y frutos de plantas forrajeras de esta región, que pueden ser consumidas por el ganado que ahí existe. La vegetación seleccionada para realizar este estudio fue la vinorama (*Acacia peninsularis*), el mezquite (*Prosopis articulata*) y el palo verde (*Cercidium floridium*). En tallo, el mezquite presentó los valores más altos con 8.41mg/kg y la vinorama el más bajo con 2.72 mg/kg, ambos de San Antonio. En hojas, las concentraciones más altas se registraron en el palo verde con 42.73 mg/kg y las más bajas en vinorama con 1.19 mg/kg, ambas mediciones realizadas en El Triunfo. En frutos, también el mezquite presentó los valores más altos (11.36 mg/kg) en El Triunfo y el más bajo se observó en vinorama, colectada en San Antonio (0.67 mg/kg).

Aunque hay una distancia menor a 10 km entre El Triunfo y San Antonio, en el primer sitio se registran los valores más bajos de arsénico en sedimentos y agua, pero el promedio más elevado de este elemento en la vegetación (10.57 mg/kg) en comparación con San Antonio (6.05 mg/kg). Esto se puede atribuir a la edad de la vegetación y la antigüedad de las actividades mineras, debido a que ambas son mayores en El Triunfo. Este estudio aporta datos interesantes porque muestra que, en general, la mayor concentración de arsénico ocurre en las hojas, seguidas por los tallos y los frutos, con promedios de 12.60, 4.87 y 2.15 mg/kg respectivamente, lo que es contrario a lo reportado por Wagner y colaboradores (1979), que concluyeron que las estructuras comestibles son donde existe menor acumulación de arsénico.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con la información disponible en la bibliografía consultada, los sitios cercanos a la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna (donde se llevaron a cabo trabajos de fundición de minerales orientados principalmente a la obtención de oro y plata) presentan altos niveles de arsénico en agua, suelo y plantas. Los diferentes estudios consultados también indican que la propia composición del suelo, que incluye óxidos de hierro, favoreció que su dispersión no haya sido mayor. Sin embargo, debido a que se sabe que el viento es otro factor importante en este proceso, es necesario realizar más estudios que indiquen los posibles efectos sobre la reserva. Por la composición geológica de esta zona, es recomendable evaluar la presencia o ausencia de arsénico y el área que abarca mediante estudios que empleen metodologías aceptadas por organismos nacionales o internacionales. Esta información es necesaria para identificar y establecer medidas encaminadas a prevenir o corregir problemas asociados con la presencia de arsénico en esta importante región de México.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Griselda Armenta Peña por su asistencia técnica, así como a los proyectos CONACYT (SALUD-CONACYT 140272, SEMARNAT-CONACYT 249423, SALUD-CONACYT 2015-01-261224) y a CIBNOR (PC2.0, PC0.05, PC0.10) por el financiamiento y el apoyo a estos proyectos.

Referencias

Carrillo-Chávez, A., H. Huyck, M. Zentilli y A. Griest. 1999. Age constraints on host rocks of the Los Uvares gold deposit: Magmatic pulses in southernmost Baja California, México. *Geofísica Internacional* 38:27-33.

Carrillo-Chávez, A., J. Drever y M. Martínez. 2000. Arsenic content and groundwater geochemistry of the San Antonio-El Triunfo, Carrizal and Los Planes aquifers in Southernmost Baja California, México. *Environmental Geology* 39:1295-1303.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Naranjo-Pulido, A. 2004. *Estudio de la contaminación por arsénico en agua, suelo y plantas de la Región del Cabo En Baja California Sur, México*. Tesis de maestría. UNAM, México.

Naranjo-Pulido, A., A. Ortega-Rubio, B. Acosta-Vargas *et al.* 2000. Mining activities and arsenic in a Baja California Sur watershed. En: *Land Stewardship in the 21st century: The contributions of watershed managemen*. P.F. Ffolliott, M.B. Baker Jr., C. Edminster *et al*. (eds.). USDA, Rocky Mountain Research Station, pp. 392-394.

Naranjo-Pulido, A., H. Romero-Schmidt, L. Mendez-Rodríguez *et al.* 2002. Soil arsenic contamination in the caperegion, BCS, México. *Journal of Environmental Biology* 23:347-352.

SGM. Servicio Geológico Mexicano. 2009. *Panorama minero del estado de Baja California Sur*. Coordinación General de Minería, Pachuca.

SS. Secretaría de Salud. 1995. *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994* Publicada el 30 de noviembre de 1995 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 22 de noviembre de 2000.

Wagner, S.L., J.S. Mallner, W.E. Monrton *et al*. 1979. Skin cancer and arsenical intoxication from well water. *Archives of Dermatology* 115:1205-1207.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Estrés oxidativo por contaminación y su efecto potencial sobre la biodiversidad

Tania Zenteno Savín, Lía Celina Méndez Rodríguez,
Alfonso Enrique Bencomo Álvarez y Ramón Gaxiola Robles

Introducción

A pesar de que en Baja California Sur existen depósitos naturales de metales como oro, plata, cobre y fosforita (Shumilin *et al.* 2000), que han sido explotados desde el siglo XIX, se considera una zona con poco deterioro ambiental (Kampalath *et al.* 2006). Sin embargo, debido a la geología (vulcanismo y movimientos tectónicos) y oceanología (corrientes y surgencias) propias de la entidad, en ciertas zonas se han reportado elementos como cadmio, cobre, níquel y manganeso (Martin y Broenkow 1975, Méndez *et al.* 1998, 2006, Shumilin *et al.* 2000, 2001, Rodríguez-Meza *et al.* 2007, Cadena-Cárdenas *et al.* 2009, Méndez-Rodríguez y Álvarez-Castañeda 2016).

Al mismo tiempo, las actividades agropecuarias y el reciente desarrollo urbano, caracterizado por el establecimiento de marinas y el tráfico de vehículos automotores (p.e. carros, lanchas y barcos turísticos), representan fuentes de contaminación antropogénica por plomo, plaguicidas organoclorados, solventes y antimicrobianos (Méndez *et al.* 1998, 2006, Shumilin *et al.* 2000, 2001, Cadena-Cárdenas *et al.* 2009, Corrales y Muñoz-Ariza 2012), cuyos efectos biológicos dependen de su distribución intracelular, así como de la concentración de otras macromoléculas con las cuales puedan interactuar (Perry *et al.* 1976, Peraza *et al.* 1998). Estos contaminantes llegan a los órganos y tejidos de los organismos, entre los que se incluye el humano, por inhalación, absorción a través de la piel y a través de la dieta.

El estrés oxidativo se define como un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno y las defensas antioxidantes de un organismo, lo cual genera daño en macromoléculas como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Sies 1991, Halliwell y Gutteridge 1999). Metales de transición como el manganeso, hierro o cobre, pueden actuar como catalizadores en diversas reacciones generadoras de especies reactivas de oxígeno, con el consiguiente aumento en su producción, lo que promueve estados de estrés oxidativo en animales y plantas (Stohs y Bagchi 1995, Halliwell y Gutteridge 1999, Pinto *et al.* 2003). En este trabajo se presentan las consideraciones fisiológicas y toxicológicas de algunos de estos contaminantes sobre la biodiversidad marina y terrestre, así como sobre la salud humana en Baja California Sur.

Metales pesados

Algunos organismos presentan una elevada afinidad por ciertos metales (p.e. la composición bioquímica de

Zenteno-Savín, T., L.C. Méndez-Rodríguez, A.E. Bencomo-Alvarez y R. Gaxiola-Robles. 2025. Estrés oxidativo por contaminación y su efecto potencial sobre la biodiversidad. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 392-397.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

la pared celular del sargazo requiere cobre; Davis *et al.* 2003). Así también, algunos animales son susceptibles de acumular metales en sus tejidos, como los tiburones que acumulan cobre y zinc, por lo que son potenciales indicadores de contaminación ambiental.

En las lagunas San Ignacio y Ojo de Liebre, en la costa pacífica de la Península de Baja California, se han reportado niveles elevados de metales en pastos marinos (Macías-Zamora *et al.* 2008). Al ser la base de la red trófica marina, los pastos marinos pueden ser incorporados por otros organismos, con la posibilidad de llegar, a través de la ingesta de pescados y mariscos de origen marino, al ser humano (Bentzen *et al.* 2014, Gaxiola-Robles *et al.* 2014).

La presencia de contaminantes se asocia a variaciones en las defensas antioxidantes como las enzimas superóxido dismutasa (SOD), glutatión S-transferasa (GST), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPX), vitaminas E y C; y en consecuencia, a la concentración de indicadores de daño oxidativo en órganos y tejidos de animales como la almeja (*Chione californiensis*), los peces loros (*Sparus aurata*), las bailarinas (*Carassius auratus*), el tiburón azul (*Prionace glauca*), la tortuga verde (*Chelonia mydas*) y la totoaba (*Totoaba macdonaldi*; Liu *et al.* 2006, Ikonomopoulou *et al.* 2009, Barrera-García 2013, Vargas-González *et al.* 2016). Labrada-Martagón (2011) sugiere que la mezcla de metales y plaguicidas organoclorados cuantificados en tortugas verdes conlleva a efectos fisiológicos perjudiciales como la variación en la concentración de testosterona, glucosa, calcio, ácido úrico, vitelogenina, colesterol y la actividad de las enzimas GST y SOD.

Microplásticos

Una cantidad creciente de productos de uso común están hechos, envasados, y/o incluyen microplásticos (partículas de plástico <5 mm) en su composición. Los plásticos pueden absorber, concentrar y transportar contaminantes orgánicos persistentes (COPS), como el di(2-etilhexil) ftalato (DEHP; Rios *et al.* 2007, Rochman *et al.* 2014, Gewert *et al.* 2015). Este último, por sus propiedades y bajo costo, es un plastificante empleado en formulaciones de cloruro de polivinilo (PVC), especialmente en envases de alimentos, dispositivos médicos o cosméticos y como solvente de fragancias (Rodgers *et al.* 2018), pero al no estar químicamente ligado al PVC puede contaminar el medio ambiente (Landkocz *et al.* 2011).

Se ha observado que el DEHP tiene un efecto disruptor en el sistema endócrino, debido a que actúa como xenoestrógeno al unirse a receptores estrogénicos, lo que provoca una potente interrupción de la función hormonal que tiene un efecto a nivel genómico y en la señalización metabólica a nivel celular. Se cree que niveles anormales de hormonas promueven el crecimiento del tejido canceroso; sin embargo, el mecanismo por el cual las hormonas causan un crecimiento descontrolado de las células aún no se ha determinado, debido a que la mayoría de las teorías de carcinogénesis involucran mutágenos generalmente no asociados con hormonas (Aho 2017).

El DEPH ha sido clasificado como un proliferador peroxisomal y como un carcinógeno no genotóxico en animales. El tener una mayor cantidad de peroxisomas a nivel celular genera un mayor estrés oxidativo, lo que trae como consecuencia un mayor daño al ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA por sus siglas en inglés), una característica observada en distintos tipos de cáncer como prostático, testicular, pancreático, endometrial, mamario y tiroideo (Landkocz *et al.* 2011). También el DEPH inhibe la apoptosis (muerte celular programada que contribuye a mantener el equilibrio del organismo; James y Roberts 1996, Roberts *et al.* 2000). Asimismo, este contaminante es capaz de alterar los mecanismos epigenéticos[1] de la célula, al limitar la producción de la enzima GSTP1 y alterar así el proceso de desintoxicación celular y con el consecuente aumento del estrés oxidativo. Al respecto, se tienen reportes del incremento en la actividad de GST e inducción de los sistemas de detoxificación, aumento en la actividad de SOD y CAT, así como menores niveles de glutatión, lo que sugiere la inducción de estrés oxidativo en diversas especies de peces expuestos, en laboratorio y campo, a contaminantes asociados a plásticos (Lu *et al.* 2016, Greven *et al.* 2016, Yazdani *et al.* 2016, Alomar *et al.* 2017).

1 Procesos que regulan la expresión de los genes sin modificar la secuencia del DNA.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Nanopartículas

Los nanotubos de carbón son partículas con tamaño de micras a milímetros, de pared sencilla o múltiple, diseñados para cumplir diversas funciones y aplicaciones industriales, entre los que se incluyen sensores químicos y biológicos, electrónicos moleculares, celdas energéticas, capacitores, baterías, celdas solares y distribuidores de fármacos y genes (Baughman *et al*. 2002, Klaper *et al*. 2010, Arndt *et al*. 2013). Éstos se acumulan en plantas y animales, y pueden absorberse a través de la piel, el aparato digestivo o el sistema respiratorio, y transportarse a través de la red trófica (Jackson *et al*. 2013, Kataoka *et al*. 2016). Entre los efectos de la exposición a nanotubos se reportan alteraciones a los niveles de energía, inducción de neurotoxicidad, impactos a la capacidad metabólica y estrés oxidativo en invertebrados (Liu *et al*. 2002, Volland *et al*. 2015, De Marchi *et al*. 2017a, b, 2018).

Fármacos

Desde inicios del siglo XXI, se reporta la presencia de fármacos de uso común (p.e. paracetamol) en el ambiente terrestre y marino; esto sucede porque los fármacos están generalmente diseñados para resistir la degradación biológica (Fent *et al*. 2006). Los efectos que estos fármacos y sus metabolitos pueden tener sobre los animales y plantas de vida libre incluyen disminución de los niveles de glutatión, modificación de grupos tiol en proteínas, daño a los ácidos nucleicos, oxidación de lípidos de membrana, necrosis y muerte celular (Bergman *et al*. 1996, Letelier *et al*. 2011, Antunes *et al*. 2013). La exposición a dosis crecientes de paracetamol induce cambios en las actividades de las enzimas antioxidantes SOD, GPX, GST, aumento en los niveles de peroxidación de lípidos, disminución en los niveles de glutatión y, por ende, estrés oxidativo en invertebrados y vertebrados (Antunes *et al*. 2013, Parolini *et al*. 2013, Ramos *et al*. 2014, Nunes *et al*. 2015, 2017).

Conclusión

Los mares son el depósito final de desperdicios urbanos, como plásticos y fármacos. Sin embargo, los estudios de las concentraciones de estos contaminantes y sus efectos e impactos toxicológicos, bioquímicos y fisiológicos en organismos marinos son recientes y escasos. Los niveles de contaminantes detectados en organismos de origen terrestre y marino en Baja California Sur no sugieren procesos patológicos vigentes que requieran intervención. De forma similar, los efectos tóxicos o adversos de los contaminantes por el consumo de productos (incluyendo pescados y mariscos) son mínimos.

Con el desarrollo urbano se incrementa la cantidad y la diversidad de contaminantes presentes en el ambiente, muchos de los cuales pueden dañar macromoléculas estructurales y funcionales (p.e. proteínas, lípidos y ácidos nucleicos) y con ello, amenazar la integridad de un organismo. Por su parte, el daño oxidativo al DNA puede tener efectos sobre la reproducción, el crecimiento y la sobrevivencia de un individuo, así como en la historia de vida de las especies, y en consecuencia sobre la biodiversidad. Las tendencias actuales a reducir el uso de plásticos, moderar el uso de fármacos y cuestionar el uso de biotecnologías, pueden ayudar a controlar la concentración y los efectos de estos contaminantes en el ambiente. Sin embargo, hace falta aún mucho trabajo de investigación científica en laboratorio y campo para entender los mecanismos de acción de estos contaminantes, así como para proponer alternativas para revertir sus efectos a la salud.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a N.O. Olguín Monroy, O. Lugo Lugo y B. Acosta por su invaluable asistencia técnica, a todos los colegas y estudiantes de pre y posgrado que han colaborado en nuestros proyectos, así como al CONACYT (SALUD-CONACYT 140272, SEMARNAT-CONACYT 249423, SEP-CONACYT 152784, INFR-2015-01 255795, SALUD-CONACYT 2015-01-261224), a CIBNOR (PC2.0, PC0.05, PC0.10) y a CYTED (Red RIESCOS) por el financiamiento y el apoyo a estos proyectos.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Aho, B. 2017. Disrupting regulation: understanding industry engagement on endocrine-disrupting chemicals. *Science and Public Policy* 44(5):698-706.

Alomar, C., A. Sureda, X. Capó *et al.* 2017. Microplastic ingestion by *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758 fish and its potential for causing oxidative stress. *Environmental Research* 159:135-142.

Antunes, S.C., R. Freitas, E. Figueira *et al.* 2013. Biochemical effects of acetaminophen in aquatic species: edible clams *Venerupis decussata* and *Venerupis philippinarum*. *Environmental Science and Pollution Research* 20(9):6658-6666.

Arndt, D.A., M. Moua, J. Chen y R. Klaper. 2013. Core structure and surface functionalization of carbon nanomaterials alter impacts to daphnia mortality, reproduction, and growth: acute assays do not predict chronic exposure impacts. *Environmental Science and Technology* 47(16):9444-9452.

Barrera-García, A.M. 2013. Elementos traza e indicadores de estrés oxidativo en el tiburón azul (*Prionace glauca*) de la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de doctorado. CINBOR, La Paz.

Baughman, R.H., A.A. Zakhidov y W.A. de Heer. 2002. Carbon nanotubes-the route toward applications. *Science* 297(5582):787-792.

Bentzen, R., J.M. Castellini, R. Gaxiola-Robles *et al.* 2014. Relationship between self-reported fish and shellfish consumption, carbon and nitrogen stable isotope values and total mercury concentrations in pregnant women (II) from Baja California Sur, Mexico. *Toxicology Reports* 1:1115-1122.

Bergman, K., L. Müller y S.W. Teigen. 1996. The genotoxicity and carcinogenicity of paracetamol: a regulatory (re) view. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 349(2):263-288.

Cadena-Cárdenas, L., L. Méndez, T. Zenteno-Savín *et al.* 2009. Heavy metal levels in marine mollusks from areas with or without mining activities along the Gulf of California, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 57:96-102.

Corrales, L.C. y M.M. Muñoz-Ariza. 2012. Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. *Publicación Científica en Ciencias Biomédicas* 10(18):135-250.

Davis, T.A., B. Volesky y A. Mucci. 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research* 37(18):4311-4330.

De Marchi, L., V. Neto, C. Pretti *et al.* 2017a. The impacts of seawater acidification on *Ruditapes philippinarum* sensitivity to carbon nanoparticles. *Environmental Science: Nano* 4(8):5-12.

—. 2017b. Physiological and biochemical impacts of graphene oxide in polychaetes: the case of *Diopatra neapolitana*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology* 193:50-60.

—. 2018. Toxic effects of multi-welled carbon nanotubes on bivalves: Comparison between functionalized and nonfunctionalized nanoparticles. *Science of the Total Environment* 622-623:1532-1542.

Fent, K., A.A. Weston y D. Caminada. 2006. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology* 76:122-159.

Gaxiola-Robles, R., R. Bentzen, T. Zenteno-Savín *et al.* 2014. Marine diet and tobacco exposure affects mercury concentrations in pregnant women (I) from Baja California Sur, Mexico. *Toxicology Reports* 1:1123-1132.

Gewert, B., M.M. Plassmann y M. McLeod. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Process Impacts* 17(9):1513-1521.

Greven, A.C., T. Merk, F. Karagöz *et al.* 2016. Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environmental Toxicology and Chemistry* 35(12):3093-3100.

Halliwell, B. y J.M.C. Gutteridge. 1999. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, Nueva York.

Ikonomopoulou, M.P., H. Olzowy, M. Hodge y A.J. Bradley. 2009. The effect of organochlorines and heavy metals on sex steroid-binding proteins in vitro in the plasma of nesting green turtles, *Chelonia mydas*. *Journal of Comparative Physiology B* 179:653-662.

Jackson, P., N.R. Jacobsen, A. Baun *et al.* 2013. Bioaccumulation and ecotoxicity of carbon nanotubes. *Chemistry Central Journal* 7(1):154-165.

James, N. y R. Roberts. 1996. Species differences in response to peroxisome proliferators correlate in vitro with induction of DNA synthesis rather than suppression of apoptosis. *Carcinogenesis* 17(8):1623-1632.

Kampalath, R., S.C. Gardner, L. Méndez y J.A. Jay. 2006. Total and methylmercury in three species of sea turtles of Baja California Sur. *Marine Pollution Bulletin* 52:1784-1832.

Kataoka, C., K. Nakahara, K. Shimizu *et al.* 2016. Salinity dependent toxicity of water-dispersible, single-walled carbon nanotubes to Japanese medaka embryos. *Journal of Applied Toxicology* 37(4):408-416.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Klaper, R., D. Arndt, K. Setyowati *et al.* 2010. Functionalization impacts the effects of carbon nanotubes on the immune system of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquatic Toxicology* 100(2):211-217.

Labrada-Martagón, V. 2011. Evaluación del estado de salud de la tortuga verde del Pacífico oriental (*Chelonia mydas*) que habita en la costa de Baja California Sur, a través de biomarcadores fisiológicos. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

Landkocz, Y., P. Poupin, F. Atienzar y P. Vasseur. 2011. Transcriptomic effects of di-(2-ethylhexyl)-phthalate in Syrian hamster embryo cells: an important role of early cytoskeleton disturbances in carcinogenesis? *BMC Genomics* 12(1):524.

Letelier, M.E., M. López-Valladares, L. Peredo-Silva *et al.* 2011. Microsomal oxidative damage promoted by acetaminophen metabolism. *Toxicology in Vitro* 25:1310-1313.

Liu, Y., G. Fiskum y D. Schubert. 2002. Generation of reactive oxygen species by the mitochondrial electron transport chain. *Journal of Neurochemistry* 80(5):780-787.

Liu, H., W. Wang, J. Zhang y X. Wang. 2006. Effects of copper and its ethylenediaminetetraacetate complex on the antioxidant defenses of the goldfish, *Carassius auratus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 65(3):350-354.

Lu, Y., Y. Zhang, Y. Deng *et al.* 2016. Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental Science and Technology* 50(7):4054-4060.

Macías-Zamora, J.V., J.L. Sánchez, L.M. Ríos *et al.* 2008. Trace metals in sediments and *Zostera marina* of San Ignacio and Ojo de Liebre lagoons in the Central Pacific Coast of Baja California, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55(2):218-28.

Martin, J.H. y W.W. Broenkow. 1975. Cadmiun in planckton: elevated concentrations off Baja California. *Science* 190(4217): 884-885.

Méndez, L., B. Acosta, S.T. Álvarez-Castañeda y C.H. Lechuga-Devéze. 1998. Trace metal distribution along the southern coast of bahía de la Paz (Gulf of California), Mexico. *Environmental Contamination and Toxicology* 61:616-622.

Méndez, L., E. Palacios, B. Acosta-Vargas *et al.* 2006. Heavy metals in the clam *Megapitaria squalida* collected from wild and phosphorite mine-impacted sites in Baja California, Mexico. *Biological Trace Elements Research* 110:275-287.

Méndez-Rodríguez, L.C. y S.T. Álvarez-Castañeda. 2016. Assessment of trace metals in soil, vegetation and rodents in relation to mining activities in an arid environment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 97(1):44-49.

Nunes, B., M.F. Verde y A.M.V.M. Soares. 2015. Biochemical effects of the pharmaceutical drug paracetamol on *Anguilla anguilla*. *Environmental Science and Pollution Research* 22(15):11574-11584.

Nunes, B., J. Nunes, A.M.V.M. Soares *et al.* 2017. Toxicological effects of paracetamol on the clam *Ruditapes philippinarum*: exposure vs recovery. *Aquatic Toxicology* 192:198-206.

Parolini, M., A. Pedriali y A. Binelli. 2013. Application of a biomarker response index for ranking the toxicity of five pharmaceutical and personal care products (PPCPS) to the bivalve *Dreissena polymorpha*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 64(3):439-447.

Peraza, M.A., F. Ayala-Fierro, D.S. Barber *et al.* 1998. Effects of micronutrients on metal toxicity. *Environmental Health Perspectives* 106(1):203-216.

Perry, H.M., G.S. Thind y A.B.E.F. Perry. 1976. Biología del cadmio. En: *Clínicas Médicas de Norteamérica*. R.E. Burch y J.F. Sullivan (eds.). Interamericana, México, pp. 759-769.

Pinto, E., T.C.S. Sigaud-Kutner, M.A.S. Leitão *et al.* 2003. Heavy metal induced oxidative stress in algae. *Journal of Phycology* 39:1008-1018.

Ramos, A.S., A.T. Correia, S.C. Antunes *et al.* 2014. Effect of acetaminophen exposure in *Oncorhynchus mykiss* gills and liver: detoxification mechanisms, oxidative defence system and peroxidative damage. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 37(3):1221-1228.

Rios, L.M., C. Moore y P.R. Jones. 2007. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 54:1230-1237.

Roberts, R., N. James, S. Hasmall *et al.* 2000. Apoptosis and proliferation in nongenotoxic carcinogenesis: species differences and role of PPARα. *Toxicology Letters* 112-113:49-57.

Rochman, C.M., T. Kurobe, I. Flores y S.J. Teh. 2014. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the Total Enviroment* 493:656-661.

Rodgers, K., J. Udesky, R. Rudel y J. Brody. 2018. Environmental chemicals and breast cancer: An updated review of epidemiological literature informed by biological mechanisms. *Environmental Research* 160:152-182.

Rodríguez-Meza, D., E. Choumiline, L. Méndez-Rodríguez *et al.* 2007. Composición química de los sedimentos y macroalgas del complejo lagunar Magdalena-Almejas. En: *Estudios ecológicos en bahía Magdalena*. R. Funes, J. Gómez y R. Palomares (eds.). CICIMAR-IPN, México, pp. 61-81.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Shumilin, E., G. Rodríguez-Figueroa, O.M. Bermea *et al.* 2000. Anomalous trace element composition of coastal sediments near the copper mining district of Santa Rosalía, Peninsula of Baja California, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 65:261-268.

Shumilin, E., F. Páez-Osuna, C. Green-Ruiz *et al.* 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 42(3):174-178.

Sies, H. 1991. Oxidative stress. En: *Oxidants and antioxidants*. H. Sies (ed.). Academic Press, Londres.

Stohs, S.J. y D. Bagchi. 1995. Oxidative mechanisms in the toxicity of metals ions. *Free Radical Biology and Medicine* 18(2): 321-336.

Vargas-González, H.H., L.C. Méndez-Rodríguez, J. García-Hernández *et al.* 2016. Persistent organic pollutants (POPS) in populations of the clam *Chione californiensis* in coastal lagoons of the Gulf of California. *Journal of Environmental Science and Health* 51(7):435-445.

Volland, M., M. Hampel, J.A. Martos-Sitcha *et al.* 2015. Citrate gold nanoparticle exposure in the marine bivalve *Ruditapes philippinarum*: uptake, elimination and oxidative stress response. *Environmental Science and Pollution Research* 22(22):17414-17424.

Yazdani, M., A.M. Andressen y T. Gjoen. 2016. Short-term effect of bisphenol-a on oxidative stress responses in Atlantic salmon kidney cell line: a transcriptional study. *Toxicology Mechanisms and Methods* 26(4):295-300.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Foraminíferos como indicadores de deterioro de los ambientes bentónicos en la ensenada de La Paz

Adriana Abigail Gómez León y Alberto Sánchez González

Introducción

La ciudad de La Paz, en su constante desarrollo poblacional desde la década de los cincuenta, pasó de tener 17 500 habitantes en 1950 a más de 300 mil en 2015 (INEGI 2018), lo cual conllevó a un incremento en su demanda de bienes y servicios, así como su producción de residuos. Este crecimiento urbano, realizado sin planeación ni ordenamiento, ha ocasionado un deterioro ambiental en las inmediaciones de la laguna costera, hasta ahora poco estudiado. Los principales contaminantes son las descargas (puntuales o difusas) de residuos urbanos. Las poblaciones de microfauna bentónica (es decir, de pequeños animales que viven en el fondo marino), como algunos foraminíferos, son vulnerables a estos contaminantes, por lo que el estudio de los cambios en su abundancia y distribución espacial permiten identificar sitios con afectación antropogénica y evidenciar la importancia de la laguna como ecosistema costero.

Foraminíferos bentónicos y el ambiente marino

Los foraminíferos son organismos de carbonato de calcio constituidos por una única célula que habitan desde la zona costera hasta la abisal (aguas profundas; Haq y Boersma 1978). Su distribución en los ecosistemas marinos tiene relación con las variables ambientales del hábitat (temperatura, salinidad, tamaño de grano del sedimento, concentración de oxígeno disuelto, contenido de materia orgánica) e inducidas por actividades humanas (presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos; Murray 2006). La contaminación ocasiona menor cobertura espacial, deformación y en caso extremo ausencia de foraminíferos bentónicos (Martins *et al*. 2015, Tadir *et al*. 2017). Por lo anterior, los foraminíferos bentónicos son útiles para identificar y obtener información sobre la salud y calidad del ambiente en lagunas costeras (Murray 2001, 2006, Sen-Gupta 2002).

Foraminíferos bentónicos en la ensenada de La Paz

La ensenada de La Paz es poco profunda (<10 m); tiene una superficie aproximada de 45 km^2 y se comunica a la bahía de La Paz por un canal de 3 km de largo y 1.5 km de ancho (Gilmartin y Revelante 1978). En 1985 y 2013 se colectaron sedimentos superficiales con la finalidad de conocer la distribución espacial de los géneros de foraminíferos bentónicos entre ambos años. La cobertura espacial de la frecuencia (número de géneros por sitio de muestreo) fue significati-

Gómez-León, A.A. y A. Sánchez-González. 2025. Foraminíferos como indicadores de deterioro de los ambientes bentónicos en la ensenada de La Paz. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 398-401.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

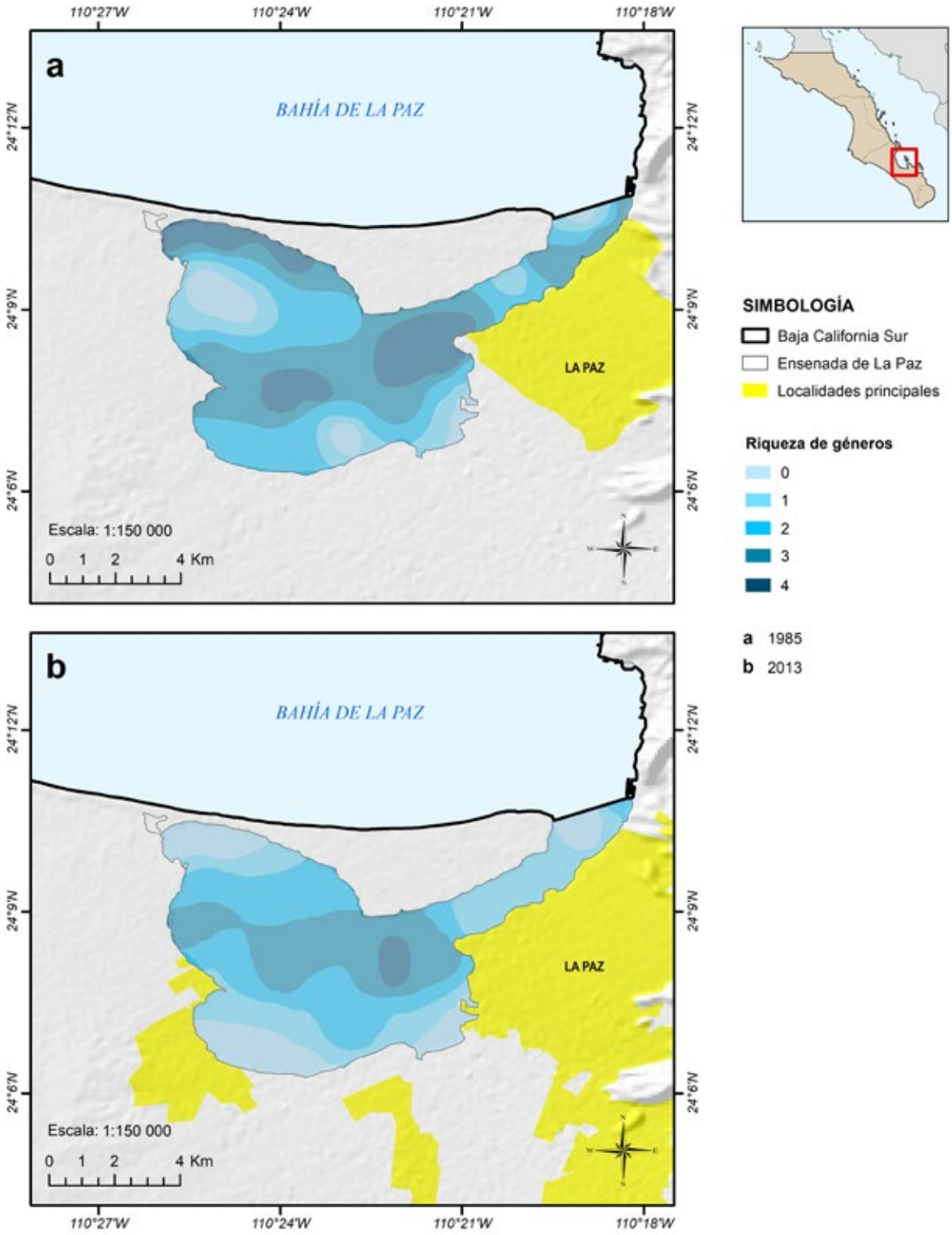


Figura 1. Comparativo de la distribución espacial de géneros de foraminíferos bentónicos en la ensenada de La Paz, en a) 1985 y b) 2013. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

vamente menor en 2013 respecto a 1985 (figura 1). La presencia de uno o ausencia de géneros caracterizó a los márgenes costeros sur y noroeste, y el canal principal de la laguna en 2013. El número de estaciones con cuatro géneros se redujo de 15 en 1985 a solo 6 en 2013; mientras que la cobertura espacial de los géneros cambió significativamente en los márgenes sur y noroeste de la laguna en 2013. Este cambio puede asociarse al incremento en el contenido de carbono orgánico promedio de 2% en 1985 a 6% en 2013 (Gómez-León *et al*. 2018) como se ha documentado para otros sitios (Carnahan *et al*. 2008, Martins *et al*. 2013, Tadir *et al*. 2017).

Como se indicó anteriormente, la baja presencia, ausencia o deformación de foraminíferos bentónicos se relaciona con la contaminación por elementos potencialmente tóxicos en sedimentos superficiales (Martins *et al*. 2015, Dijkstra *et al* 2017, Tadir *et al*. 2017). En la ensenada de La Paz, la concentración de elementos potencialmente tóxicos no incrementó en los últimos 30 años, con excepción del cobre (Cu), cuya concentración aumentó de 10 a 18 mg/kg entre 1995 y 2013 (Méndez *et al*. 1998, Shumilin *et al*. 2001, Peréz-Tribouillier *et al*. 2015) en el margen oeste de la laguna; no obstante, esto no explicaría el decremento en el número de géneros observado en el margen sur (Gómez-León *et al*. 2018).

Conclusiones y recomendaciones

La distribución espacial de la frecuencia en el número de géneros de foraminíferos bentónicos en la ensenada de La Paz decreció significativamente de 1985 a 2013. Este cambio se asocia al incremento de materia orgánica de origen antropogénico (por el aumento de concentración de carbono orgánico) y no a la contaminación por elementos potencialmente tóxicos, como el cobre, lo cual indica que la salud del ambiente bentónico de la ensenada de La Paz se ha deteriorado a causa de actividades humanas. La creación de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas adicionales a la existente y la mejora del sistema de drenaje en la cuidad, permitirá disminuir sustancialmente el aporte de contaminantes inorgánicos y orgánicos a la ensenada y por ende, mejorar la calidad del ambiente sedimentario en la laguna. Adicionalmente, sería necesario desarrollar más estudios que permitan identificar otras fuentes de contaminación y con ello, proponer estrategias para evitar o reducir su impacto en el ambiente.

Referencias

Carnahan, E.A., A.M. Hoare, P. Hallock *et al*. 2008. Distribution of heavy metals and foraminiferal assemblages in sediments of Biscayne Bay, Florida, USA. *Journal of Coastal Research* 24:159-169.

Dijkstra, N., J. Junttila, K. Skirbekk *et al*. 2017. Benthic foraminifera as bio-indicators of chemical and physical stressors in Hammerfest harbor (Northern Norway). *Marine Pollution Bulletin* 114:384-396.

Gilmartin, M. y N. Revelante. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoon at the Gulf of California. *Estuarine and Coastal Marine Science* 7:29-47.

Gómez-León, A., G.M. Rodríguez-Figueroa, E. Shumilin *et al*. 2018. Abundance and distribution of benthic foraminifera as indicators of the quality of the sedimentary environment in a subtropical lagoon, Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 130:31-39.

Haq, B.U. y A. Boersma. 1978. Foraminifera. En: *Introduction to marine micropaleontology*. Elsevier, Londres, pp. 19-77.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. *México II Conteo de población y vivienda 2010*. INEGI, México.

Martins, V.A., F. Frontalini, K.M. Tramonte *et al*. 2013. Assessment of the health quality of Ria de Aveiro (Portugal): heavy metals and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin* 70:18-33.

Martins, V.A., F. Silva, L.L. Laut *et al*. 2015. Response of benthic foraminifera to organic matter quantity and quality and bioavailable concentrations of metals in Aveiro Lagoon (Portugal). *PLOS ONE* 10(2):e0118077.

Méndez, L., B. Acosta, S.T. Alvarez-Castañeda *et al*. 1998. Trace metal distribution along the southern coast of the bahia de La Paz (Gulf of California), Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61:616-622.

Murray, J.W. 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology* 41:1-7.

—. 2006. *Ecology and application of benthic foraminifera*. Cambridge University Press, Inglaterra.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Peréz-Tribouillier, H., E. Shumilin y G.M. Rodríguez-Figueroa. 2015. Trace elements in the marine sediments of the La Paz lagoon, Baja California Peninsula, Mexico: pollution status in 2013. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 95(1):61-66.

Sen-Gupta, B.K. 2002. *Modern foraminifera*. Springer, EUA.

Shumilin, E., F. Páez-Osuna, C. Green-Ruiz *et al*. 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 42:174-178.

Tadir, R., C. Benjamini, A. Almogi-Labin *et al*. 2017. Temporal trends in live foraminiferal assemblages near a pollution outfall on the Levant shelf. *Marine Pollution Bulletin* 117:50-60.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Flora y endemismos en la Península de Baja California

José Luis León de la Luz, Jon Paul Rebman, Alfonso Medel Narváez y Raymundo Domínguez Cadena

Introducción

Baja California Sur comprende 73 909.4 km^2 de extensión territorial, casi 3.8% de la superficie nacional. Presenta la mayor proporción de litoral con 2 029 km (18% del país), y 53% de la superficie insular mexicana (INEGI 2000, 2015, 2017). Con una población de 786 864 habitantes (INEGI 2015), recibe casi un millón de turistas anualmente como población flotante, particularmente en la zona turística de Los Cabos; casi 80% de la población se asienta en el extremo sur de la península (La Paz, San José del Cabo y Cabo San Lucas). La mayor parte de la superficie estatal posee una densidad de menos de un habitante por km^2, lo cual tiene profundas implicaciones para la conservación de la flora y fauna silvestre.

El conocimiento florístico peninsular, y en particular el de Baja California Sur, ha sido abordado por botánicos desde mediados del siglo XIX, particularmente de origen norteamericano, aunque también hubo ingleses, rusos y franceses. Shreve y Wiggins (1964), y Wiggins (1980) publicaron trabajos de investigación que comprenden casi un siglo de exploración de la flora en el territorio sudcaliforniano. Esas mismas obras coadyuvaron para incentivar exploraciones botánicas a zonas poco conocidas, para complementar lo documentado, o realizar algunas monografías de ciertos grupos durante los primeros dos tercios del siglo XX (Gentry 1978, Gould y Moran 1981).

Desde finales de la década de los setenta se han desarrollado intentos por inventariar la flora del país, aunque esto ha sido una tarea de gran complejidad. Recientemente, Villaseñor y Ortiz (2014) y Villaseñor (2016) compilaron y editaron un catálogo de plantas superiores resultantes por cada entidad federativa, con base en fuentes bibliográficas y banco de datos públicos de floras regionales como los de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), en donde también se incluye la proporción numérica de las especies endémicas. El presente trabajo resume la flora de plantas vasculares en distintas regiones de la Península de Baja California, información basada en colecciones de herbarios y diversos informes. Asimismo, se presenta una relación de las especies y se hace un breve análisis de los endemismos.

Ambientes sudcalifornianos

Topográficamente, más de la mitad de la superficie estatal corresponde a llanuras aluviales y sierras bajas menores a 200 m de elevación. Hacia la vertiente del golfo de California existe una continuidad de montañas con numerosas cimas que sobrepasan los 1 000 msnm,

León de la Luz, J.L., J.P. Rebman, A. Medel-Narváez y R. Domínguez-Cadena. 2025. Flora y endemismos en la Península de Baja California. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 403-410.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

pero éstas no forman cuencas hidrológicas lo suficientemente grandes y elevadas que permitan captación y escurrimientos superficiales y permanentes en las tierras bajas, salvo en pocos casos como en el municipio de Mulegé. Si bien en la escala nacional suele clasificarse el clima sudcaliforniano como árido y semiárido, su estudio minucioso revela rasgos interesantes, particularmente entre las costas del Pacífico y del golfo de California. Por ejemplo, si se comparan los registros disponibles entre los extremos geográficos sur-este y norte-oeste, La Paz y El Vizcaíno (hoy poblado Benito Juárez), se observan notables diferencias en cuanto a la temperatura promedio del verano (casi 6°C) y la precipitación acumulada en promedio anual (~140 mm; cuadro 1).

En cuanto a su origen geológico, la península se encuentra ligada a la formación de la Sierra Madre Occidental, ocurrida a través de la mayor parte del Cenozoico (últimos 60 millones de años). Se asocia tectónicamente a la subducción de la histórica placa Farallón bajo la placa Norteamericana, lo que dio lugar a la apertura inicial de lo que sería el golfo de California y la formación de la península durante el Mioceno tardío (12 a 8 millones de años; Ferrari *et al.* 2005). El vulcanismo asociado trajo consigo la exposición de diversos tipos de rocas magmáticas y sus derivados sedimentarios; los productos de estos episodios, irregularmente superpuestos entre sí, cubren a su vez el basamento de rocas volcánico-intrusivas o granitoides, regionalmente expuestas en las serranías de Juárez y San Pedro Mártir (Baja California) y la región de Los Cabos (Baja California Sur).

Desde el punto de vista biogeográfico, la entidad contiene las extensiones sureñas de tres subregiones de la provincia del Desierto Sonorense (Shreve y Wiggins 1964), ocupando aproximadamente 77% del territorio estatal (incluidas todas las islas). Esta provincia es sin duda la más cálida de los desiertos americanos (Van Devender 2002), con un verano muy cálido con lluvia monzónica errática hacia el final de la temporada lluviosa, y más errática aun durante el invierno.

Adicionalmente, el extremo sur de Baja California Sur se encuentra ocupado por una pequeña provincia denominada región de Los Cabos (Brandegee 1892), la cual comprende 10% del total del territorio estatal, con elevaciones que alcanzan 2 100 msnm. Sus principales rasgos son la lluvia de verano inducida por perturbaciones ciclónicas del Pacífico tropical mexicano y la temperatura templada del invierno, así como un suelo derivado de la erosión y sedimentación de rocas granitoides (León de la Luz *et al.* 2000).

Una tercer provincia biogeográfica la constituyen las regiones montañosas de las sierras La Giganta y Guadalupe, que comprenden 13% de la superficie estatal. Su principal característica es el carácter montañoso, la lluvia en el verano tardío y los delgados suelos derivados de la erosión y sedimentación de las rocas volcánicas (vertisoles), caracterizados por tonos oscuros con alto contenido de arcilla expansiva conocida como montmorillonita, la cual forma profundas grietas en el suelo cuando está seco. Estos suelos se forman típicamente a partir de rocas basálticas en climas sujetos a sequías erráticas (León de la Luz *et al.* 2012).

Colectas botánicas

El descubrimiento botánico de la Península de Baja California inició durante el siglo XIX, cuando diversos exploradores y naturalistas enviaron ejemplares

Cuadro 1. Rasgos del clima entre las vertientes del Pacífico y el golfo de California.

Vertiente	Ciudad	Altitud (msnm)	Temperatura media (°C)		Precipitación anual (mm)	Región
			Invierno	Verano		
Golfo de California	La Paz	15	18.6	29.3	204.6	Los Cabos
	Loreto	6	18.5	31.2	155.7	Desierto Sonorense
Pacífico	Todos Santos	10	20.6	27.1	182.1	Los Cabos
	Vizcaíno	40	12.6	23.3	60.1	Desierto Sonorense

Fuente: elaboración propia con datos de García 1973.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

a destacados botánicos de la época, describiéndose nuevas especies al final de ese siglo. Mención aparte debe hacerse del explorador, colector y botánico T.S. Brandegee, de origen californiano, quien viajó por diversos puntos de la península (1889-1904), y en la región de Los Cabos describió 150 nuevos taxones, de los cuales 124 son válidos en la actualidad; mientras que algunos no han sido reportados nuevamente.

Durante el siglo XX la exploración botánica en el territorio sudcaliforniano fue intermitente. En la primera mitad, exploradores-botánicos de Estados Unidos de América aportaron la descripción de unos 100 nuevos taxones (cuadro 2). Por su parte, desde 1988 el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) cuenta con un herbario (HCIB) especializado en plantas vasculares de la península. Los ejemplares allí depositados suman casi 31 025, de los cuales 23 133 corresponden a colectas dentro del esatdo, mismos que se encuentran debidamente identificados y capturados en una base de datos con información taxonómica y geográfica. A partir de esta base, se realizó el filtrado para identificar las especies endémicas que se presentan en este estudio.

Vegetación

En términos generales, la vegetación dominante de las zonas bajas (5-400 msnm) y que corresponde con la provincia del Desierto Sonorense, es el matorral sarcocaule (INEGI 1997). El término hace referencia a su condición de tallos suculentos o carnosos de cactáceas y agaváceas, árboles y arbustos semi-suculentos (anacardiáceas, euforbiáceas, burseráceas, fouquieriáceas) y leguminosas leñosas. Esta vegetación también se distribuye en las planicies aluviales de la región de Los Cabos, aunque en esta última es más densa y diversa. En las planicies centrales (donde se presenta menor humedad), las comunidades se caracterizan por especies como la gobernadora (*Larrea tridentata*), así como por una cierta proporción de trepadoras, que son más diversas en la vegetación semitropical de la región de Los Cabos. El matorral sarcocaule cuenta con variantes como el matorral crasicaule, sarcocrasicaule y micrófilo, de acuerdo con la proporción de suculentas y cactáceas presentes (INEGI 1997).

En las montañas de la región de los Cabos, entre 400 y 1 000 msnm, se presenta la selva baja caducifolia. Entre 1 000 y 1 500 msnm se encuentra el bosque de encino (*Quercus* spp.), y sobre los 1 500 msnm hasta las cimas a 2 100 msnm está presente el bosque de encino con pino piñonero (*Pinus lagunae*); este último de afinidad geográfica con la Sierra Madre Occidental (León de la Luz *et al.* 2000). La selva baja caducifolia ocupa las laderas de montaña, y comparte una importante cantidad de especies con el matorral sarcocaule de las planicies aluviales y zonas bajas; sin

Cuadro 2. Información sobre el material colectado de la flora en Baja California Sur.

Actores sociales	Período	Representantes	Principal obra y/o destino de ejemplares
Misioneros jesuitas	1697-1768	J.J. Baegert y F. Xavier Clavijero	*Storia della California* 1797
Exploración del HMS Sulphur	1839	R.B. Hinds y G. Bentham	Bentham 1844,Cambridge (CGE)
Exploración rusa	1841-1842	E. Voznesenski	Komarov Herbarium (LE), San Petersburgo
Etapa de los exploradores	1847-1904	E. Palmer y J. Xanthus	Principalmente Museo Americano o Smithsonian (US)
Exploración francesa	1895	L. Diguet	Museo de París (P)
Etapa de los naturalistas estadounidenses	1882-1902	E.L. Greene y T.S. Brandegee	Museo Americano o Smithsonian (US), Universidad de California (UC)
Etapa de los botánicos estadounidenses	1905-1970	J.N. Rose, H.S. Gentry, I.M. Johnston, I. Wiggins, A. Carter, R.M. Turner y R. Moran	Shreve y Wiggins 1964, herbarios de California (UC, SD, CAS)
Etapa contemporánea	1975-2017	R.S. Felger, T.R. Van Devender, A.L. Reina, J.L. León de la Luz y J.P. Rebman	Herbario de California (SD), herbario de Baja California Sur (HCIB)

Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

embargo, las especies arbóreas son dominantes y características de la selva baja, como el mauto (*Lysiloma divaricatum*), el palo zorrillo (*Senna atomaria*), el palo escopeta (*Hesperalbizia occidentalis*) y el cardón (*Pachycereus pecten-aboriginum*), entre otras.

Rzedowski (1979) considera que el matorral sarcocaule de la región de Los Cabos y el matorral espinoso del sur de Sonora y norte de Sinaloa pueden considerarse comunidades vegetales equivalentes, por ubicarse en la transición del trópico-seco y las comunidades francamente xerófitas (de ambientes secos), aunque su composición florística es similar solo a nivel de género (p.e. *Acacia*, *Mimosa*, *Parkinsonia*, *Condalia*, *Castela*, *Cylindropuntia*, *Sideroxylon* y otros). Por su parte, la vegetación costera está constituida por distintas agrupaciones ligadas al tipo de sustrato; de esta manera, los manglares y marismas, que representan casi 5% de los existentes a nivel nacional (CONABIO 2009), se asocian a las áreas con escurrimiento fluvial errático. Las dunas costeras se encuentran bien representadas en las costas del Pacífico y del golfo de California (Johnson 1977, 1982).

Flora estatal

A partir de la información de la base de datos del herbario HCIB y otras fuentes como la información de bibliografía antigua no disponible en otras bases de datos (p.e. Brandegee 1892), León de la Luz y colaboradores (2018) señalan que la flora en la entidad está compuesta por 159 familias, 737 géneros y 2 070 especies, incluidas categorías infraespecíficas e híbridos reconocidos (véase *Flora vascular*, en esta obra). Cabe señalar que los taxones considerados corresponden a plantas colectadas en el medio silvestre (no huertas, cultivos o medio urbano) y que se encuentran respaldados con al menos una colecta en herbarios. Al mismo tiempo, una proporción corresponde a plantas consideradas introducidas o exóticas, que han logrado adaptarse al ambiente del estado; esto es, que se han establecido, desarrollado y se reproducen para lograr densidades poblacionales estables. Aunque este es un tema debatible, en la base de datos se consideran 166 especies (incluidas variedades y subespecies) pertenecientes a esta categoría. De los 2 070 registros a nivel de especie, 431 corresponden a categorías infraespecíficas (301 variedades, 128 subespecies y 2 formas). Se consignan además 7 híbridos, 3 de ellos dentro de la familia Fabaceae. Las 9 familias de plantas con mayor diversidad de taxones a nivel de especie comprenden 50.7% del total de taxones registrado (cuadro 3).

El género con mayor número de especies e infraespecies es *Euphorbia* (52 taxones); por su parte, *Cyperus* (27) comprende formas de crecimiento asociadas al suelo húmedo de los escasos oasis y arroyos intermitentes. Las formas trepadoras de *Ipomoea* (25) y *Desmodium* (17) representan los elementos tropicales en la topografía montañosa de la región de Los Cabos. El género *Atriplex* (19) está constituido por herbáceas perennes en los extensos ambientes salinos al margen de las costas; mientras que *Mammillaria* (18) y *Agave* (16) aportan las formas suculentas del ambiente desértico. *Eriogonum* (16) consiste en poblaciones marginales en la zona del Desierto El Vizcaíno, ya que el género está ampliamente diversificado en la zona californiana. Otros géneros diversificados son *Lycium*, *Solanum* y *Cuscuta*, con 15 especies cada uno. Asimismo, se registran 166 taxones no-nativos (equivalente a 8% del total de la flora documentada); de éstos, la familia de las gramíneas (Poaceae) es la mejor representada con 48 taxones, le siguen las compuestas (Asteraceae, 9) y las crucíferas (Brassicaceae, 9). Los principales géneros con especies e infraespecies no nativas son: *Eragrostis* y *Cenchrus* (6), *Solanum* (5), *Atriplex*, *Amaranthus*, *Digitaria*, *Euphorbia* y *Tamarix* (4 cada uno).

Cuadro 3. Familias más diversas de la flora de Baja California Sur.

Familia	Géneros	Especies[a]	Taxones infraespecíficos[b]	Total de taxones
Asteraceae	98	198	58	256
Fabaceae	62	151	39	190
Poaceae	65	152	35	187
Euphorbiaceae	15	80	12	92
Malvaceae	21	68	9	77
Cactaceae	14	50	26	76
Amaranthaceae	17	52	8	60
Cyperaceae	10	53	3	56
Solanaceae	10	39	15	54

[a]Número de taxones sin categorías infraespecíficas; [b]incluye variedades y subespecies. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Endemismos

El nivel de endemismo representa la parte medular de cualquier listado florístico, y se refiere a aquellos taxones confinados a los límites geográficos de una región definida. A diferencia del resto de las entidades estatales del país, Baja California Sur tiene poco menos de 122 km de frontera con otro estado; dicha frontera se encuentra en el paralelo 28° N, en una amplia región dentro de un continuo ambiente desértico. Además, la Península de Baja California comparte grandes espacios dentro del bioma del Desierto Sonorense peninsular y algunas de sus subprovincias, por esta razón en este análisis se anotan también los taxones endémicos que existen en el estado vecino de Baja California. En este contexto, el número de especies endémicas exclusivas para Baja California Sur es de 378, mientras que las compartidas con Baja California representan 143 taxones adicionales (cuadro 4, apéndice 56).

Dentro de la flora endémica de Baja California Sur resaltan algunos patrones (cuadro 5), como que la familia Asteraceae contiene 88 endemismos, de los cuales sobresalen los géneros *Encelia, Bahiopsis, Perityle, Brickellia, Coreocarpus, Verbesina, Aldama, Amauria, Bidens, Pectis* y *Porophyllum*, por presentar 3 o más endemismos cada uno. La familia de las leguminosas (Fabaceae) también destaca con 57 taxones endémicos, donde 10 corresponden al genero *Marina*. Asimismo, la familia de los cactos (Cactaceae) es relevante en este campo (60 taxones endémicos), y los géneros más representativos con especies de distribución restringida son *Mammillaria* (16), *Cylindropuntia* (11) y *Ferocactus* (10).

Cabe señalar que incluso existen géneros de flora endémicos a la entidad: cinco son exclusivos para el territorio sudcaliforniano, y siete adicionales amplían su distribución a las proximidades con el estado vecino de Baja California (cuadro 6). En conjunto, estos géneros comprenden 26 especies e infraespecies, y destaca *Stenotis* (Rubiaceae) como el género endémico mas diversificado (cuadros 5 y 6).

Cabe señalar que el género *Faxonia* (que cuenta con una sola especie) fue reconocido a partir de la descripción de un solo ejemplar de *F. pusilla* en 1892, y desde esa fecha no se ha colectado u observado otro ejemplar, por lo que es posible que el taxón se encuentre

Cuadro 4. Diversidad de taxones estrictamente endémicos a Baja California Sur y con distribución exclusiva a la Península de Baja California.

Lugar	Endemismo estricto
Baja California Sur	378 especies e infraespecies (52 variedades, 37 subespecies)
Península de Baja California	521 especies e infraespecies (76 variedades, 49 subespecies)

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5. Algunas familias y géneros con la mayor cantidad de taxones endémicos (incluye categorías infraespecíficas e híbridos) y su relación con el total estatal.

Familia	Especies e infraespecies	Endemismos
Asteraceae	256	88
Fabaceae	190	57
Cactaceae	76	60
Euphorbiaceae	92	27
Asparagaceae	20	21
Rubiaceae	38	16
Lamiaceae	36	13
Verbenaceae	24	9
Malvaceae	77	14
Nyctaginaceae	31	9
Género	**Especies e infraespecies**	**Endemismos**
Euphorbia	52	16
Agave	16	16
Mammillaria	18	16
Cylindropuntia	12	11
Marina	15	10
Stenotis	8	8
Bahiopsis	10	7
Justicia	9	6
Bursera	10	5

Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 6. Riqueza de los géneros endémicos exclusivos a Baja California Sur[a] y a la Península de Baja California.[b]

Familia	Género	Especies e infraespecies
Anacardiaceae	*Pachycormus*[b]	2
Asteraceae	*Amauria*[b]	3
	Coulterella[a]	1
	Faxonia[a]	1
Cactaceae	*Cochemiea*[b]	4
	Morangaya[a]	1
Onagraceae	*Xylonagra*[b]	1
Polemoniaceae	*Acanthogilia*[b]	1
Polygonaceae	*Harfordia*[b]	2
Rubiaceae	*Carterella*[a]	1
	Stenotis[b]	8
Themidaceae	*Behria*[a]	1

Fuente: elaboración propia.

extinto, aunque también puede ser que se trate de una población reducida, como es el caso de *Sabazia purpusii*, especie descrita en 1901 en las montañas de San José del Cabo, y colectada nuevamente 114 años después en la misma zona.

La flora de Wiggins (1980) señalaba la existencia de 20 de géneros endémicos a nivel peninsular; sin embargo, en este trabajo solo se identificaron 12 de ellos. Un aspecto importante a considerar es que la taxonomía ha cambiado sustancialmente en las últimas décadas y algunos grupos han sido agregados en otros; tal es el caso del entonces válido *Burragea* que pasó al actual *Gongylocarpus*, lo que resultó en la sustracción de un género endémico peninsular. En otros casos el acceso a áreas remotas ha permitido conocer mejor la distribución de algunas especies; y para otros géneros no hay un consenso absoluto sobre su validez, como *Carterella* que ha pasado por *Bouvardia* y *Hedyotis*, o *Morangaya*, *Cochemiea* y *Behria*, que han sido propuestos como *Echinocereus*, *Mammillaria* y *Bessera*, respectivamente.

Otros géneros tienen un importante centro de diversidad en la cuenca del golfo de California, como *Marina* que cuenta con nueve endemismos de las 15 especies registradas en la flora estatal (cuadro 5). También es de llamar la atención que los géneros de cactáceas *Cylindropuntia*, *Mammillaria* y *Ferocactus* presentan un nivel de especies endémicas superior a 50% de las anotadas en la flora estatal. Por ello, se debe realizar una importante labor de conservación con los géneros endémicos, debido a que pocos de éstos conforman poblaciones grandes y estables (excepto *Pachycormus*), sino que constituyen poblaciones localizadas, o incluso posiblemente extintas, como *Faxonia* en la Sierra La Laguna.

Ampliación del conocimiento

Villaseñor y Ortiz (2014) publicaron un compendio florístico nacional y por estado para las plantas mexicanas con flores, mismo que se amplió un par de años después para integrarlo como un compendio de plantas vasculares (Villaseñor 2016). En esta recopilación, a Baja California Sur se le atribuyeron 1 998 taxones y únicamente 242 endemismos. El recuento florístico compilado en este trabajo suma 2 070 especies e infraespecies, y 383 endemismos estrictos a la entidad (525 si se considera todo el territorio de la Península de Baja California).

El número de taxones endémicos es particularmente notable en el contexto nacional, debido a que entidades como Chiapas, Oaxaca y Guerrero cuentan con entre 750 y 800 especies endémicas, y es en éstos donde se encuentra la mayor riqueza (*hotspots*) y endemismos del país. La relevancia de la flora endémica del estado radica en que a pesar de ser de las más pobres del país (comparable con Tlaxcala, Ciudad de México, Colima y Yucatán), existe un nivel de endemismos casi del mismo orden de importancia que el de las floras estatales más diversas de México, lo cual confirma el enunciado de que los patrones de endemismo no necesariamente se acoplan con los *hotspots* de riqueza de especies (Young *et al.* 2002). Esto también coincide con lo expresado por Rzedowski (1993), al señalar que el endemismo en México es particularmente abundante en las zonas áridas del país, como la región de Tehuacán-Cuicatlán (Méndez-Larios *et al.* 2004) y Coahuila (Sosa y De Nova 2012).

Baja California Sur posee una densidad poblacional humana baja, por lo que todavía existen extensas áreas silvestres con bajo impacto antropogénico, algunas de las cuales se incluyen en 12 áreas naturales protegidas de distinta extensión dentro de la superficie estatal. Por esta razón, existen vastas superficies aún sin explorar botánicamente, que en el futuro pueden resultar en la existencia de nuevos registros para el estado, así como para la flora mexicana.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones y recomendaciones

El esfuerzo desarrollado por diversos autores durante las últimas tres décadas para conocer la flora de Baja California Sur es notable. En este sentido, para toda la península se incrementó 25% en relación con el primer recuento realizado (2 958 taxones, de acuerdo con Wiggins 1980) y en 6% con el recuento más reciente (Villaseñor 2016).

Por la naturaleza árida del territorio y la baja densidad poblacional humana, la proporción de plantas exóticas en la vegetación conforma un grupo de tamaño moderado (8.6% de la flora), que se distribuye en las zonas de uso agropecuario y urbano. Sin embargo, hay un reducido grupo de especies, notablemente pernicioso para la estabilidad biológica de las comunidades peninsulares, e incluso para el interés humano, entre las que destacan *Cryptostegia grandiflora*, *Cenchrus* spp. y dos especies de *Tamarix*; mientras que *Pennisetum ciliare* y *Melinis repens* son controversiales por la dualidad de su capacidad invasiva y uso forrajero.

La vegetación de ambientes costeros merece especial atención, pues la franja litoral del estado comprende 18% de las costas del país, incluso cuando se trata de una superficie tan estrecha que difícilmente es cartografiable. Los manglares de la entidad, aunque tienen una distribución restringida (CONABIO 2009) y poca diversidad de su flora, son ecológicamente muy importantes como centros de generación de vida marina en la región de mayor actividad pesquera del país. Asimismo, las dunas costeras se encuentran en riesgo por las diversas actividades asociadas a mega desarrollos turísticos, como en el corredor de Los Cabos, Cabo del Este, Todos Santos y bahía Concepción.

Los endemismos a nivel de especie en la entidad merecen una revisión meticulosa para su mejor comprensión, pues si bien ha habido aproximaciones para conocer la regionalización y sus patrones geográficos, los esfuerzos realizados carecen de un conocimiento profundo de la flora regional (Riemann y Ezcurra 2007, Sosa y De Nova 2012). Asimismo, se requiere conocer aspectos propios de la densidad poblacional de cada taxón, biología reproductiva y particularmente de su vulnerabilidad ante las amenazas de la pérdida del hábitat y el cambio climático. En un análisis somero para los endemismos en el estado (383), en este trabajo se ubicaron 23 taxones conocidos únicamente en la localidad tipo, otros 50 que se distribuyen en una o dos localidades con escasos ejemplares, y cerca de 100 con un rango geográfico menor de 25 km^2; estos números contrastan con los 27 taxones considerados microendémicos para la península por Sosa y De Nova (2012) en un estudio a nivel país. Asimismo, el género monoespecífico *Faxonia*, conocido de su ejemplar tipo (*F. pusilla*), posiblemente se encuentra extinto.

El estudio de la flora estatal no puede considerarse concluido. Hay una excelente plataforma de conocimiento básico, pero también existen áreas (particularmente montañosas) todavía inaccesibles, que pueden rendir más números para la flora total y endémica de la región y de México. Por último, se considera necesario afrontar el nuevo reto del planteamiento de programas de manejo para las especies exclusivas, y para los riesgos que implica la reciente introducción de especies exóticas invasoras ante el escenario del cambio climático global sobre estas comunidades silvestres.

Referencias

Brandegee, T.S. 1892. Plants from Baja California. *Proceedings of the California Academy of Science* 2(1):1-232.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. *Manglares de México: extensión y distribución*. CONABIO, México.

Ferrari, L., M. Valencia-Moreno y S. Bryan. 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 57(3):303-378.

García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana*. Instituto de Geografía-UNAM, México.

Gentry, H.S. 1978. *The agaves of Baja California*. California Academy of Sciences, California.

Gould, F.W. y R.V. Moran. 1981. *The grasses of Baja California, Mexico*. San Diego Society of Natural History, EUA.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1997. *Mapa digital de uso del suelo y vegetación de Baja Ca-*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

lifornia y Baja California Sur (serie 2), escala 1:250 000. INEGI, México.

—. 2000. *Aspectos geográficos*. En: <www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2000/aspgeo.pdf>, última consulta: 28 de octubre de 2019.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2015. *Catálogo del territorio insular mexicano*. INEGI, México.

—. 2017. *Encuesta intercensal 2015*. En: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>, última consulta: 3 de enero de 2017.

Johnson, A.F. 1977. A survey of the strand and dune vegetation along the Pacific and southern gulf coasts of Baja California, Mexico. *Journal of Biogeography* 7:83-99.

—. 1982. Dune vegetation along the eastern shore of the Gulf of California. *Journal of Biogeography* 9:317-330.

León de la Luz, J.L., J.J. Pérez Navarro y A. Breceda. 2000. A transitional xerophitic tropical plant community of the Cape Region, Baja California. *Journal of Vegetation Science* 11(4): 555-564.

León de la Luz, J.L., R. Domínguez y M. Domínguez. 2012. Florística de la selva baja caducifolia de la Península de Baja California, México. *Botanical Sciences* 90(2):143-162.

León de la Luz, J.L., T.R. Van Devender, J.P. Rebman *et al*. 2018. El conocimiento florístico actual del Noroeste de México: desarrollo, recuento y análisis del endemismo. *Botanical Sciences* 96(3):555-568.

Méndez-Larios, I., E. Ortiz y J.L. Villaseñor. 2004. Las Magnoliophyta endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Anales del Instituto de Biología* serie botánica 75(1):87-104.

Riemann, H. y E. Ezcurra. 2007. Endemic regions of the vascular flora of the Peninsula of Baja California, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 18:327-336.

Rzedowski, J. 1979. Los bosques secos y semi-húmedos de México con afinidades neotropicales. En: *Tópicos de ecología contemporánea*. G. Halffter y J. Ravinovich (eds.). FCE, México, pp. 37-46

—. 1993. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. En: *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Oxford University Press, Reino Unido, pp. 129-148.

Shreve, F. y I.L. Wiggins. 1964. *Vegetation and flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, EUA.

Sosa, V. y A. De Nova. 2012. Endemic Angioesperm lineages in Mexico: Hotspots for conservation. *Acta Botanica Mexicana* 100:293-315.

Van Devender, T.R. 2002. Enviromental history of the Sonoran Desert. En: *Columnar cacti and their mutualists: evolution, ecology, and conservation*. T.H. Fleming y A. Valiente (eds.). Arizona University Press, EUA, pp. 3-24.

Villaseñor, J.L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3):559-902.

Villaseñor, J.L. y E. Ortiz. 2014. Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (suplemento) 85:134-142.

Wiggins, I.L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press, California.

Young, K.R., C. Ulloa, J.L. Luteyn y S. Knapp. 2002. Plant evolution and endemism in Andean South America: an introduction. *The Botanical Review* 68(1):4-21.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Protección y conservación de los oasis sudcalifornianos

Aurora Breceda Solís Cámara,† Martha Micheline Cariño Olvera y Rodrigo Andrés De los Ríos Luna

Introducción

Las acciones en Baja California Sur para la protección y la conservación del ambiente son múltiples y a diferentes niveles. Estas acciones se dan a nivel de espacios geográficos como las áreas naturales protegidas federales (reservas de la biosfera, parques nacionales, áreas de protección de flora y fauna), estatales y municipales (Gobierno del Estado 2020); así como en la protección y conservación centrada en especies carismáticas y ecológicamente claves, tales como el tiburón ballena (*Rhincodon typus*; Gobierno del Estado 2020).

La entidad, además de ser un territorio que aún goza de un relativo buen estado de conservación de sus ecosistemas, es una tierra de impresionantes contrastes. Uno de los más sorprendentes es el regalo del agua en medio del desierto; los únicos sitios naturales con permanencia y certeza de disponibilidad de agua en una matriz árida son los humedales (figura 1). De a acuerdo con Maya y colaboradores (1997), en la entidad existen 171 humedales que se caracterizan por la presencia de agua superficial derivada del afloramiento de manantiales o por agua subálvea, y una vegetación densa, en muchos casos palmares nativos o densos mezquitales.

Estos humedales son refugio y fuente de alimento para la fauna silvestre, y en su momento sirvieron también como puntos de abastecimiento y descanso de los primeros habitantes de la Península de Baja California. Estas sociedades legaron un rico y diverso conjunto de manifestaciones culturales como pinturas rupestres, pedernales, petroglifos y diversas herramientas, algunas de ellas con más de nueve mil años de antigüedad (León-Portilla 2010).

A partir de 1697 y durante el siglo XVIII, misioneros jesuitas con la ayuda de un puñado de familias rancheras, transformaron esos humedales en oasis, con el objetivo de colonizar la península (Cariño 2014). Esta fue una modificación radical de ecosistemas que hasta entonces habían sustentado a los pobladores originarios cuyo impacto había sido mínimo, limitado a la colecta de vegetales y la caza de especies menores (Del Barco 1988). Los jesuitas construyeron con base en el conocimiento ancestral de la cultura universal del oasis, propia de todos los pueblos y civilizaciones del desierto (Cariño y Castillo 2017). La finalidad de tan profunda transformación fue posibilitar la práctica de la agricultura y la ganadería (hasta entonces desconocida en la península), para cumplir un objetivo doble: producir alimentos para el sustento de los habitantes de las misiones (religiosos, laicos y neófitos), y como

Breceda Solís-Cámara, A., M. Cariño y R.A. De los Ríos. 2025. Protección y conservación de los oasis sudcalifornianos. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 411-419.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Oasis de San Javier, en el municipio de Mulegé. Foto: Aurora Breceda Solís.

medio de aculturación, con el fin de volver paulatinamente sedentarios a los pueblos originarios (Del Río 1984). La construcción de los oasis implicó:

- Domesticar[1] el agua, mediante complejos sistemas de riego, formados por canales, acequias, embalses, compuertas y esclusas, para aprovechar el pequeño pero continuo flujo de los ojos de agua de cada humedal (figura 2).
- Transformar el suelo con la remoción de piedras y arena para sustituir por terrazas de cultivo, para lo cual se transportó tierra de lugares cercanos y se consolidaron con bardas de mampostería.
- Modificar la biota, con la introducción de plantas y animales para instaurar la agricultura y la ganadería (Tenza *et al*. 2014). Las especies agrícolas fueron tanto de origen mediterráneo (palma datilera, vid, olivo), como tropical (mangos, papaya, guayaba) y el ganado fue de todo tipo, pero prevaleció el vacuno y el caballar.

En todos los oasis, grandes o pequeños, se creó una complementariedad entre la zona húmeda y el secano circundante; en la primera se desarrolló la agricultura estratificada, típica de los oasis, y en el segundo se practicó la cría de ganado. La agricultura estratificada permite un aprovechamiento máximo del agua dulce y la tierra fértil, cuya conjunción es inusual en las zonas áridas. En el nivel inferior, a ras del suelo, se cultivan hortalizas; en el nivel intermedio se encuentran diversos frutales; y en el superior palmas datileras y de taco, que garantizan sombra y materiales de construcción. La ganadería, además de complementar la alimentación, aportaba cueros, cebo y el indispensable estiércol, para fertilizar las huertas estratificadas (Cariño *et al*. 2013).

A partir del siglo XVIII y hasta mediados del XX, los oasis fueron la columna vertebral de la estructura social, económica y política de Baja California Sur. En ese primer siglo de colonización, los pobladores originarios se extinguieron, debido a las enfermedades, la guerra y el proceso de aculturación (Cariño 1996). No obstante, muchos de sus saberes tradicionales, especialmente el aprovechamiento de la flora silvestre y las estrategias de ocupación del espacio, se transmitieron a las familias rancheras y junto con la cultura universal del oasis conformaron el mestizaje cultural

1 Entendido como un proceso cultural de manejo del agua.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Oasis de Los Comondú, en el municipio de Comondú. Foto: Aurora Breceda Solís.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

del cual surgió la oasisidad (Cariño 2001). Esta original cultura sudcaliforniana aún se preserva por algunas familias que, en los más alejados oasis y ranchos, basan su vida en la autosuficiencia, la austeridad y el aprovechamiento integral y sustentable de los recursos naturales (Cariño 1996).

Con base en la oasisidad, la región mantuvo una población escasa pero estable y autosuficiente, capaz de enfrentar el aislamiento y la aridez en condiciones cercanas a la autarcía.[2] Los humedales más grandes, transformados en oasis, sustentaron las 18 misiones jesuitas. Después de la expulsión de los misioneros, en 1768, los ranchos se multiplicaron con mayor libertad cerca de algún ojo de agua (Cariño *et al.* 2012); sus habitantes, recios y amables, constituyen actualmente una minoría nacional en riesgo de extinción (Castorena y Breceda 2008).

Entre pueblos y ranchos, se estableció un sistema de comunicación, producción y comercialización de productos y servicios, que permitieron sostener comunidades relacionadas y dependientes entre sí. Fue así como se creó el paisaje biocultural de la oasisidad, sustentado en los sistemas socioecológicos de los oasis y, en el caso de aquellos cercanos a la costa, en los sistemas socioecológicos formados por la complementariedad de la interfaz sierra-mar, entre los oasis y las comunidades costeras (Valiente y Cariño 2020). Ambos sistemas se caracterizan por una elevada capacidad adaptativa al territorio que permite a sus habitantes gozar de una total seguridad alimentaria.

Importancia y situación de los oasis

Los oasis constituyen una joya biocultural del estado: biológicamente son espacios de refugio de especies relictas y endémicas, fungen como escalas de abastecimiento de especies migratorias y contribuyen con densas masas forestales que captan carbono (Arriaga y Rodríguez-Estrella 1997, Tenza *et al.* 2013). Igual de trascendente es su valiosa y variada agrodiversidad con cultivos antiguos que los convierte en reservorios de germoplasma (De Grenade 2014).

A pesar de la importancia biocultural de los oasis, éstos enfrentan severos problemas ambientales como cacería furtiva, extracción de flora y fauna, modificaciones del hábitat, incremento en la frecuencia e intensidad del fuego, además del uso de plaguicidas y venenos. Asimismo, destaca la presencia de especies invasoras que atentan contra el funcionamiento del ecosistema y la biodiversidad. Entre los casos más sobresalientes se encuentran:

- El manto de cristo (*Cryptostegia grandiflora*), que es una planta leñosa trepadora nativa de Madagascar e introducida en la península en la década de los años treinta del siglo pasado, y actualmente se ha registrado en varios oasis, con fuertes impactos en los ecosistema riparios de la entidad (Rodríguez-Estrella *et al.* 2010).
- Tilapia y otros peces invasores, como guppies, espada sureña y acociles invasores en los cuerpos de agua, que han desplazado a especies nativas y endémicas como la sardinilla peninsular (*Fundulus lima*) o a especies raras como los langostinos presentes en los oasis (Hernández *et al.* 2008, Ruiz-Campos *et al.* 2014).

Los oasis han tenido grandes transformaciones, desde mediados del siglo XX hasta la actualidad. En la época moderna, la llegada de la carretera transpeninsular, la conexión por transbordador, la creación del valle agrícola tecnificado de Santo Domingo, el crecimiento de centros urbanos, y en general el modelo de desarrollo imperante, han descentralizado la importancia de estos socioecosistemas. En general, para el siglo XXI, los oasis sudcalifornianos se pueden clasificar en dos tipos: el primer grupo incluye aquellos que se han convertido en centros urbanos y turísticos, y han perdido prácticamente todas las cualidades bioculturales de la oasisidad, como son los casos de San José del Cabo, Loreto, y Todos Santos; y el segundo tipo lo forman los oasis alejados de los centros urbanos, en donde aún se conserva la práctica de las actividades agrosilvopastoriles, como son los oasis asentados en las sierras La Giganta y Guadalupe (figura 3).

Los extintos oasis que forman la primera categoría sufren de destrucción del sistema por expansión urbana y especulación de la tierra, una desmedida extracción y desperdicio del agua, contaminación por

2 Política de un Estado que intenta ser autosuficiente, dependiendo solo de sus propios recursos.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. Oasis de la Purísima, en el municipio de Comondú. Foto: Aurora Breceda Solís.

residuos sólidos, saqueo de sus palmares, una total ruptura de su tejido social original y, cada vez más, la turistización que atrae un poblamiento muchas veces ajeno e indiferente a la cultura local. Los oasis que aún no han desaparecido, los de la segunda categoría, tienen una producción marginal, carecen de servicios y adolecen de un fuerte proceso de despoblamiento, abandono y envejecimiento de su población. Esto implica la paulatina extinción de dos componentes indispensables de la oasisidad: los saberes tradicionales y la fuerza de trabajo, que habían logrado persistir por más de 300 años (figura 4).

Acciones para la conservación

Para evitar la pérdida de este importante patrimonio biocultural sudcaliforniano se han establecido alianzas entre pobladores, académicos y el gobierno del estado para visibilizar, valorar y conservar los oasis del territorio sudcaliforniano. Desde finales del siglo XX investigadores del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) enfocaron la atención sobre los humedales (Arriaga y Rodríguez-Estrella 1997). En 2004, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en alianza con el CIBNOR y la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), formaron la Iniciativa *Oasis* (Rodríguez-Estrella *et al.* 2004), y en 2006 se formó la Red Interdisciplinaria de Desarrollo Sustentable de los Oasis Sudcalifornianos (RIDISOS; Cariño *et al.* 2013).

En 2010, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y el gobierno del estado iniciaron acercamientos con las comunidades locales de los oasis de San Miguel y San José de Comondú respectivamente. Así, al reconocimiento de la importancia ecológica de humedales y oasis, siguió el interés his-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 4. Acequia en el oasis de Los Comondú, en el municipio de Comondú. Foto: Aurora Breceda Solís.

tórico, cultural y económico, lo que sentó las bases para el desarrollo de investigaciones de ciencia básica, diagnósticos y el descubrimiento de la complejidad de esos peculiares sistemas socioecológicos, desde la perspectiva de los sistemas dinámicos (Tenza *et al*. 2013). Asimismo, se multiplicaron las formas de interacción entre actores al llevarse a cabo talleres comunitarios y acciones para combatir las especies exóticas e impulsar programas que visibilizaran y valoraran los oasis (Breceda *et al*. 2020).

En los talleres y entrevistas con los pobladores se identificaron los escenarios deseados por las comunidades. Los habitantes de los oasis expresaron su deseo de reactivar y mantener las huertas actualmente abandonadas y producir con suficiente calidad y cantidad para el autoabastecimiento y la venta. Además, consideran importante mantener en buenas condiciones la vegetación natural (p.e. palmar), lo cual beneficia a la biodiversidad, permite su aprovechamiento productivo y reduce el riesgo de fuego.

Para la recuperación del buen funcionamiento de las huertas y el palmar es importante la reconstrucción de los sistemas de riego que permitan una correcta canalización del agua por acequias y regaderas secundarias (canales de tierra), el mantenimiento de los canales existentes (de piedra y/o cemento) y la realización periódica de sangrías para drenar el exceso de agua en las tierras, para devolverla al arroyo principal. En este proceso de reactivación de huertas, del sistema de regadío y de los palmares, es necesaria la organización de los propietarios y posesionarios,

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

que conozcan sus responsabilidades, gestionen y tomen decisiones de común acuerdo, así como el establecimiento de normas y reglas, acompañado de un sistema de vigilancia con sus respectivas sanciones para garantizar su cumplimiento (Breceda *et al*. 2020).

En cuanto a la zona del secano, es indispensable mantener en buen estado el área de agostadero para el ganado, a partir de su capacidad de carga, y continuar con la mejora genética del ganado (para incrementar su rendimiento). La organización de los ganaderos es un paso fundamental para mejorar la producción, la comercialización y la distribución de los productos, que puede propiciar un incremento en los precios percibidos por los rancheros. Finalmente, en los asentamientos humanos, los pobladores aspiran a contar con mayor cantidad de servicios que mejoren su calidad de vida (Breceda *et al*. 2020).

Atento a esta experiencia, la convocatoria de fondos mixtos entre el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Gobierno del Estado de Baja California Sur (FOMIX y Gobierno del Estado 2018), ha promovido una intervención en los oasis San Miguel y San José de Comondú, San Isidro y La Purísima (municipio de Comondú); San Javier (Loreto); y San Ignacio (Mulegé), consistente en seis aspectos fundamentales (figura 5):

1. Programa georefenciado de aprovechamiento sustentable de los recursos disponibles. Se refiere a contar con un levantamiento, registro y sistematización de la información de atributos físicos y socioeconómicos que permitan la continuidad de los servicios ecosistémicos, así como la realización de actividades productivas como agricultura, ganadería, bancos de materiales pétreos, artesanía y turismo, entre otras. Se pretende conformar unidades territoriales de aprovechamiento sustentable, con sus respectivos inventarios de recursos disponibles, así como las políticas y lineamientos para el aprovechamiento de dichos recursos.
2. Recuperación de acequias. Considera en todo momento la participación de los habitantes de las localidades, para el diseño del proyecto constructivo que será ejecutado por los mismos pobladores mediante cuadrillas de trabajo. El proceso de levantamiento, diseño y construcción tiene que ser efectuado en acompañamiento del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), por el valor histórico y cultural de estas obras de ingeniería misional.
3. Plan de restauración hidrológico-forestal. Se refiere al plan de ejecución y evaluación de obras de retención de suelo y agua en las cuencas de los oasis, tanto en las zonas húmedas como en las zonas adyacentes y áridas, a veces conocidas como secano. Se pretende, además de la generación de empleo por la construcción de las obras, establecer líneas base y metodologías de medición y evaluación de resultados para la definición de proyectos de mayor escala para el pago por servicios ambientales.
4. Plan integral de manejo de fuego. En vista de que muchos de los oasis presentan palmas, que producen una gran cantidad de material combustible y de que en estos espacios hay una interfaz urbano-forestal, el diseño e implementación de planes integrales de manejo de fuego es de la mayor relevancia para la conservación de los recursos naturales y para la protección de la integridad de la población. En dichos planes se considera desde la capacitación y equipamiento de brigadas forestales rurales, hasta la realización continua de acciones de prevención acorde a cada ecosistema de cada uno de los oasis.
5. Propuesta organizacional local para el aprovechamiento sustentable de los recursos de uso común. Contempla la aplicación de una metodología para la gobernanza de los oasis, ejercida mediante la participación en asambleas locales de toma de decisiones y la presentación de resultados. Una de las decisiones más importantes tiene que ver con el reconocimiento de la propiedad privada, la propiedad común y las reglas de apropiación de recursos de la propiedad común.
6. Compilación sistematizada de información. Se busca que toda la información generada se encuentre disponible, catalogada y en la medida de lo posible, representada en archivos electrónicos georreferenciados, que ayuden a tener un panorama más completo de los recursos bióticos, abióticos y sociales presentes en los oasis, de los cuales depende su continuidad. Al respecto, se debe señalar que durante poco más de dos décadas la academia ha efectuado una intensa y valiosa investigación en los oasis sudcalifornia-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 5. Brigada contra incendios en el oasis de Los Comondú, en el municipio de Comondú. Foto: Andrés de los Ríos Luna.

nos, incluso a través del fomento de colaboraciones con universidades y centros de investigación extranjeros, con lo cual se ha generado una gran cantidad de información muy valiosa.

Con esta intervención, la academia y los gobiernos federal y estatal buscan generar las condiciones para asegurar el bienestar social, a través de la mejora de la economía de la población de oasis y ranchos, así como la definición del camino a un aprovechamiento sustentable de sus recursos.

Conclusión

La protección y la conservación del patrimonio biocultural de los oasis sudcalifornianos dependerán del resguardo de los procesos agrícolas, silvícolas y pastoriles de los oasis y ranchos. La preservación de los valores que los conformaron (austeridad, autosuficiencia y aprovechamiento adecuado a la productividad del ecosistema) son el mecanismo para asegurar su prevalencia, para reconocer su valor y conservar el patrimonio tangible e intangible que significa la oasisidad para Baja California Sur y para México.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Arriaga, L. y R. Rodríguez-Estrella. 1997. *Los oasis de la Península de Baja California*. CIBNOR, La Paz.

Breceda, A., A. Tenza-Peral, A. Giménez-Casaldueero *et al*. 2020. Visions of the future in the oases of Baja California Sur, Mexico. En: *Socio-ecological studies in natural protected areas*. A. Ortega-Rubio (ed.). Springer Nature, Suiza, pp. 425-439.

Cariño, M. 1996. *Historia de las relaciones hombre/naturaleza en Baja California Sur, 1500-1940*. FOMES-SEP/UABCS/Promarco, La Paz.

—. 2001. La oasisidad: núcleo de la cultura sudcaliforniana. *Gaceta Ecológica* 60:57-69.

—. 2014. Oasisidad: identidad geográfica sudcaliforniana y expresión local de la sustentabilidad. En: *Oasis sudcalifornianos: para un rescate de la sustentabilidad local*. M. Cariño y A. Ortega (eds.). Universidad de Granada, España, pp. 71-106.

Cariño, M. y A.L. Castillo. 2017. Oasis sudcalifornianos: paisajes bioculturales con elevada capacidad adaptativa a la aridez y potencial para la construcción de la sustentabilidad local. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 6(2):217-239.

Cariño, M., A. Breceda, A. Ortega y L. Castorena. 2013. *Evocando al edén. Conocimiento, valoración y problemática del oasis de Los Comondú*. Icaria Editorial, Barcelona.

Cariño, M., L. Castorena, Y. Maya *et al*. 2012. Transformación de los ecosistemas áridos para su uso agrícola en Baja California Sur, México. Un análisis desde la historia ambiental. *Historia Agraria* 56:81-106.

Castorena, L. y A. Breceda. 2008. *Remontando el Cañón de la Zorra. Ranchos y rancheros de la Sierra La Laguna*. La Paz. Gobierno del Estado, México.

De Grenade, R. 2014. Agrodiversidad de los oasis sudcalifornianos. En: *Oasis sudcalifornianos: para un rescate de la sustentabilidad local*. M. Cariño y A. Ortega (eds.). Universidad de Granada, España, pp. 165-186.

Del Barco, M. 1988. *Historia natural y crónica de la antigua California*. UNAM, México.

Del Río, I. 1984. *Conquista y aculturación de la California jesuítica. 1697-1768*. UNAM, México.

FOMIX y Gobierno del Estado. Fondos Mixtos-CONACYT y Gobierno del Estado de Baja California Sur. 2018. *Demanda BCS-2018-01-01, "Desarrollo de localidades serranas de Baja California Sur"*. En: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultados-conacyt/convocatorias-fondos-mixtos-contituidos/convocatorias-fondos-mixtos-constituidos-baja-california-sur/convocatorias-cerradas-fondos-mixtos-constituidos-baja-california-sur/18-01-fomix-bcs/17870-fomix-bcs-18-01-dem-espec/file>, última consulta: 14 de octubre de 2020.

Gobierno del Estado. 2020. *Áreas naturales protegidas en BCS*. En: <https://setuesbcs.gob.mx/mapas/areas-naturales-protegidas-en-bcs/>, última consulta: 13 de octubre de 2020.

Hernández, L., A.M. Maeda-Martínez, G. Ruiz-Campos *et al*. 2008. Geographic expansion of the invasive red crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Crustacea: Decapoda) in Mexico. *Biological Invasions* 10(7):977-984.

León-Portilla, M. 2010. Rescate de un gran legado cultural. En: *Lienzos de piedra. Pinturas rupestres en la Península de Baja California*. E. Hambleton (ed.). Gobierno del Estado, La Paz, pp. 17-20.

Maya, Y., R. Coria y R. Domínguez. 1997. Caracterización de los oasis. En: *Los oasis de la Península de Baja California*. L. Arriaga y R. Rodríguez-Estrella (eds.). CIBNOR, La Paz, pp. 5-25.

Rodríguez-Estrella, R., M. Cariño Olvera y C.F. Aceves García. 2004. *Reunión de análisis de los oasis de Baja california Sur. Importancia y conservación*. CIBNOR/UABCS/SEMARNAT, La Paz.

Rodríguez-Estrella, R., J.J Pérez-Navarro, B. Granados y L. Rivera. 2010. The distribution of an invasive plant in a fragile ecosystem: the rubber vine (*Cryptostegia grandiflora*) in oases of Baja California Peninsula. *Biological Invasions* 12:3389-3393.

Ruiz-Campos, G., F. Camarena-Rosales, A. González-Acosta *et al*. 2014. Estatus actual de conservación de seis especies de peces dulceacuícolas de la Península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(4):1235-1248.

Tenza, A., J. Martínez-Fernández, I. Pérez y A. Giménez. 2014. Una herramienta para la sustentabilidad de sistemas socioambientales tradicionales en ambientes áridos: el modelo Comondú. En: *Oasis sudcalifornianos: para un rescate de la sustentabilidad local*. M. Cariño y A. Ortega (eds.). Universidad de Granada, España, pp. 263-286.

Tenza, A., I. Pérez, J. Martínez-Fernández *et al*. 2013. Estructura y funcionamiento dinámico del oasis. En: *Evocando al edén. Conocimiento, valoración y problemática del oasis de Los Comondú*. M. Cariño, A. Breceda, A. Ortega y L. Castorena. 2013. Icaria Editorial, Barcelona, pp. 33-60.

Valiente, C. y M. Cariño. 2020. Paisajes del capital financiero y ruptura de la territorialidad histórica de la costa occidental del Golfo de California por una nueva apropiación de la playa. En: *Huellas en el paisaje. Geografía, historia y ambiente en las Américas*. P.S. Urquijo Torres y A.F. Boni Noguez (eds.). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM, México, pp. 125-150.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Restauración estratégica de dos ecosistemas áridos de manglar

Yoav Bashan,[†] Alfonso Medel Narváez, Blanca Estela Romero López, Manuel Moreno Legorreta y Luz Estela González de Bashan

Introducción

Los manglares áridos (aquellos con precipitación menor a 150 mm/año) en la vertiente del Pacífico de Baja California Sur son los más septentrionales en México, es decir, en la entidad encuentran su límite norte de distribución. En general, son ecosistemas relativamente más pequeños y con un dosel más bajo que los manglares tropicales del sur.

La mayoría de los manglares áridos no cuentan con acceso a agua dulce durante la mayor parte del año. Sin embargo, su papel en el mantenimiento de la pesca costera y la generación de áreas de recreación es económicamente significativo. Una vez talado el bosque de mangle, la pesca costera puede reducirse o incluso destruirse de manera irreversible (Holguin *et al*. 2001, Aburto-Oropeza *et al*. 2008). En las zonas secas con poco flujo de las mareas, los manglares se regeneran poco y lentamente después de la tala. Asimismo, la siembra directa de propágulos en estos ecosistemas de clima seco generalmente no es exitosa.

Aunque desde 2004 los manglares están legalmente protegidos en el país, su tala ilegal para la producción de carbón y para proyectos comerciales es común cerca de las áreas urbanas en Baja California Sur, especialmente alrededor de la ciudad de La Paz. En este estudio se detalla la recuperación de dos ecosistemas áridos de manglar mediante técnicas innovadoras de restauración.

Punta El Mogote

En otoño de 2001, un huracán pasó a través de la bahía de La Paz y movió una duna en la punta El Mogote, la cual bloqueó el canal de salida de un ecosistema de manglar consistente en dos lagunas con una superficie de aproximadamente 10 ha. Esto trajo como consecuencia la interrupción en el flujo diario de las mareas, y afectó de manera significativa al manglar. Muchos árboles murieron y el resto sufrió de choques osmóticos[1] que condujeron a la casi completa pérdida de hojas en los mangles.

Los canales de agua secundarios en estas dos lagunas se perdieron, debido a la deposición de arena de las dunas adyacentes, lo cual creó un entorno hipersalino (salinidad muy alta) en el lecho seco. Solo las plantas adaptadas a ambientes salinos (halófitas) del género *Salicornia* pudieron soportar dichas con-

1 Ruptura de las células vegetales por exposición a un medio extremadamente salino.

Bashan, Y., A. Medel-Narváez, B. R. López, M. Moreno y L.E. de-Bashan. 2025. Restauración estratégica de dos ecosistemas áridos de manglar. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 420-424.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

diciones. Esta situación se detectó debido a que en 2003, una compañía constructora propuso convertir una gran parte de la punta El Mogote en una comunidad residencial y campo de golf. Específicamente, se contemplaba construir un centro comercial en el área del manglar. La empresa constructora inició la evaluación ambiental de la zona y como resultado se encontró el deterioro de este manglar (Holguin *et al*. 2006). De esta manera, se presentó una solicitud formal para la restauración a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), misma que se aprobó a finales de 2003. Coincidentemente, también en ese mismo año otro huracán afectó la zona de manera positiva, debido a que eliminó parte de la duna que bloqueaba el canal de salida.

Restauración basada en el conocimiento de la dinámica ambiental

En ausencia de los recursos económicos necesarios para cubrir el transporte de equipos pesados que drenaran la boca del sistema, se creó un plan de recuperación manual. El objetivo del trabajo fue utilizar el poder de dos fuerzas naturales para dragar lentamente la boca de salida y los canales secundarios en el manglar: 1) el efecto cascada donde el agua retrocede y crea una corriente de mayor velocidad, y 2) el régimen normal de las mareas.

Primero, se creó una cascada baja hecha de barro duro para mejorar el poder de excavación de la corriente de agua durante el paso de marea alta a marea baja. Se utilizaron palas para profundizar la boca del canal de salida a 1 m por debajo del nivel medio del mar. Esta cascada artificial poco profunda se redujo rápidamente a un conjunto temporal de corrientes bajas en la entrada del canal principal del manglar, y lo abrió para crear así nuevos canales secundarios.

Después de aproximadamente dos semanas de este proceso, la salida excavada se rellenó nuevamente con los sedimentos transportados por la corriente de retroceso del manglar. Por ello, la excavación se repitió dos semanas más tarde y una tercera vez aproximadamente un mes después.

Las tres excavaciones consecutivas del canal de salida fueron suficientes para mejorar de manera efectiva toda la hidrología del manglar y, en el proceso, crear dos canales secundarios profundos, que permitieron la inundación adecuada de las lagunas. El lecho de la boca del canal de salida finalmente se elevó al nivel del mar, para funcionar como un canal natural. Durante más de un año el flujo de las mareas mantuvo los canales abiertos al flujo diario y natural que necesitan los bosques de mangle; de esta manera, la corteza salina despareció por completo y los árboles se recuperaron por lo que produjeron follaje nuevo.

En 2011, un análisis del transporte de sedimentos demostró que una pequeña cantidad neta de sedimento se elimina con cada marea, lo que mantiene de forma natural la función de este ecosistema (Bashan *et al*. 2013). El restablecimiento funcional de este pequeño ecosistema trajo como resultado la limpieza de muchos otros canales secundarios en mangles más al interior de tierra firme, y en 2018 una gran parte del área se recuperó completamente, incluso lejos del área original restaurada (figura 1).

Laguna de Balandra

Se ubica a 25 km al noroeste de La Paz. Entre 1991 y 1992 dos grandes secciones del bosque árido de manglar en la laguna de Balandra fueron taladas ilegalmente. En 1995, en el área solo había una cantidad pequeña de arbustos de manglar combinados con grandes extensiones de la planta halófita *Salicornia bigelovii*.

Restauración con manglar de vivero

La reforestación convencional de toda el área no era práctica dada la falta de suficientes recursos, por lo tanto, se utilizó un enfoque innovador. Así, en septiembre de 1994 se estableció en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) un vivero de mangle negro (*Avicennia germinans*). Algunas de las plantas se inocularon con la cianobacteria fijadora de nitrógeno *Microcoleus* sp., considerada una potencial bacteria promotora del crecimiento vegetal (Toledo *et al*. 1995a, b, Bashan *et al*. 1998).

Después de cuatro meses, más de 500 plántulas se trasplantaron al canal de alimentación secundario que conectaba la sección del manglar destruido con una sección central de la laguna del ecosistema de

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Estado del manglar en El Mogote en 2018 (restaurado en 2004). Fotos: Alfonso Medel y Blanca R. López.

manglar intacto (figura 2). Dicho canal, aunque muy poco profundo (20-30 cm y hasta 10 m de ancho) drenaba una amplia sección del ecosistema donde se encontraban dos principales áreas deforestadas. Las plantas crecidas en el invernadero crearon un filtro vegetal de la siguiente manera:

- Las ramas más bajas de las plántulas en crecimiento quedaron sumergidas en el agua con la marea alta y bloquearon la salida de propágulos flotantes al mar abierto, donde se hubieran perdido.
- Durante las mareas bajas, estos propágulos se asentaron en el lodo, donde germinaron de manera rápida.

Este filtro biológico (consistente en las plantas trasplantadas y plántulas recién reclutadas) con el tiempo se hizo más denso, y la zona reforestada no solo creció de manera natural, sino que aumentó en extensión. Además del deshierbe anual de la planta halófita *S. bigelovii*, no se brindó ningún tratamiento especial al área. Este mantenimiento y un seguimiento al crecimiento de las plantas se hizo por tres años (Toledo *et al.* 2001). De esta manera, durante una inspección del área desarrollada en 2006, se identificó la completa restauración del manglar, donde no hubo distinción visual entre el bosque primario natural y el área de crecimiento secundario (excepto por el tamaño de los árboles), por lo que puede considerarse que el sitio presenta una vegetación densa y saludable.

En 2010, un estudio sobre la capacidad funcional de fijación de nitrógeno (una función ecológica importante de manglares) mostró que la zona restaurada es funcionalmente indistinguible de los manglares intactos, lo que reflejó el éxito final de la restauración (Vovides *et al.* 2011). La recuperación de la totalidad del ecosistema, incluso en áreas lejos de la barrera de plantas sembradas en 1995, se debe a que todo el ecosistema está atravesado por canales secundarios de agua entrelazados.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Estado del manglar en la laguna de Balandra en 2018 (restaurada en 1995). AA: área afectada por la tala antes de la restauración; R: área de restauración original en 1995. Fotos: Alfonso Medel y Blanca R. López.

Reconocimiento nacional e internacional

Los dos ecosistemas de manglares restaurados por el grupo de microbiología ambiental del CIBNOR fueron declarados áreas protegidas el 2 de febrero de 2008 por el Gobierno Federal de México. Asimismo, el manglar de Balandra fue declarado parque municipal por el ayuntamiento de La Paz. A su vez, como parte de un programa de priorización de la conservación, los manglares están entre los ocho sitios protegidos dentro de la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar) de la Organización de las Naciones Unidas. Cabe destacar que los casos aquí descritos son un ejemplo de éxito en la restauración estratégica de ambientes, por lo que constituyen experiencias valiosas para abordar, planificar y desarrollar otros esfuerzos a favor de la biodiversidad estatal y nacional.

Referencias

Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann *et al.* 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:10456-10459.

Bashan, Y., M.E. Puente, D.D. Myrold y G. Toledo. 1998. *In vitro* transfer of fixed nitrogen from diazotrophic filamentous cyanobacteria to black mangrove seedlings. *FEMS Microbiology Ecology* 26:165-170.

Bashan, Y., M. Moreno, B.G. Salazar y L. Alvarez 2013. Restoration and recovery of hurricane-damaged mangroves using the knickpoint retreat effect and tides as dredging tools. *Journal of Environmental Management* 116:196-203.

Holguin, G., P. Vazquez y Y. Bashan 2001. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and reha-

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

bilitation of the mangrove ecosystems: an overview. *Biology and Fertility of Soils* 33:265-278.

Holguin, G., P. González-Zamorano, L.E. de-Bashan *et al.* 2006. Mangrove health in an arid environment encroached by urban development-a case study. *Science of the Total Environment* 363:260-274.

Toledo, G., Y. Bashan y A. Soeldner 1995a. Cyanobacteria and black mangroves in northwestern Mexico: colonization, and diurnal and seasonal nitrogen fixation on aerial roots. *Canadian Journal of Microbiology* 41:999-1011.

—. 1995b. *In vitro* colonization and increase in nitrogen fixation of seedling roots of black mangrove inoculated by a filamentous cyanobacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 41:1012-1020.

Toledo, G., A. Rojas y Y. Bashan 2001. Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia* 444:101-109.

Vovides, A.G., Y. Bashan, J.A. López-Portillo y R. Guevara 2011. Nitrogen fixation in preserved, reforested, naturally regenerated and impaired mangroves as an indicator of functional restoration in mangroves in an arid region of Mexico. *Restoration Ecology* 19:236-244.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conservación de ecosistemas de cardón gigante y cañones únicos en el estado

Yoav Bashan,[†] Alfonso Medel Narváez, Blanca Estela Romero López y Luz Estela González de Bashan

Introducción

El cardón columnar gigante (*Pachycereus pringlei*) podría ser la especie emblemática de la Península de Baja California. Es imposible visitar cualquier lugar en la península sin admirar las extensas y, en algunas partes, densas poblaciones de este cactus arborescente. La mayoría de las poblaciones de cardón se han mantenido intactas a través de los siglos, debido indirectamente a la baja densidad de habitantes en la península y a que muchas áreas donde se localizan son remotas y de difícil acceso (Bashan *et al*. 2000a, Medel-Narvaez *et al*. 2006).

El cardón está entre los cactus más grandes que se conocen; un ejemplar común maduro alcanza una altura de 5 a 10 m con individuos de hasta 18 m. La mayoría de los adultos tienen un gran número de brazos laterales largos, lo que les da la imagen de un árbol; éstos pueden alcanzar 25 t o más de peso. El cardón es muy resistente tanto al difícil clima de Baja California Sur, como a la depredación por animales del desierto.

La vida promedio de un cardón se mide en cientos de años (Delgado-Fernández *et al*. 2016). Sin embargo, existen dos factores que afectan gradualmente la sobrevivencia de sus poblaciones en Baja California Sur: 1) las actividades agrícolas que literalmente eliminan grandes poblaciones de cardón; y 2) un fenómeno aparentemente natural que afecta y destruye poblaciones completas, conocido como el síndrome del decaimiento apical, cuyo síntoma característico inicia con la muerte de tejido en zonas concéntricas apicales y finaliza con la pérdida de secciones apicales de los brazos (Bashan *et al*. 1995, 2000b). Aunque el cardón está distribuido a lo largo de todo el territorio sudcaliforniano, existen ciertos lugares en particular donde la combinación de un paisaje altamente escénico y una zona de cardones intactos crean un sitio extremadamente atractivo que debería ser preservado para futuras generaciones.

Área para la conservación del cardón

Dentro de la entidad se ha identificado un área con particular valor para *P. pringlei*: se ubica en el valle que rodea a San Juan de Los Planes, que inicia en la carretera rural que conecta a La Paz, y de allí hacia la población de San Antonio de la Sierra. En la zona pueden verse los cardones más grandes, no solo del estado sino del mundo (figura 1). La mayoría

Bashan, Y., A. Medel-Narváez, B. R. López y L.E. de-Bashan. 2025. Conservación de ecosistemas de cardón gigante y cañones únicos en el estado. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 426-431.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. a) Bosque de cardones con individuos excepcionalmente grandes, cerca de San Juan de Los Planes; b, c) ejemplo de individuos típicos. Ag: área agrícola cercana, donde el bosque de cardones fue cortado en años anteriores. Fotos: Alfonso Medel y Blanca R. López.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

son plantas de entre 10 y 12 m de altura, con brazos abundantes y largos.

Entre la vegetación acompañante se cuentan choyas (*Opuntia cholla*) y árboles de mezquite (*Prosopis articulata*). Aunque el cardón columnar gigante no es una especie en riesgo de extinción, no es común encontrar poblaciones especialmente bellas de esta planta, como en este sitio, uno de los más espectaculares del mundo. Cabe señalar que los cardones del área están fuertemente amenazados por las actividades ganaderas y agrícolas intensivas cercanas. Por ello, se propone su preservación de la misma manera que se ha hecho con el sahuaro (*Carnegiea gigantea*) o el árbol de Josué (*Yucca schidigera*), en Arizona y California, donde zonas especiales de estas plantas han sido designadas como Monumento Nacional de los Estados Unidos de América.

Conservación de cañones únicos

En el estado, grandes extensiones de territorio están poco transformadas e incluso algunas se mantienen aún prístinas, lo que ofrece una oportunidad única para conservar ecosistemas casi intactos con paisajes de belleza única. En contraste, las playas cercanas a las áreas urbanas al sur del estado están altamente transformadas o bajo presión económica para modificarse en el futuro. Sin embargo, algunas áreas cercanas a zonas de playa están aún intactas, debido a que no tienen potencial agrícola, hay poca ganadería, o son de difícil acceso. En este sentido, se identificaron seis cañones ubicados en la carretera ramal a San Juan de La Costa No. 163, entre la población de El Centenario (ubicado a 12 km al oeste de La Paz) y la operación minera de San Juan de la Costa (figura 2).

Conclusiones y recomendaciones

Los cardones son una especie icónica para Baja California Sur; asimismo, son relevantes ecológicamente por evitar la erosión del suelo y brindar refugio y alimento para otros organismos. En la entidad existen diversas zonas con presencia de cardón y aunque la especie no se considera en alguna categoría de riesgo, la transformación de sus hábitats y su distribución restringida a la península y algunas zonas de Sonora, justifican el interés por desarrollar esfuerzos para su conservación.

Por su parte, para los cañones cercanos a la ciudad de la Paz se han identificado un potencial de atractivo turístico, debido a que aún mantienen condiciones naturales sin disturbios (no hay asentamientos humanos, excepto por ranchos en la zona adyacente a la carretera); sin embargo, están amenazados por futuras operaciones mineras en el área. La mayoría de los senderos en su interior están marcados solamente por el pastoreo de los animales o por vehículos que se adentran en la zona cuando el suelo lo permite. No se conoce ningún censo del inventario biológico de la zona. Cabe señalar que todos los cañones presentan vistas impresionantes de acantilados multicolores, formaciones vírgenes de arenisca, varios oasis con agua corriente y abundantes palmeras y acantilados (figura 3).

Ambos paisajes (áreas con cardón y cañones) tienen el potencial de ser un destino popular para el ecoturismo si se desarrollan de manera sostenible. Actualmente, se desconocen iniciativas que promuevan su protección o conservación, por lo que este documento es un primer acercamiento. Si embargo, se requiere desarrollar una propuesta integral de conservación que armonice el desarrollo productivo con el mantenimiento y preservación de la biodiversidad existente en esta zona.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

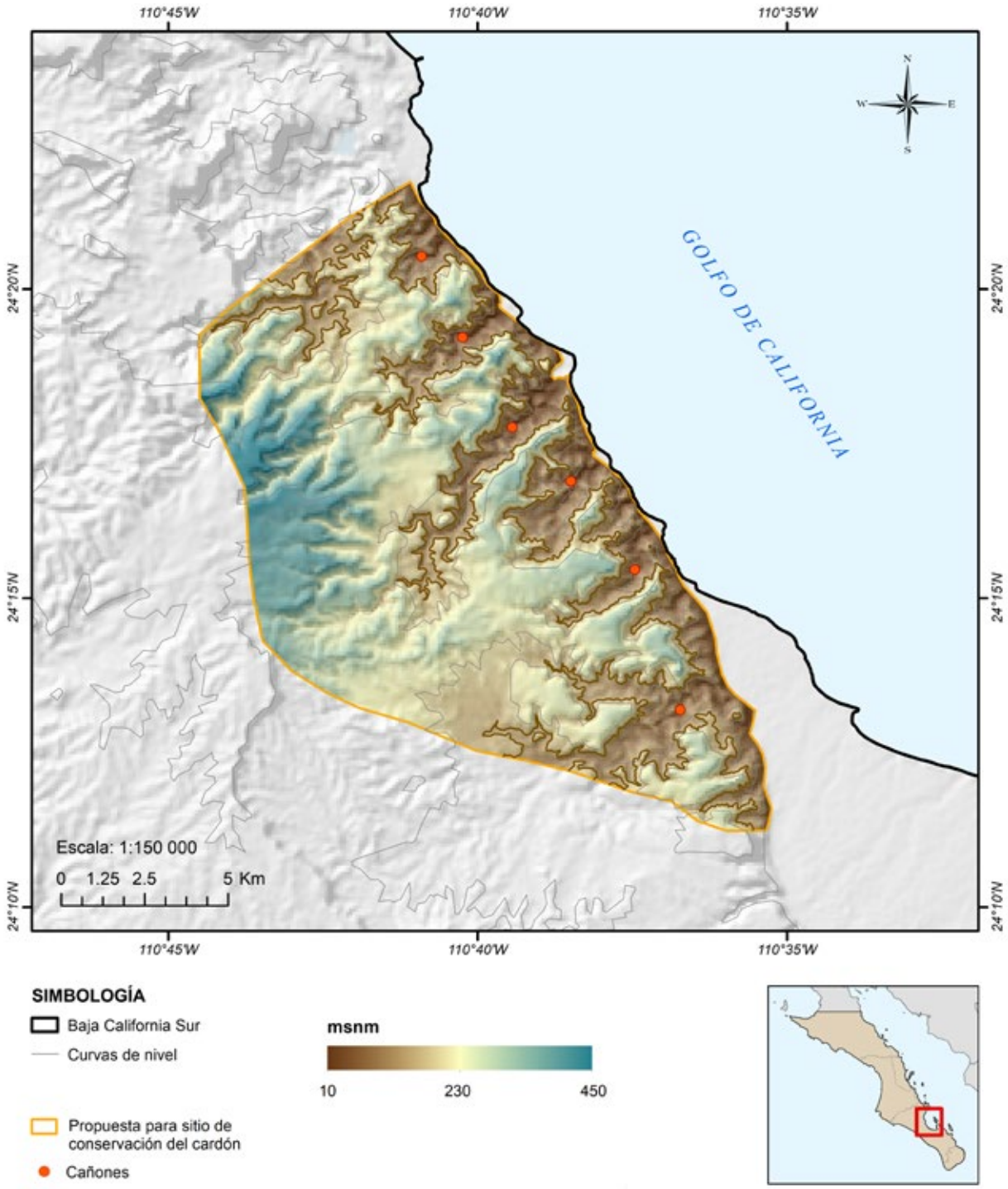


Figura 2. Localización de los seis cañones propuestos para conservación cerca de San Juan de la Costa. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. Vista general de los seis cañones propuestos para conservación cerca de San Juan de la Costa. Fotos: Yoav Bashan.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Referencias

Bashan, Y., G. Toledo y G. Holguin. 1995. Flat top decay syndrome of the giant cardon cactus (*Pachycereus pringlei*): description and distribution in Baja California Sur, Mexico. *Canadian Journal of Botany* 73:683-692.

Bashan, Y., L.E. González, G. Toledo *et al*. 2000a. A proposal for conservation of exemplary stands of the giant cardon cactus (*Pachycereus pringlei* [S. Wats Britt. & Ross]) in Baja California Sur, Mexico. *Natural Areas Journal* 20:197-200.

Bashan, Y., G. Toledo, L.E. Gonzalez y G. Holguin 2000b. La caída de los gigantes. *Ciencia y Desarrollo* 26:31-37.

Delgado-Fernández, M., P. Garcillán y E. Ezcurra. 2016. On the age and growth rate of giant cacti: Radiocarbon dating of the spines of Cardon (*Pachycereus pringlei*). *Radiocarbon* 58:479-490.

Medel-Narvaez, A., J.L. Leon de la Luz, F. Freaner-Martinez y F. Molina-Freaner. 2006. Patterns of abundance and population structure of *Pachycereus pringlei* (Cactaceae), a columnar cactus of the Sonoran Desert. *Plant Ecology* 187:1-14.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Caracterización y propuestas de uso de las playas de la bahía de La Paz

Guadalupe Minerva Torres Alfaro, Juan Carlos Alcérreca Huerta, Adela Figueroa Reyes, María del Rosario Chávez Morelos y Omar Domingo Defeo Gorospe

Introducción

Las playas arenosas proporcionan una amplia gama de servicios ambientales, al integrarse como enlaces entre ambientes terrestres y marinos en la zona costera. Estos ambientes forman espacios de almacenamiento y tienen una dinámica sedimentaria estrechamente relacionada con los servicios o procesos de disipación de oleaje, la reducción de riesgos por eventos extremos (p.e. tormentas y tsunamis), los efectos del aumento del nivel del mar, la descomposición de materiales orgánicos y contaminantes, los procesos de filtración y purificación de agua, el almacenamiento de ésta en los acuíferos de las dunas o la formación de zonas de descarga de aguas subterráneas, la mineralización y reciclaje de nutrientes, el mantenimiento de la biodiversidad y los recursos genéticos. Las playas arenosas además son áreas de cría para peces juveniles, de anidación para tortugas y aves playeras, y zonas para colonias de pinnípedos (p.e.lobos marinos y focas); adicionalmente en ellas abundan recursos de presas para fauna marina y terrestre, vistas escénicas y oportunidades recreativas/económicas para el desarrollo de diversas actividades antropogénicas (Defeo *et al*. 2009).

A pesar de estos servicios y los beneficios que significan para el ser humano, las actividades de transporte, carga, descarga, habitación, explotación, empleo y financiación, entre otras, han dado lugar al uso intensivo y la modificación física de las playas con la correspondiente pérdida de servicios ambientales. Por ello, se requiere de referencias locales para tomar decisiones óptimas que detengan el deterioro que los usos han provocado, con el fin de prevenir así los daños futuros.

McLachlan y colaboradores (2013) sugieren un modelo óptimo simple para que los tomadores de decisiones lo empleen al planificar estrategias para la gestión de playas de arena. Este modelo se basa en la premisa de que, en la inmensa mayoría de los casos, las playas son aptas para la recreación o para la conservación o una combinación de ambas. Al respecto, el modelo toma en cuenta factores físicos, ecológicos y socioeconómicos relevantes para las playas a través de la selección de seis indicadores clave para la conformación de dos índices: a) índice de valor de conservación, que se basa en el estado de salud de las dunas, la presencia de especies icónicas y la riqueza de especies macrobentónicas,[1] y b) índice de potencial de recreación,

1 Organismos que habitan el fondo de los ecosistemas acuáticos, con una talla superior a 0.5-1.0 mm.

Torres-Alfaro, G.M., J.C. Alcérreca-Huerta, A. Figueroa-Reyes, M.R. Chávez-Morelos y O. Defeo. 2025. Caracterización y propuestas de uso de las playas de la bahía de La Paz. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 432-441.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

que se sustenta en la extensión de la infraestructura, el nivel de seguridad/salud de la playa y su capacidad de carga física. Al combinar ambos índices, una playa puede clasificarse como adecuada para la recreación intensiva, para la conservación, o con fines multiusos.

En este contexto, este trabajo describe los principales rasgos ecológicos y biológicos de las playas de La Paz aunados a recomendaciones para su manejo y gestión como zonas para la conservación o la recreación con base en los índices propuestos por McLachlan y colaboradores (2013).

Playas de la bahía de La Paz y estado de salud de las dunas

La bahía de La Paz es una de las áreas costeras más grandes dentro del golfo de California, con una longitud de más de 180 km y un área de 2 635 km^2 (Cruz-Orozco *et al.* 1996, Whitehead *et al.* 2020). Las islas de Espíritu Santo, Partida, San Francisco y San José, así como la denominada Zona de Conservación Ecológica e Interés Comunitario Balandra han sido declaradas, desde 2005, parte del patrimonio natural del mundo: Islas y áreas protegidas del golfo de California (figura 1; UICN 2005).

Las playas de La Paz incluyen todo el litoral arenoso de la orilla del mar dentro de la bahía. Ésta posee una costa mixta entre roca y arena integradas, al oeste, por playas largas (con límites externos de playa alejados entre sí por distancias del orden de 103 m); mientras que al este y sur, existen playas circulares o de bolsillo[2] (con límites próximos ubicados a distancias de entre 100 y 101 m), en las que los procesos de transformación del oleaje y las corrientes por el efecto de la presencia de los límites de las playas, motivan la deformación de la línea de costa, y generan a su vez costas circulares o de bolsillo (apéndice 57).

Zonas

Dentro de la línea costera en la bahía se identifican cinco zonas diferentes (Velasco García 2009), descritas en función de las distintas formaciones que en ellas se encuentran (figura 3).

Zona A

Costa rocosa y montañosa con acantilados y mesetas estrechas, las cuales se desarrollan como parte de las sierras de San Juan de La Costa y de La Giganta, en la porción norte de la bahía.

Zona B

Se caracteriza por desarrollar una plataforma marina estrecha, que se ensancha hacia el sur de la bahía. Los límites de ésta los representan las puntas del Coyote y Las Tarabillas en el norte y en el sur, respectivamente. Existe una característica alternancia entre acantilados y amplias playas como consecuencia del desarrollo de la plataforma marina.

Zona C

La plataforma marina se ensancha en dirección sureste y las profundidades del agua son más pequeñas en comparación con las de las zonas A y B. El límite norte es punta Las Tarabillas y el sur corresponde a punta Los Médanos.

Zona D

Los depósitos de sedimentos provenientes de los ríos y la costa son el principal atributo de la zona, cuya extensión abarca desde punta Los Médanos hasta la desembocadura de la laguna de La Paz (punta este de la barrera de arena, conocida como El Mogote). Grandes extensiones de playas se encuentran en la zona, junto con dunas transversales[3] y barcanes.[4] En la barrera arenosa El Mogote se encuentra el área más extensa de manglares de toda la bahía, que abarca cerca de 120 ha dentro de la laguna de La Paz; en esta última, también se desarrollan llanuras de inundación. La barrera de arena se ha visto seriamente afectada por el desarrollo de edificios, complejos turísticos y campos de golf; sin embargo, recientemente ha sido protegida para favorecer la conservación del medio ambiente (SEMARNAT y CONANP 2016). A pesar de las profundidades en la laguna, que no

2 También denominadas *pocket beaches*.
3 Dunas con su cresta perpendicular al flujo del viento.
4 Dunas en forma de media luna.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

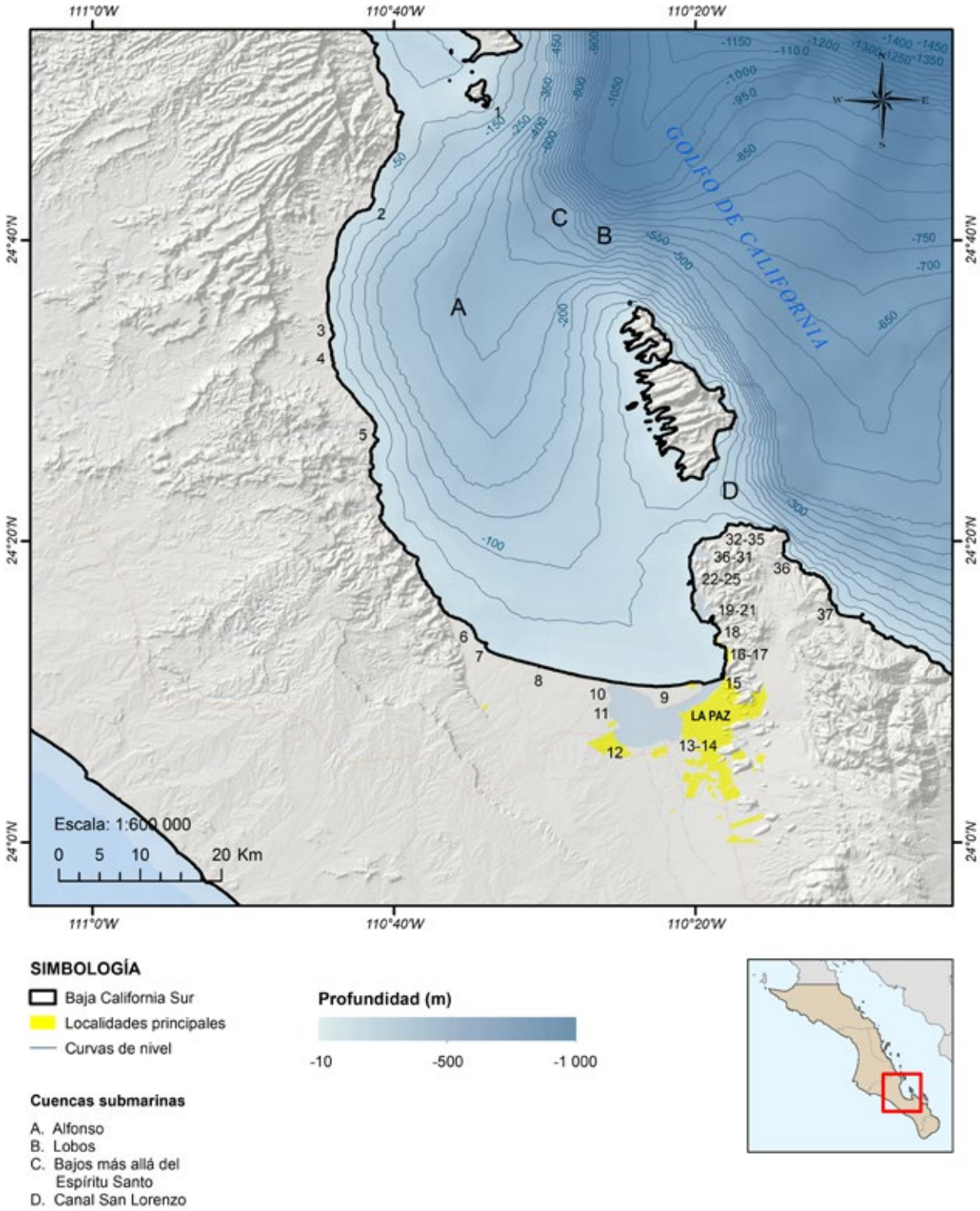


Figura 1. Playas, topografía y batimetría de bahía de La Paz (ver apéndices 57 y 58 para mayor referencia de las playas). Nota: en este mapa solo se incluyen las playas del litoral continental de uso frecuente y a las que tienen acceso libre las personas en general. Fuente: elaboración propia con datos de Nava-Sánchez *et al.* 2001, Velasco García 2009.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Ejemplos de ambientes costeros en la bahía de La Paz: a) Balandra; b) El Mogote; c) El Tesoro; d) malecón de La Paz. Fotos: Guadalupe Minerva Torres-Alfaro.

exceden los 10 m, las playas en el sur de la laguna son escasas ya que el aporte terrestre sedimentario hacia ella parece restringirse por la presencia de la ciudad o por las estructuras costeras construidas para prevenir la erosión y desarrollar actividades de transporte y recreación.

Zona E

Limitada por la ciudad de La Paz y por Punta Las Pilitas, se ubica en el extremo oriental de la bahía. La plataforma marina se estrecha en dirección norte hasta el desarrollo del canal de San Lorenzo. Asimismo, los promontorios y los acantilados irregulares proporcionan áreas protegidas para el desarrollo de playas de bolsillo, calas y ensenadas costeras.

Playas

A lo largo de la bahía y en las cinco zonas antes descritas, así como en el complejo insular Espíritu Santo-La Partida, existen 48 playas arenosas de variadas dimensiones. La totalidad de ellas presentan dunas en su parte posterior, y su vegetación resiste condiciones limitantes como la sal en la arena, elevadas temperaturas y poca disponibilidad de agua (Romero López 2004).

La arena de las playas proviene de la fragmentación de las rocas que se acumula en las dunas y posteriormente se deposita en las playas. En las zonas D, E y el complejo insular, las numerosas puntas rocosas dan lugar a playas de bolsillo. En el este de la bahía, las arenas son blancas por estar compuestas de restos de conchas y exoesqueletos de organismos marinos que se acumularon hace 12 mil años cuando el nivel del mar se elevó entre 5 y 8 m en relación con el escenario actual, lo que también elevó la costa marina (Pedrín Avilés *et al.* 1990). Los aportes de arena desde las barras sumergidas en el intermareal (zonas sumergidas y descubiertas por el ritmo diario de las mareas) son de gran importancia para estas playas, pues mantienen

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

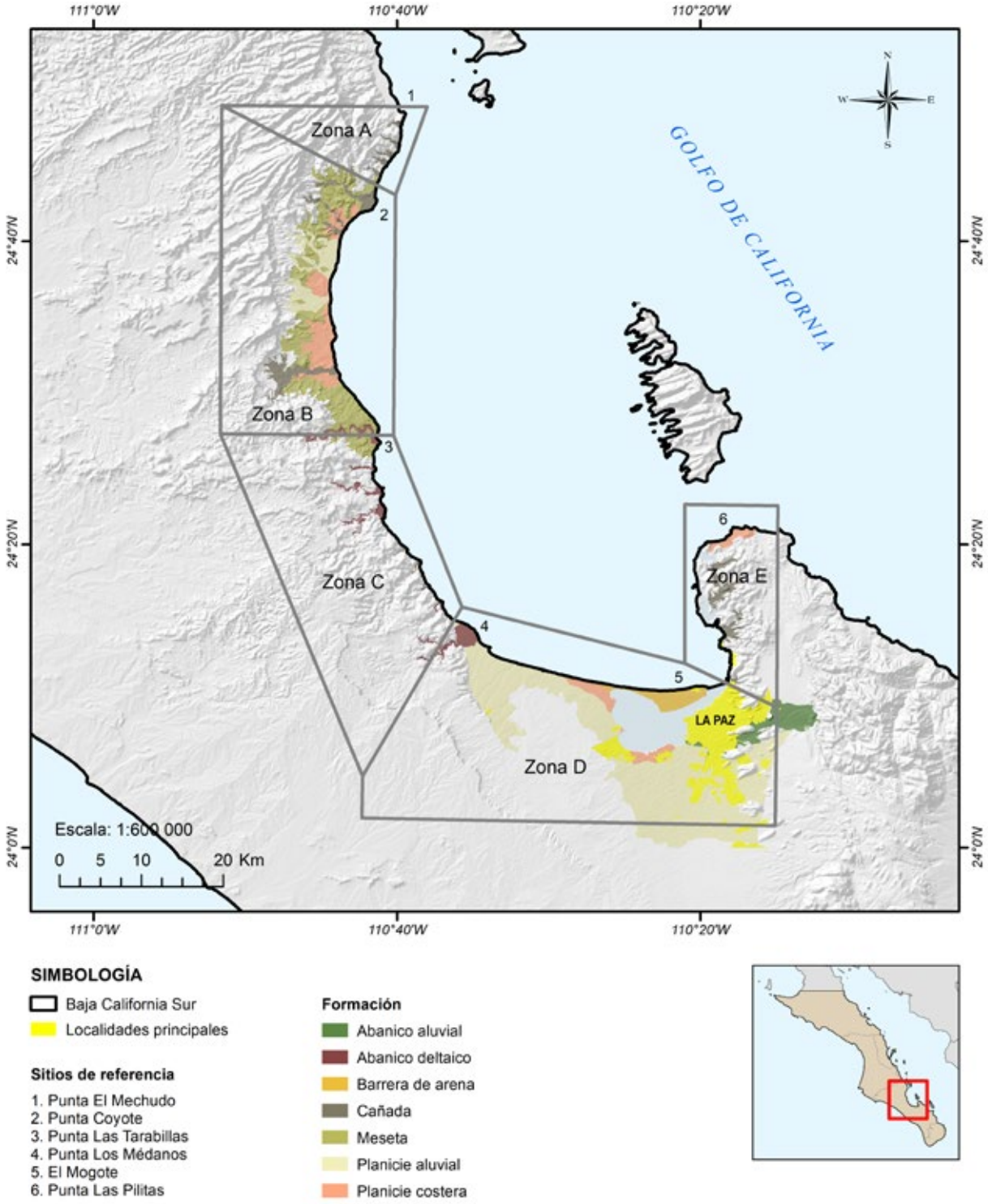


Figura 3. Elementos y presentación esquemática de las zonas geomorfológicas en la costa de la bahía de La Paz. Fuente: elaboración propia con datos de Velasco García 2009.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

el equilibrio en el movimiento de la arena entre el mar y la superficie. Algunas presentan dunas frontales de 1-5 m de altura aproximadamente (en playas de la caleta de Balandra, El Tecolote y en playas de la isla Espíritu Santo-La Partida), que también están parcialmente estabilizadas con vegetación nativa.

Las playas mayormente modificadas se encuentran en las zonas D y E, donde se localizan desarrollos humanos y de infraestructura como son el puerto de altura Pichilingue, la central termoeléctrica Punta Prieta, la marina Costa Baja, la ciudad de La Paz, los poblados de Chametla, El Centenario, El Comitán, la mina en San Juan de la Costa, las instalaciones de acuicultoras, marinas y hoteles costeros. En estos ambientes, la arena proviene de aportes terrígenos y marinos, con el intercambio natural de arena impedido por las construcciones estáticas de la ciudad y sus poblados cercanos, lo que ha modificado (y en algunos casos desaparecido) las formaciones de playas y dunas. Al respecto, se destaca la modificación de los procesos naturales de transporte y dinámica sedimentaria, a causa de los rellenos artificiales de las playas del malecón en la ciudad de la Paz.

Especies representativas

En la bahía de La Paz, la almeja chocolata (*Megapitaria squalida*) es objeto de una pesquería artesanal con importantes capturas (Vázquez Hurtado *et al.* 2011). Sus poblaciones están diezmadas en las zonas cercanas a la línea de costa en la bahía debido a la sobreexplotación (López Rocha *et al.* 2010), así como por el incremento de accesos, construcciones y modificaciones costeras que deterioran la calidad del hábitat (SEMARNAT y CONANP 2016).

El impacto negativo de las actividades humanas sobre los recursos costeros de almejas en el área, también está documentado en la madre perla (*Pinctada mazatlanica*), que como su nombre lo sugiere es una especie productora de perlas (Saucedo *et al.* 2019). Si bien esta especie se fija en las rocas, y no en la arena, su caso es un ejemplo de la disminución de recurso almejero en la bahía. A principios del siglo XX, el cultivo de perlas representó el mayor ingreso económico de la zona y ayudó a consolidar el poblamiento de la ciudad (Monteforte 1996). Sin embargo, pese al desarrollo de prácticas de cultivo de madreperlas, la pesquería de esta almeja está abatida debido a factores como: a) sobreexplotación de pesca y mortandades masivas por alteraciones drásticas en las condiciones oceanográficas del golfo de California (Álvarez-Borrego *et al.* 1978, Wright López *et al.* 2009); b) envenenamiento de las aguas del golfo por entidades o grupos japoneses a fin de eliminar la competencia perlera (Cariño-Olvera y Monteforte 1999, Wright López *et al.* 2009); c) introducción de especies exóticas que causaron enfermedades a las especies nativas de ostras perleras; y d) por una excesiva depredación (Díaz-Garcés 1972, Martínez 1983, Wright López *et al.* 2009).

Los peces también son representativos de las playas de la bahía de La Paz. En las pequeñas playas arenosas de bolsillo, predomina la familia Haemulidae (burros o roncos); en el ambiente lagunar-estuarino y sustrato arenoso, sobresalen las especies de la familia Gerreidae (mojarras); y en la zona insular, especies epipelágicas oceánicas (organismos en aguas marinas entre los 0-200 m de profundidad) como el papagallo (*Nematistius pectoralis*) y la sierra (*Scomberomorus sierra*; Galván-Piña 1998). Al sur de la bahía, los peces son más pequeños, por lo que se destaca la importancia de esta laguna para la crianza y protección de juveniles (Malpica-Maury 1999).

Las aves marinas son otro grupo representativo en estas playas. Solo en la ensenada al sur de la bahía, en el manglar El Conchalito y en la parte posterior de las playas, anidan 13 especies: garza azul (*Ardea herodias*), garza chapulinera (*Bubulcus ibis*), garza roja (*Egretta rufescens*), garcita blanca (*E. thula*), garza tricolor (*E. tricolor*), garzita azul (*E. caerulea*), pedrero de antifaz (*Nyctanassa violacea*), pedrero blanco (*Nycticorax nycticorax*), ibis blanco (*Eudocimus albus*), garza raicera (*Butorides striata*), ralo (*Rallus limicola*), tildillo de Wilson (*Charadrius wilsonia*) y golondrina marina de California (*Sterna antillarum*).

Otras especies de aves representativas son las tijeretas (*Fregata magnificens*) y los pájaros bobos (*Sula nebouxi*), así como gaviotas, aves playeras y pelícanos. En los últimos años, se ha observado una disminución gradual en el éxito reproductivo de aves acuáticas, principalmente de las garzas, lo cual puede asociarse al creciente desarrollo urbano en la zona (Becerril y Carmona 1997).

En las playas más alejadas de la ciudad, hacia las zonas B y final de la E (figura 3), se observan en el piso

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

de la playa madrigueras de cangrejos (*Uca brevifrons*, *U. princeps*, *Hemigrapsus oregonensis*, *Callinectes arcuatus*), madrigueras de camarones fantasma (*Neotrypaea* sp.), madrigueras de cangrejos hippidos (*Emerita analoga*, *Albunea lucasia*, *Lepidopa californica*), cangrejos ermitaños (*Pagurus* sp.), madrigueras de poliquetos (familias Onuphidae, Glyceridae, Phyllodocidae, Opheliidae, Capitellidae, Magelonidae y Spionidae; Chávez Hidalgo 2006), huellas de caracoles (*Neverita lewisii*, *Olivella* sp., *Oliva* spp., *Nassarius* sp., *Polinices* sp.), anémonas (*Isoaulactinia* sp., *Alicia beebei*), isópodos (géneros: *Excirolana*, *Cirolana*, *Tylos*, *Gnorimosphaeroma*, *Ligia*), anfípodos (géneros: *Orchestia*, *Talitrus*), nudibranquios (*Doriopsilla* sp., *Armina* sp.) y galletas de mar (*Melita* sp.). En las playas en la zona D, dichas especies se observan eventualmente por ser los ambientes más modificados e influenciados por las actividades humanas y la ciudad.

Salud de las playas

La salud de estas playas se relacionó con la ausencia de contaminantes o cualquier fuente de infección o polución. La mayoría poseen un tamaño de grano medio a muy grueso; cuanto más grueso es el sedimento, más rápida y profundamente penetran los contaminantes, con la posibilidad de alcanzar niveles debajo del nivel freático y causar una mayor contaminación en los mantos de agua costeros (Bernabeu *et al.* 2006, McLachlan *et al.* 2013). Por lo anterior, las playas de la bahía de La Paz corren un gran riesgo de contaminación sedimentaria por el incremento de actividades humanas y el tamaño de su arena. Aunque en la bahía se implementan acciones de limpieza de residuos sólidos en las playas más visitadas, dichas acciones no eliminan en la arena los contaminantes filtrados provenientes de los desechos de la ciudad de La Paz y de las instalaciones turísticas, portuarias, inmobiliarias, agropecuarias e industriales (Pérez-Tribouillier *et al.* 2015, Cruz-Falcón *et al.* 2018). El análisis de contaminantes fecales en las aguas de las playas se desarrolla de manera frecuente y, aunque se reporta salubridad en las playas del malecón por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), es común ignorar el análisis de contaminantes en la arena (SEMARNAT y CONAGUA 2010).

Microorganismos como las rafidofíceas y los dinoflagelados pueden llegar a representar un problema para la salud pública o para el bienestar de los ecosistemas costeros. Por las condiciones hidrológicas de la bahía de la Paz, es probable que estos microorganismos presenten futuros florecimientos tóxicos que pudieran repercutir en la salud del ecosistema y del ser humano (López Cortés *et al.* 2011).

Capacidad de carga física y valores de conservación y recreación

La capacidad de carga física se relacionó para este trabajo con la longitud, el ancho de la playa y particularmente con la extensión subaérea, que es la parte de la playa ubicada por encima de la marca de agua más alta, la cual se reconoce como una zona que se puede aprovechar en todo momento por los visitantes (Valdemoro y Jiménez 2006). Para soportar un gran número de usuarios, la playa debe poseer un buen acceso, largo y ancho, así como un espacio adecuado entre la orilla húmeda y las dunas o los servicios ofrecidos a los visitantes (Micallef y Williams 2009). En la bahía de La Paz, el número de visitantes de las playas aumenta durante la época cálida y la temporada vacacional, con lo cual se reduce el espacio mínimo necesario de confort alrededor de una persona, definido en 2 m (Micallef y Williams 2009).

Por otra parte, para la zona de dunas el mayor valor de conservación lo tienen los sistemas intactos, sin perturbaciones, con vegetación nativa bien desarrollada, y con un acoplamiento libre dunas-playas que incluye el intercambio de arena. Las dunas intervenidas con soluciones duras de ingeniería y desarrollo de infraestructura, o severamente perturbadas por la invasión de especies exóticas, representarían el valor de conservación más bajo por los impedimentos para el intercambio de arena entre las dunas. Asimismo, la abundancia de organismos observables a simple vista en el piso de playas saludables es mayor en situaciones de disipación del oleaje con arenas finas y más pobre en situaciones de playas con arenas gruesas, y mayormente propensas a reflejar el oleaje incidente (playas reflectivas).

Con base en estas tres medidas, se obtuvo el valor del Índice de Conservación (IC), propuesto por McLachlan y colaboradores (2013) y que cuenta

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

con una escala de 0 a 10, de manera ascendente de acuerdo con el valor de conservación (apéndice 58). Por su parte, para obtener los valores del Índice del Potencial de Recreación de una playa (IPR) fue necesario evaluar la infraestructura disponible para apoyar la actividad recreativa, el estado de salud y seguridad del ambiente de la playa, y la capacidad física o extensión de la playa. Una buena infraestructura considera la disponibilidad de accesos por carretera, estacionamientos amplios y entrada segura a la playa, así como instalaciones (p.e. baños, duchas, tiendas, restaurantes, atención de emergencias médicas). Asimismo, de acuerdo con los criterios de Short (1999) se identificó la seguridad de los bañistas en términos de condiciones peligrosas en el agua, utilizando una escala del 1 al 10, donde a mayor valor se incrementa la peligrosidad en función del grado de exposición al oleaje, lo que deriva en la formación de playas reflectivas de mayor pendiente y con sedimento grueso (apéndice 58).

Las valoraciones de conservación y recreación de las playas en la bahía de La Paz (derivadas de los índices IC e IPR), apuntan a que aquellas dentro de la zona B tienen un importante potencial de conservación; las de las zonas D y E actualmente tienen usos mixtos; mientras que las playas más alejadas de la ciudad en estas zonas fueron calificadas para uso recreativo (apéndice 58). Cabe señalar que las playas en Balandra son una excepción, y se recomienda su conservación por la presencia de una planicie y una zona intermareal extensa que funge como una fuente de organismos para otras playas (Torres-Alfaro 2010, Celentano *et al.* 2010, Flores Anaya 2017). Las playas con mayores valores en el IC fueron aquellas en las islas Espíritu Santo-La Partida y San Francisquito, San Gabriel, Punta Coyote y Punta Guano (figura 4).

En el extremo de recreación intensa se encuentra la playa Costa Baja en la zona D, la cual es más corta y sujeta a rellenos de arena, completamente transformada de una playa disipativa de baja pendiente a una playa reflectiva, y que actualmente corre riesgo de erosión por la presencia cercana de infraestructura hotelera y marina, que a su vez impide el intercambio natural de arena entre el ambiente marino y el terrestre. En el mismo escenario se encuentran las playas Coromuel y El Tecolote. La primera, es un centro recreativo de aproximadamente 300 m de

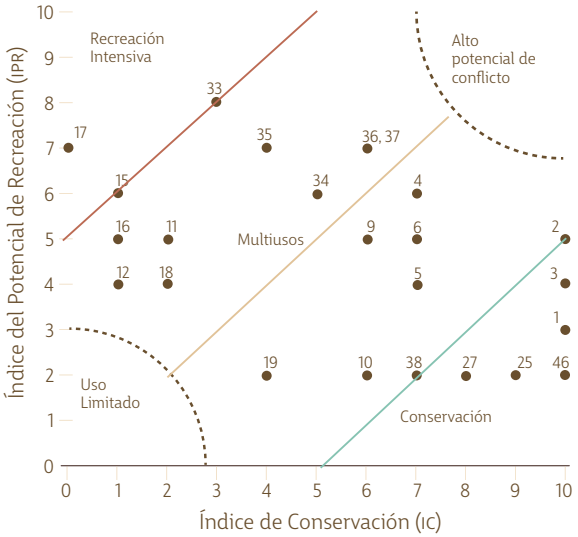


Figura 4. Gráfica para la caracterización y propuestas de uso de algunas playas arenosas de bahía de La Paz de acuerdo con los valores obtenidos en los índices de Conservación (IC) y Potencial de Recreación (IPR). Nota: para evitar la superposición de puntos y tener mayor claridad en la figura, varias playas fueron excluidas; para una descripción más detallada sobre la caracterización y propuestas de uso de cada playa, consultar apéndices 57 y 58. Fuente: elaboración propia.

extensión, por lo que está completamente modificada y tiene una pendiente reflectiva con uso intensivo todo el año por estar ubicada cerca de la ciudad (~2 km); mientras que la segunda tiene una amplia carretera de dos carriles que permite su acceso permanente desde la ciudad que se ubica a 14 km, además de contar con servicio de transporte público en horario regular.

El Tecolote es una playa recta y disipativa de aproximadamente 2 km de extensión, donde se asientan servicios de restaurante y diversión semipermanentes. Adicional a sus dimensiones, otra diferencia crítica para el uso de estas dos playas es la atención de riesgos para los usuarios por las distancias a recorrer y la protección de los bañistas. En el caso de Coromuel, por su tamaño, es fácil dar aviso de auxilio; mientras que en El Tecolote se dificulta la provisión de auxilio por las propias características del entorno (mayor lejanía, amplia extensión de la playa, escasez de servicio de atención hacia las orillas y ubicación en el paso de corrientes de entrada y salida de la bahía).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones y recomendaciones

La contaminación por las actividades humanas es el mayor riesgo para las playas de la bahía de La Paz, debido a que en la ciudad capital del estado, se ha promovido el desarrollo de nuevos asentamientos humanos, lo que ha incrementado la ocurrencia de eutrofización (aumento excesivo de nutrientes) de sus aguas, el florecimiento de microorganismos dañinos a la salud y la disminución de las poblaciones de organismos explotables como peces y almejas. A esta contaminación se suma la disminución de espacios de recreo para la población local, debido a cambios de uso del suelo para complejos turísticos exclusivos que aíslan a las playas del resto de la población. Además, las opciones de diversión se encaminan al exceso en el consumo de sustancias como alcohol y tabaco, aunado a la apertura prioritaria de centros nocturnos y casinos.

En general, las playas en La Paz son públicas y deben permanecer así, pues son áreas de recreo económicas que permiten a la población de escasos recursos una puerta de acceso a la salud por esparcimiento y convivencia familiar. Igualmente, se reconoce la relevancia de la recreación en la población de la ciudad, la cual es necesaria por tratarse de una población alejada del continente en el territorio peninsular. No obstante, el conocimiento público de los diferentes elementos físicos y biológicos que permiten la presencia de las playas en la bahía es muy escaso, y por ello es apremiante crear conciencia para establecer alertas tempranas en puntos críticos donde se evite la perdida de los servicios ambientales que las playas proporcionan.

La promoción de este conocimiento y el compromiso de seguir las recomendaciones que de ellos deriven, es una responsabilidad compartida entre la sociedad, el gobierno, los turistas y los empresarios.

Referencias

Álvarez-Borrego, S., J.A. Riviera, G. Gaxiola-Castro *et al.* 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5:53-71.

Becerril, M. y R. Carmona. 1997. Anidación de aves acuáticas en la ensenada de La Paz, Baja California Sur, México (1992-1994). *Ciencias Marinas* 23(2):265-271.

Bernabeu, A.M., M. Nuez de la Fuente, D. Rey *et al.* 2006. Beach morphodynamics forcements in oiled shorelines: coupled physical and chemical processes during and after fuel burial. *Marine Pollution Bulletin* 52(10):1156-1168.

Cariño-Olvera, M. y M. Monteforte. 1999. *El primer emporio perlero sustentable del mundo. La Compañía Criadora de Concha y Perla de Baja California S.A. y perspectivas para Baja California Sur*. CONACULTA/FONCA/UABCS, México.

Celentano, E., N.L. Gutiérrez y O. Defeo. 2010. Effects of morphodynamic and estuarine gradients on the demography and distribution of a sandy beach mole crab: implications for source-sink habitat dynamics. *Marine Ecology Progress Series* 398:193-205.

Chávez Hidalgo, A. 2006. *Comunidad de poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la zona intermareal en el "Mogote" bahía de la Paz, BCS, México*. Tesis de licenciatura. UABCS, Baja California Sur.

Cruz-Falcón, A., E. Troyo-Diéguez, J.M. Murillo-Jiménez *et al.* 2018. Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz, Baja California Sur, México. *Terra Latinoamericana* 36(1):39-48.

Cruz-Orozco, R.C., C. Martínez-Noriega y A. Mendoza-Maravillas. 1996. Batimetría y sedimentos de la bahía de La Paz, BCS. *Oceánides* 11(1):21-27.

Defeo, O., A. McLachlan, D. Schoeman *et al.* 2009. Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81:1-12.

Díaz-Garcés, J.J. 1972. Cultivo experimental de madreperla *Pinctada mazatlanica* Hanley, 1856, en bahía de La Paz, BCS, México. En: *Memorias del IV Congreso Nacional de Oceanografía*. J. Carranza (ed.). UCSD, México, pp. 429-442.

Flores Anaya, R.J. 2017. *Variaciones en la condición, abundancia y talla de los peces sublitorales en tres playas de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de licenciatura. Universidad de Occidente, México.

Galván-Piña, V.H. 1998. *Estructura de la comunidad de peces capturada con redes agallera y charalera en bahía de La Paz, BCS*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

López Cortés, D.J., C.J. Band Schmidt, I. Gárate Lizárraga *et al.* 2011. Co-ocurrencia de *Chattonella marina* y *Gymnodinium catenatum* en la bahía de La Paz, golfo de California (primavera 2009). *Hidrobiológica* 21(2):185-196.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

López Rocha, J.A., B.P. Ceballos Vázquez, F.A. García Domínguez *et al*. 2010. La pesquería de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) en Baja California Sur, México. *Hidrobiológica* 20(3):230-237.

Malpica-Maury, O.M. 1999. *Ictiofauna de la Ensenada de La Paz, BCS, México*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

Martínez, A.T. 1983. *Prospección de los bancos de madreperla en el golfo de California de 1962 a 1965*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.

McLachlan, A., O. Defeo, E. Jaramillo y A.D. Short. 2013. Sandy beach conservation and recreation: guidelines for optimising management strategies for multi-purpose use. *Ocean and Coastal Management* 71:256-268.

Micallef, A. y A. Williams. 2009. *Beach management: principles and practice*. Routledge, Reino Unido.

Monteforte, M. 1996. Cultivo de ostras perleras y perlicultura. En: *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. M. Casas-Valdez y G. Ponce-Díaz (eds.). SEMARNAP/Gobierno del Estado/UABCS/CIBNOR/CICIMAR/CRIP/CET del Mar, La Paz, pp. 571-613.

Nava-Sánchez, E.H., D.S. Gorsline y A. Molina-Cruz. 2001. The Baja California Península borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sedimentary Geology* 144:63-82.

Pedrín Avilés, S., G. Padilla Arredondo, E. Díaz Rivera *et al*. 1990. Estratigrafía del Pleistoceno superior-Holoceno en el área de la laguna costera de Balandra, estado de Baja California Sur. *Instituto de Geología-UNAM* 9:170-176.

Pérez-Tribouillier, H., E. Shumulin y G.M. Rodríguez-Figueroa. 2015. Trace elements in the marine sediments of the La Paz lagoon, Baja California Peninsula, Mexico: pollution status in 2013. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 95:61-66.

Romero López, B.E. 2004. *Flora, clasificación y ordenación de la vegetación de la barra arenosa El Mogote, Baja California Sur*. Tesis de maestría. CIBNOR, La Paz.

Saucedo, P.E., A. Olivera, A. Sierra-Beltrán *et al*. 2019. Cultivo primario de células de manto de la madreperla *Pinctada mazatlanica*, con potencial aplicación en el cultivo de perlas. *Hidrobiológica* 29(1):1-7.

SEMARNAT y CONAGUA. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. 2010. *Manual de organización y operación de los comités de playas limpias de México*. SEMARNAT/CONAGUA, México.

SEMARNAT y CONANP. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2016. *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Balandra*. SEMARNAT/CONANP, México.

Short, A.D. 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Wiley, Nueva Jersey.

Torres-Alfaro, G.M. 2010. *Ecología de la taxocenosis de peracáridos macrobentónicos en playas arenosas protegidas: análisis multiescala de los patrones ecológicos y consideraciones para su manejo sustentable*. Tesis de doctorado. CIBNOR, La Paz.

UICN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2005. *World heritage nomination - IUCN technical evaluation. Islands and protected areas of the Gulf of California*. IUCN, Mexico.

Valdemoro, H.I. y J.A. Jiménez. 2006. The influence of shoreline dynamics on the use and exploitation of Mediterranean tourist beaches. *Coastal Management* 34(4):405-423.

Vázquez Hurtado, M., M. Manzano Sarabia y A. Ortega Rubio. 2011. Relación entre las capturas de *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) y la temperatura superficial del mar en la Bahía de la Paz, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 59(1):151-157.

Velasco García, J.A. 2009. *Ambientes geológicos costeros del litoral de la bahía de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

Whitehead, D.A., U. Jakes-Cota, F. Galván-Magaña *et al*. 2020. Composition and abundance of macro zooplankton in the coastal waters off the El Mogote Sandbar. *Hidrobiológica* 30(1):21-27.

Wright López, H., O. Holguín Quiñones, F. Arreguín Sánchez e I. Roque-Villada. 2009. Crecimiento y mortalidad de la madreperla *Pinctada mazatlanica* en poblaciones naturales del litoral oriental de Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 57(1-2):53-61.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Alacranes y su importancia en la conservación

María Luisa Jiménez Jiménez y Carlos Palacios Cardiel

Introducción

Los alacranes son arácnidos (que pertenecen a la misma clase que las arañas) que conforman un grupo abundante, principalmente en los ecosistemas áridos y semiáridos; aunque también se encuentran en bosques, pastizales, altas montañas, áreas tropicales, subtropicales y cuevas profundas. A nivel mundial hay 2 877 especies agrupadas en 235 géneros y 24 familias (Rein 2017). En México, están representados por 8 familias, 38 géneros y 310 especies (Ponce-Saavedra *et al.* 2022), que en conjunto representan más de 10.8% de la diversidad mundial.

A escala global, la Península de Baja California es la región con mayor diversidad para el grupo, con 69 especies (Sissom y Hendrixson 2005), de las cuales 75% son endémicas (Williams 1980). Los niveles más altos de endemismo se observan en los Llanos de La Magdalena (90%), región del Cabo (87%), Provincia volcánica (equivalente a la región de Sierra La Giganta, 80%) e islas adyacentes (76%; Williams 1980). Sin embargo, la riqueza más alta de alacranes se encuentra entre Loreto y La Paz (Due y Polis 1985). Es por esta razón que Baja California Sur, junto con las costas de Guerrero, Istmo de Tehuantepec, Valle Central de Oaxaca, el Valle de Cuicatlán-Tehuacán y la Península de Yucatán se consideran en México como regiones biogeográficas de alta biodiversidad (Sridhara *et al.* 2016).

En la Península de Baja California los alacranes son muy abundantes, y bajo condiciones favorables pueden alcanzar densidades de 8-12 individuos/m^2, como en el caso del alacrán del litoral (*Serradigitus littoralis;* Polis 1990); mientras que el alacrán choyero (*Centruroides exilicauda*, figura 1) se reporta con poblaciones numerosas en playas, islas del golfo de California y en 35 sitios en la parte sur del territorio estatal (Williams 1971). Por esta gran abundancia, en el desierto de la península –al igual que en los de Namibia y California– los alacranes desempeñan una función ecológica sustancial (p.e. control natural de poblaciones de otros artrópodos, alimento para algunos vertebrados, e intervención en procesos de fragmentación biológica y ciclos de nutrientes; Augusto *et al.* 2006).

Importancia

Aunque pocas especies son de importancia médica, los alacranes son temidos y repudiados, y no se les considera para su conservación. Sin embargo, las especies endémicas pueden ser amenazadas por el cambio o destrucción de su hábitat, causado por prácticas agrícolas o de urbanización, que contribuyen a que estas especies desaparezcan, y otras oportunistas

Jiménez-Jiménez, M.L. y C. Palacios-Cardiel. 2025. Alacranes y su importancia en la conservación. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 442-447.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Hembra de alacrán choyero (*Centruroides exilicauda*) en Baja California Sur. Foto: Carlos Palacios.

ocupen su lugar (Sissom y Hendrixson 2005). Por ejemplo, al este de Brasil disminuyó la abundancia de *Tityus stigmurus* debido a la urbanización y aumentó considerablemente la de *T. serrulatus*, una especie peligrosa para el ser humano (Lourenço y Cloudsley-Thompson 1996). En México, por la gran plasticidad ecológica de los alacranes del género *Centruroides* y la alta toxicidad de algunas de sus especies, la destrucción de su hábitat puede aumentar su presencia en otros ambientes (p.e. ciudades) a causa de las actividades antropogénicas (Sissom y Hendrixson 2005).

Alacranes en los oasis

En cuanto a los estudios sobre taxonomía y sistemática, la fauna de alacranes en la Península de Baja California es la mejor conocida de México (Williams 1980, Sissom y Hendrixson 2005, Graham *et al*. 2014, Santibáñez-López *et al*. 2016); sin embargo, son pocos los estudios relacionados con su historia natural, conducta, ecología y evaluación para su conservación. Jiménez y Palacios-Cardiel (2010) realizaron uno de los estudios mencionados en seis oasis de la entidad (figura 2), donde documentaron la composición, riqueza y biodiversidad de los alacranes como posibles indicadores del estado de conservación de estos hábitats. Al respecto, registraron 15 especies, 9 géneros y 5 familias, con una gran riqueza y diversidad (cuadro 1), mayor que la reportada por Fet y colaboradores (1998) para otras localidades en Baja California y California.

Los oasis más similares en cuanto a su composición y diversidad fueron los situados en las localidades de San Isidro-La Purísima y San José de Comondú (municipio de Comondú); y presa Buena Mujer y El Novillo (La Paz); San Pedrito-Todos Santos, un oasis costero, fue el más disímil. En estos ambientes se observó que *Kochius bruneus* fue muy abundante en los oasis norteños con alta afinidad hacia los ambientes húmedos; mientras que *K. punctipalpi* y *Hadrurus hirsutus* fueron más comunes en los ambientes xéricos (áridos).

En general, *Centruroides exilicauda* (de importancia médica) fue la especie más abundante, pues es especie ecológicamente muy tolerante y puede encontrarse bajo rocas, suelos arenosos, hojarasca, troncos y ramas de matorrales y árboles, o entre las bases de las hojas (brácteas) de las palmas datileras. Sin embargo, hay otras especies altamente especializadas como *Syntropis macrura* (figura 3) que habita en grietas de rocas fracturadas y altos paredones.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

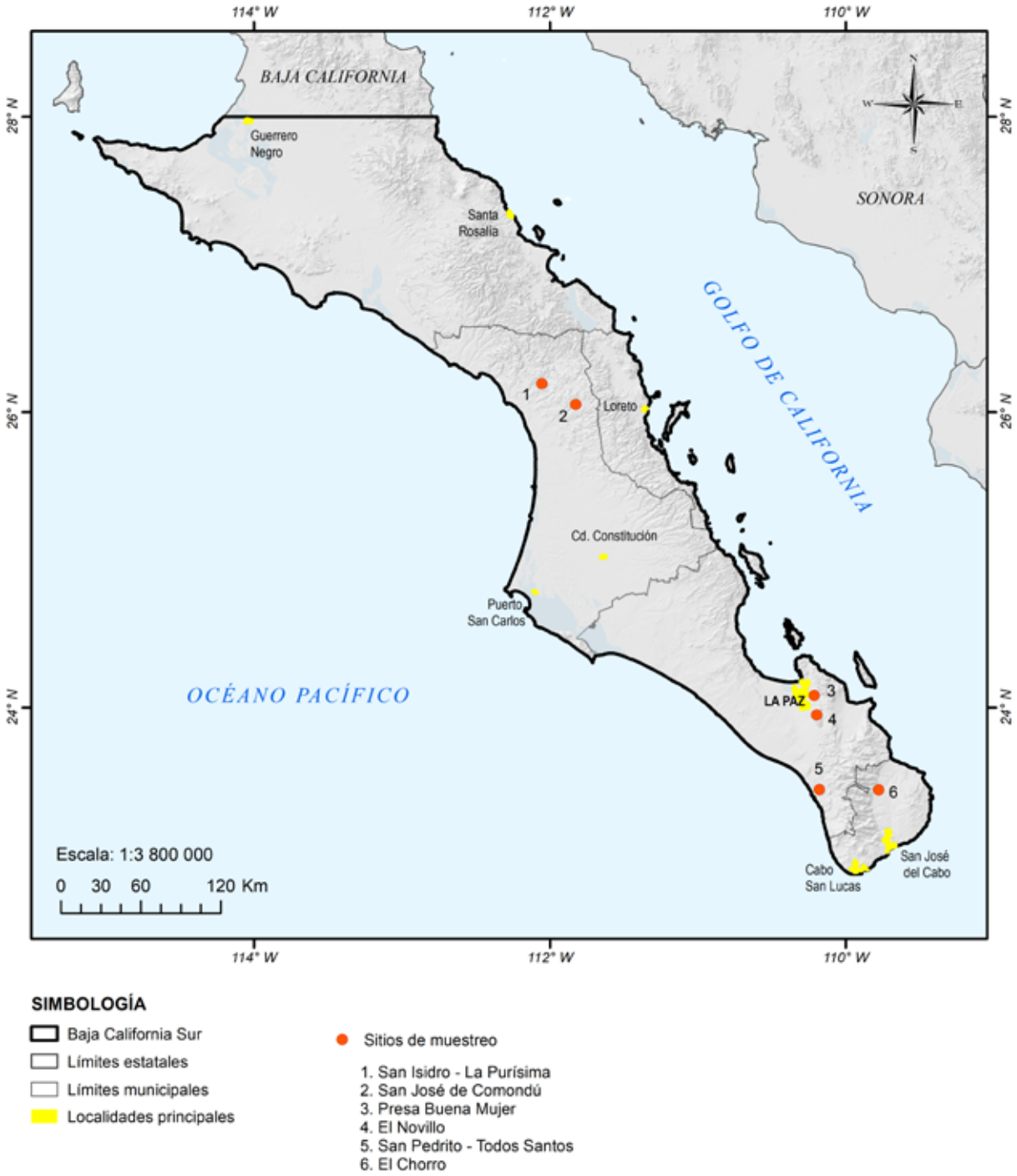


Figura 2. Registro de alacranes en seis oasis de Baja California Sur. Fuente: elaboración propia con datos de Jiménez y Palacios-Cardiel 2010.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Censo de alacranes en seis oasis de Baja California Sur.

Familia/especies	Oasis						Total
	San Isidro - La Purísima	San José de Comondú	Presa Buena Mujer	El Novillo	San Pedrito-Todos Santos	El Chorro	
Buthidae							
Centruroides exilicauda	73	112	27	96	5	137	450
Diplocentridae							
Bioculus comondae	10	2	2	3			17
Hadruridae							
Hadrurus hirsutus			56	38		24	118
H. arizonensis	1						1
H. concolorous	11	2					13
Chactidae							
Nullibrotheas allenii	11	19	4	2		3	39
Vaejovidae							
Kochius punctipalpi			79	76	80	72	307
K. bruneus	87	182					269
Maaykuyak vittatus	5	30	18	46		7	106
Paravaejovis diazi			20	12	8	9	49
P. eusthenura	9	10	21	12		6	58
P. gravicaudus	34	10					44
P. puritanus	2						2
Serradigitus gertschi	1	1					2
Syntropis macrura	8	3					11
Total	**252**	**371**	**227**	**285**	**93**	**258**	**1 486**

Fuente: elaboración propia con datos de Jiménez y Palacios-Cardiel 2010.

Por su parte, *K. punctipalpi* solamente estuvo presente en suelos arenosos y rocosos en los oasis del sur; mientras que *Hadrurus concolorus* reside en madrigueras del suelo en los oasis del norte. En todos los oasis las poblaciones de alacranes variaron de acuerdo con la estación del año, pero después del paso de dos huracanes por la península, se observó un incremento considerable en sus poblaciones.

Cada oasis tuvo especies dominantes: en San Isidro-La Purísima y San José de Comondú *K. bruneus bruneus*, *K. bruneus loretoensis* y *C. exilicauda* fueron más abundantes de mayo a octubre; mientras que en la presa Buena Mujer y El Novillo, *Maaykuyak vittatus y K. punctipalpi* estuvieron presentes casi todo el año. El éxito de la comunidad de alacranes en la mayoría de estos ambientes se relaciona con su gran adaptabilidad al ocupar un amplio rango de microhábitats por sus estrategias tróficas.

La gran diversidad de alacranes en los oasis sugiere que –con excepción de San Pedrito-Todos Santos que está bajo la influencia marítima– estos oasis son ambientes bien conservados, debido a que no están severamente impactados por la actividad antropogénica. Este estudio junto con otros sobre flora y fauna sirvieron para que algunos oasis como San José de Comondú fueran incluidos en la lista internacional de sitios Ramsar de humedales de importancia internacional.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 3. Hembra de *Syntropis macrura* en Baja California Sur. Foto: Carlos Palacios.

Conclusiones

Desafortunadamente, existe una gran escasez de datos biológicos de los alacranes, pues son pocas las especies que han sido estudiadas para entender la dinámica de sus poblaciones (Sissom y Hendrixson 2005). Por otro lado, existe una gran preocupación sobre las especies que son capturadas ilegalmente para su venta en el mercado negro, principalmente las de gran tamaño como las del género *Hadrurus* (figura 4) de Baja California Sur, el norte de México y sur de Estados Unidos de América. A pesar de que no está documentado, se sabe que todas ellas son capturadas para venderlas como mascotas o para la industria farmacéutica; desafortunadamente no hay datos y si esto tiene un impacto en sus poblaciones. Sería grave que corrieran con la misma suerte que *Pandinus imperator*, el alacrán africano cuya población disminuyó drásticamente después de que fueron capturados 105 mil individuos en dos años en el oeste de África (Sissom y Hendrixson 2005). En otros países, los alacranes junto con otros arácnidos son importantes para la identificación de áreas de endemismo; por ello, en Baja California Sur este grupo de artrópodos debe considerarse en los estudios integrales de conservación de especies endémicas, además de monitorear sus poblaciones dentro de los hábitats particulares donde se distribuyen.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 4. Hembra de *Hadrurus hirsutus* en Baja California Sur. Foto: Carlos Palacios.

Referencias

Augusto, P., C.I. Mattoni, J. Pizarro-Anaya *et al*. 2006. Comunidades de escorpiones (Arachnida: Scorpiones) del desierto costero transicional de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 79:407-421.

Due, A.D. y G.A. Polis. 1985. Biology of the intertidal scorpion, *Vaejovis littoralis*. *Journal of Zoology* 207:563-80.

Fet, V., G.A. Polis y W.D. Sissom. 1998. Life in sandy deserts: the scorpion model. *Journal of Arid Environments* 39:609-622.

Graham, M., R.R.W. Bryson y B.R. Riddle. 2014. Late Pleistocene to Holocene distributional stasis in scorpions along the Baja California Peninsula. *Biological Journal of the Linnean Society* 111(2):450-461.

Jiménez, M.L. y C. Palacios-Cardiel. 2010. Scorpions of desert oases in the southern Baja California Peninsula. *Journal of Arid Environments* 74:70-74.

Lourenço, W.R. y J.L. Cloudsley-Thompson. 1996. Effects of human activities on the environment and on the distribution of dangerous species of scorpions. En: *Envenomings and their treatments*. C. Bond y M. Goyffon (eds.). Fondation Marcel Merieux, Francia, pp. 49-60.

Polis, G.A. 1990. Ecology. En: *The biology of scorpions*. G.A. Polis (ed.). Stanford University Press, EUA, pp. 247-293.

Ponce-Saavedra, J., J.W. Linares-Guillén y A.F. Quijano-Ravell. 2022. Una nueva especie de alacrán del género *Centruroides* Marx (Scorpiones: Buthidae) de la costa noroeste de México. *Acta Zoológica Mexicana* 38:1-24.

Rein, J.O. 2017. *The scorpion files. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology*. En: <https://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/>, última consulta: 24 de noviembre de 2024.

Sissom, W.D. y B.E. Hendrixson. 2005. Scorpion biodiversity and patterns of endemism in Northern Mexico. En: *Biodiversity, ecosystems, and conservation in Northern Mexico*. J.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger (eds.). Oxford University Press, Reino Unido, pp. 122-137.

Sridhara, S., A.K. Chakravarthy, V. Kalarani y D.C. Reddy. 2016. Diversity and ecology of scorpions: evolutionary success through venom. En: *Arthropod diversity and conservation in the tropics and sub-tropics*. A.K. Chakravarthy, S. Sridhara (eds.). Springer Nature, India, pp. 57-80.

Williams, S.C. 1971. In research of scorpions. *Pacific Discovery* 24(3):1-10.

—. 1980. Scorpions of Baja California, México and adjacent islands. *Occasional Papers of the California Academy of Sciences* 135:1-27.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conservación de reptiles en el archipiélago Espíritu Santo

María del Carmen Blázquez Moreno, Cintia Lucero Oropeza Bueno, Gustavo Alberto Arnaud Franco y Alfredo Ortega Rubio

Introducción

Entre los ecosistemas terrestres considerados frágiles se encuentran los desiertos, las tierras semiáridas, los manglares y las islas. Las comunidades isleñas, que viven en un delicado equilibrio, logrado por coevolución durante milenios, suelen presentar niveles moderados de riqueza de especies y diversidad comparadas con las comunidades continentales, además de un alto nivel de endemismo (Case 2002, Lovich *et al.* 2009). Las especies que viven en las islas suelen ser altamente especializadas, y usualmente carecen de estrategias para enfrentar a otras provenientes de diferentes ecosistemas, ya sean depredadores o competidores. Las amenazas que las acciones humanas representan para las especies insulares se clasifican en tres categorías:

1. Introducción de especies exóticas, que actúan como depredadores, competidores o transmisores de enfermedades a las especies insulares, y alteran el equilibrio ecológico de la isla y a veces incluso extinguen especies endémicas.
2. Extracción indiscriminada de especies de flora y fauna para venta como mascotas u otros usos (p.e. coleccionistas científicos o particulares, extracción de venenos, pieles, entre otros).
3. Presencia masiva y continuada de visitantes que puede afectar el comportamiento, el uso del hábitat, las horas de actividad y el estado de salud de especies de islas por suplemento de alimentos exógenos o por transmisión de enfermedades (Amo *et al.* 2006, French *et al.* 2010).

Las islas del golfo de California se consideran uno de los ecosistemas insulares menos perturbados del mundo, por lo que representan uno de los pocos laboratorios naturales que aún existen para estudiar coevolución y adaptación. La mayoría de las islas no están habitadas permanentemente, pero son visitadas regularmente por pescadores y turistas. Los recursos geológicos, biológicos y estéticos que brindan, constituyen uno de los mayores capitales naturales y económicos del país (López-Espinosa de los Monteros 2002, Hernández-Trejo *et al.* 2012, Olmos-Martínez *et al.* 2015). Las islas suponen una fuente de riqueza para los estados de los que forman parte. Las actividades antropogénicas provocan presión y se dan principalmente sobre la zona costera insular, por lo que es importante establecer una línea base de conocimiento de ese ecosistema concreto, para el manejo adecuado del área (SEMARNAT y CONANP 2000).

Blázquez, M.C., C.L. Oropeza-Bueno, G. Arnaud y A. Ortega-Rubio. 2025. Conservación de reptiles en el archipiélago Espíritu Santo. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 448-456.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

El archipiélago Espíritu Santo es, por su cercanía a la ciudad de La Paz, quizás el conjunto de islas más visitado de todo el golfo de California. En su punta norte existe una colonia de lobos marinos de California, en un enclave de gran belleza subacuática y este punto es muy visitado para realizar actividades de nado, esnórquel y buceo recreativo. Además, sus costas oeste y sur las conforman una serie de pequeñas bahías y ensenadas de fácil acceso y gran belleza escénica que atraen muchos visitantes. Las actividades más frecuentes son fondeo de embarcaciones, kayak, campismo, día de playa, nado y esnorqueleo (SEMARNAT y CONANP 2006, 2014). Asimismo, las islas del archipiélago son visitadas regularmente por pescadores deportivos y artesanales que establecen campamentos temporales en las bahías.

En este contexto, el presente trabajo buscó determinar la abundancia y diversidad de reptiles en la zona costera de las islas Espíritu Santo y La Partida, además de evaluar el uso que los reptiles hacen de ésta, para establecer una línea base de conocimiento. Adicionalmente, se determinó si existen diferencias en la abundancia y diversidad de reptiles en las playas, que pudieran ser atribuibles a la presencia humana. Al respecto, se planteó como hipótesis que, en condiciones de no disturbio, la abundancia y diversidad de especies serían similares en todas las playas estudiadas, y se relacionarían con el tipo de hábitat. Además, se consideró que la presencia humana no afectaría a la abundancia de todas las especies por igual, por lo que en condiciones de disturbio, la condición corporal de la especie más abundante sería un indicador de si es o no favorecida por la presencia humana.

Condiciones físicas del entorno

El archipiélago Espíritu Santo se divide en tres partes: la isla Espíritu Santo, La Partida y una serie de islas menores (La Ballena, El Gallo y La Gallina) e islotes (figura 1). La isla de Espíritu Santo en promedio mide 15 km de largo y 9 km de ancho; mientras que La Partida tiene una longitud máxima de 7 km y un ancho de 4.5 km. Ambas están separadas entre sí por un estrecho canal que se seca en mareas bajas (SEMARNAT y CONANP 2006).

La costa oeste de la isla Espíritu Santo se caracteriza por una serie de indentaciones (entrantes), que se han desarrollado a través de los planos de fractura (valles pequeños), y que han permitido la formación de playas y comunidades de manglar, así como la presencia de islotes. Algunos de los valles más bajos han desarrollado suelos profundos donde se asienta un cardonal bien desarrollado, o bien salitrales, manglares y esteros; no así en la costa este que es más continua y elevada (SEMARNAT y CONANP 2000).

La temperatura promedio anual máxima es de 30°C al final del verano, y la mínima anual es de 17°C al inicio del invierno, con una oscilación media de 12.8°C. La humedad relativa anual promedio fluctúa de 66 a 72%. Se presenta un régimen de lluvias en verano, con una precipitación total anual de 220 mm, con septiembre como el mes más lluvioso por la presencia de ciclones tropicales (Angeloni del Castillo 2003, Cervantes Villegas 2012, SEMARNAT y CONANP 2014). La evaporación promedio anual se encuentra entre 2 150 y 2 387 mm, lo cual excede los valores de precipitación y ocasiona un clima árido o desértico (García 1998).

El archipiélago Espíritu Santo fue incorporado en 1996 al área natural protegida (ANP) Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California. En 2005, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), integró a todas las islas del golfo de California en el listado de Sitios de Patrimonio Mundial Natural (SEMARNAT y CONANP 2014).

Influencia de las actividades humanas y evaluación de reptiles

La isla Espíritu Santo, fue habitada en tiempos históricos por pobladores pericúes. Entre los siglos XVI al XVIII se potenció el interés por los sitios perleros, y en 1903 se fundó en ella, la compañía criadora de concha de perla de la Baja California. En 1914, las instalaciones de la compañía fueron saqueadas y destruidas por el Ejército Constitucionalista.

Actualmente, la isla Espíritu Santo está deshabitada salvo por algunos pescadores y algunas empresas turísticas que establecen campamentos casi permanentes, durante varios meses. Por su parte, en La Partida hay un asentamiento permanente para pescadores y para el personal de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) que ejerce labores de vigilancia. El resto del archipiélago está deshabitado (SEMARNAT y CONANP 2000).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

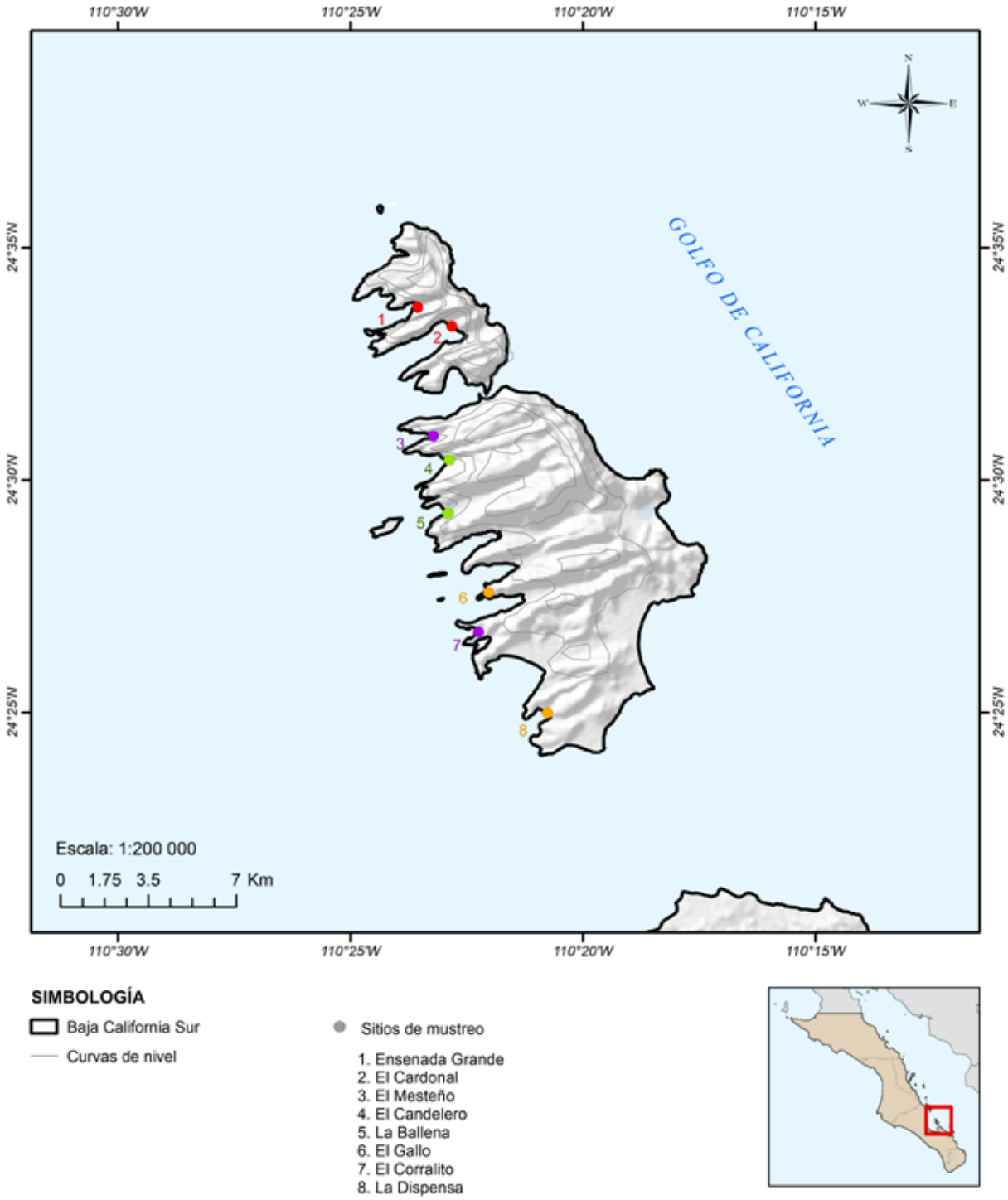


Figura 1. Archipiélago Espíritu Santo y sitios de muestreo. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Para este trabajo, se seleccionaron ocho playas en el lado oeste del archipiélago, distribuidas a lo largo de las islas La Partida y Espíritu Santo, de norte a sur fueron: Ensenada Grande, El Cardonal, El Mesteño, El Candelero, La Ballena, El Gallo, El Corralito y La Dispensa (figura 1). En ellas se dan todos los usos humanos permitidos en el ANP, entre los que se incluyen campamento casi permanente de turistas, campamento de pescadores, kayak con pernocta y uso recreativo de la playa para nado y asoleamiento durante el día. *A priori*, se eligieron playas similares en hábitat pero con diferente uso, que se emparejaron en cuatro grupos (figura 1):

- Rojo: Ensenada Grande (con alto uso) y El Cardonal (con bajo uso).
- Morado: El Mesteño (con alto uso) y El Corralito (con bajo uso).
- Verde: El Candelero (con alto uso) y La Ballena (con bajo uso).
- Amarillo: El Gallo (con alto uso) y La Dispensa (con bajo uso).

El estudio se realizó durante los meses abril a octubre de 2015. Se efectuaron censos mensuales durante dos días consecutivos en cada playa durante estos seis meses, en la franja costera (hasta 200 m hacia adentro de la línea de marea) a lo largo del día. Se estimaron parámetros de abundancia, riqueza y diversidad de especies de lagartijas diurnas a través del índice de Shannon-Wiener (H'), y se caracterizó el hábitat utilizado por las especies en cada playa. Se tomaron medidas de peso y longitud de la especie más abundante (*Uta stansburiana*: Phynosomatidae), para comparar su condición física entre las distintas playas. Para determinar el uso del hábitat que hacen las lagartijas, se consideraron las siguientes variables: el tipo de sustrato en donde se encontraba cada organismo (arena, roca, vegetación), el tipo de la cobertura más cercana (especie de planta o si era una roca), la distancia a la cobertura más cercana en metros y la distancia aproximada al mar en metros.

Abundancia

Se registraron un total de 1 022 lagartijas, pertenecientes a 10 especies; así como 9 serpientes pertenecientes a 4 especies. De las especies de lagartijas, 6 son endémicas a la península, 5 de ellas listadas en la NOM-059 (SEMARNAT 2010). Por su parte, todas las especies de serpientes se encuentran en dicha norma, una es endémica al archipiélago, y dos a la península. El número medio de reptiles por censo varió entre 22.43 y 14.78 individuos y no hubo diferencias significativas en la abundancia entre playas ($F_{1,7} = 0.84$, $P > 0.05$; cuadro 1).

No obstante, si se encontraron diferencias significativas de abundancia entre las especies ($F_{1,12} = 38.74$, $P < 0.000$). La especie más abundante de lagartijas en todas las playas fue *U. stansburiana* con una estimación de 13 ind/ha en El Gallo, y los valores más bajos fueron en La Ballena con 5 ind/ha. La segunda especie más abundante fue *Callisaurus draconoides* con un máximo de 6.25 ind/ha en La Dispensa, y un mínimo de 1.14 ind/ha en El Candelero y El Mesteño (figura 2).

Cuatro especies se encontraron en todas las playas: *Aspidoscelis hyperythrus* (endémica a la península), *A. tigris*, *C. draconoides* (amenazada conforme a la NOM-059) y *Urosaurus nigricauda* (amenazada y endémica a la península). En las islas habitan dos lagartijas espinosas del género *Sceloporus* del grupo *magister*. Ambas son endémicas a la península y se encuentran en la categoría de amenazada dentro de la NOM-059 (SEMARNAT 2010): *S. hunsakery* que fue encontrada en seis playas y *S. zosteromus* en siete (figura 2). La lagartija de las rocas (*Petrosaurus thalassinus*), que es endémica a la península, se encontró en cuatro

Cuadro 1. Abundancia de lagartijas en las playas de las islas La Partida y Espíritu Santo en el periodo de abril a octubre de 2015.

Playas	Total de individuos	Lagartijas promedio por muestreo (1 hr)
Ensenada Grande	118	16.86 ± 3.12
El Cardonal	133	14.78 ± 2.00
El Mesteño	119	17 ± 2.73
El Candelero	109	15.57 ± 2.19
La Ballena	106	15.41 ± 1.54
El Gallo	132	18.9 ± 4.38
El Corralito	157	22.43 ± 4.43
La Dispensa	148	16.44 ± 2.82

Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

playas. Esta especie no está listada en la NOM-059. Por su parte, las especies menos abundantes, encontradas solo en tres de las ocho playas, fueron dos de la familia Iguanidae: *Sauromalus ater* (=*obesus*), endémica de la península y clasificada como amenazada en la normatividad nacional, y *Dipsosaurus dorsalis*; ambas son principalmente herbívoras.

En cuanto a las serpientes, la más abundante fue *Coluber barbouri* que es una especie endémica al archipiélago y que se clasifica como amenazada en la NOM-059. De esta especie se registraron ejemplares en El Cardonal (2), El Gallo (1) y La Dispensa (1). Asimismo, se documentaron individuos de *Coluber flagellum* en La Ballena (2) y La Dispensa (1); esta especie también es considerada endémica y listada como amenazada. Entre los vipéridos se halló un ejemplar de *Crotalus mitchellii* en El Cardonal y uno de *Crotalus enyo* en El Candelero, esta última endémica a la península. Ambas especies se encuentran en la categoría de amenazada.

Riqueza y diversidad de especies

La riqueza varió entre 7 y 10 especies por playa, y no hubo diferencias significativas entre sitios (X^2 test = 0.70, g.l. = 7, P > 0.05). El número promedio de especies encontradas por censo varió significativamente entre playas ($F_{1,7}$ = 2.42, P = 0.03) y osciló entre 3.8 ± 0.5 y 5.7 ± 0.5. El Mesteño, El Candelero y La Ballena fueron las playas en las que mayor número de especies se encontraron por censo. La diversidad fue baja, ya que los valores del índice de Shannon-Wiener variaron entre H' = 1.29 en Ensenada Grande y H' = 1.84 en La Ballena, y no hubo diferencias significativas en la diversidad entre playas. Asimismo, no se encontraron diferencias en abundancia o riqueza entre las playas con diferente grado de uso humano

No hubo diferencias entre el número de ejemplares encontrados en cada playa (x = 64.4 ± 21.2), (X^2 test = 5.12, g.l. = 7, P > 0.05), ni en la condición corporal promedio de los individuos entre las playas ($F_{7,33}$ = 1.49, P > 0.05). A pesar de la alta abundancia de *U. stansburiana* en El Gallo, este dato no se relaciona con el alto uso humano del lugar, debido a que la especie fue la más abundante en todas las playas (incluyendo aquellas con bajo uso).

Uso del hábitat

Algunas de las especies son especialistas de hábitat como *P. thalassinus*, *S. ater* o *Sceloporus* spp. que prefieren lugares con rocas. Otras son típicamente habitantes de arena como *C. draconoides* y *D. dorsalis*. El resto de las especies puede utilizar tanto rocas

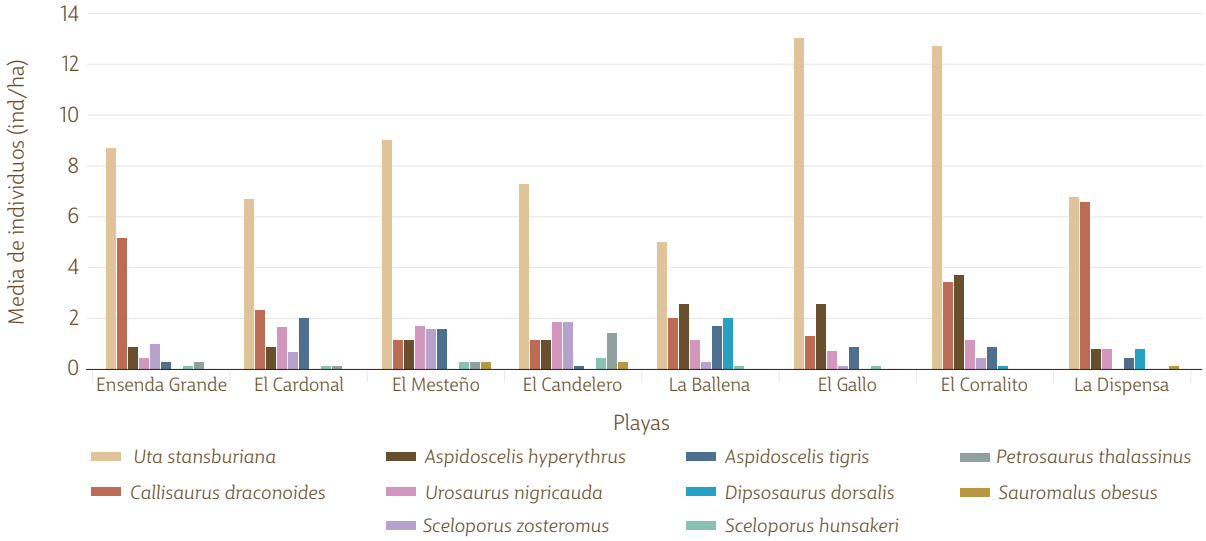


Figura 2. Abundancia relativa de lagartijas en el archipiélago Espíritu Santo. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

como el suelo de arena, y la vegetación como lugar de alimentación y refugio. En más de 80% de los avistamientos, los individuos estuvieron a menos de 50 cm de una planta o de una roca y 94% estuvieron a menos de 1 m (figura 3).

Del total de observaciones de lagartijas, 21% fue en o cerca de rocas, y el resto cerca de plantas. Se identificaron 52 especies de plantas que las lagartijas usaron como cobertura. De ellas, las más abundantes fueron 12 especies que incluyen árboles como el ciruelo (*Cyrtocarpa edulis*), manglares (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*), y matorrales arbustivos como el lomboy blanco (*Jatropha cinerea*), el mangle dulce (*Maytenus phyllanthoides*) o el romerillo (*Baccharis sarothroides*), además de pastos como la salicornia.

La planta más utilizada (13% del total de las observaciones) es el lomboy blanco, la cual es aprovechada con regularidad por cinco especies de lagartijas; en particular *D. dorsalis* se localizó cerca de ella en 50% de los casos. Las plantas que siguieron por frecuencia de uso fueron el romerillo (empleada con frecuencia por *U. stansburiana* en El Gallo) y una especie del género *Krameria*. En cuanto al uso de la franja litoral, 15.5% de las observaciones se situaron a menos de 10 m del agua, y la mitad aproximadamente entre los 10 y 50 m del mar (figura 4). Las especies que se sitúan más cerca del mar son *Callisaurus draconoides* y *Uta stansburiana*; mientras que el resto de las especies usan preferentemente el inicio del matorral o los esteros, que la vegetación de dunas.

Conclusiones y recomendaciones

De manera general, los resultados de este estudio registraron 10 especies de lagartijas diurnas y 4 de las 6 serpientes reportadas para las islas Espíritu Santo y La Partida, en la franja costera a menos de 200 m del agua. Las únicas 4 especies reportadas en la literatura y no registradas en este trabajo fueron los geckos *Phyllodactylus unctus* (endémica) y *Coleonys variegatus*, la serpiente *Chilomeniscus stramineus* (que tiene hábitos casi subterráneos) y la culebra *Salvadora hexalepis* (Grismer 2002).

La abundancia de lagartijas fue similar entre todas las playas, aunque unas especies son más numerosas que otras. La proporción entre abundancia y riqueza varió de unas playas a otras de acuerdo con la disponibilidad del hábitat al que las especies están mejor adaptadas, y no al uso humano de los espacios, aunque todas mantuvieron alta riqueza específica. En este sentido, las playas con acantilados rocosos o grandes rocas (El Candelero, El Cardonal) difieren en la proporción entre riqueza y abundancia de especies, respecto las playas con esteros (Ensenada grande, La Ballena, El Mesteño), o de las que tienen más dunas arenosas y matorral desarrollado (El Gallo, El Corralito, La Dispensa; figura 2). La diversidad específica no es alta, como corresponde a una comunidad insular y aislada, pero se mantuvo uniforme entre las playas muestreadas.

El análisis de la condición corporal de la especie más abundante, *U. stansburiana*, tampoco reveló

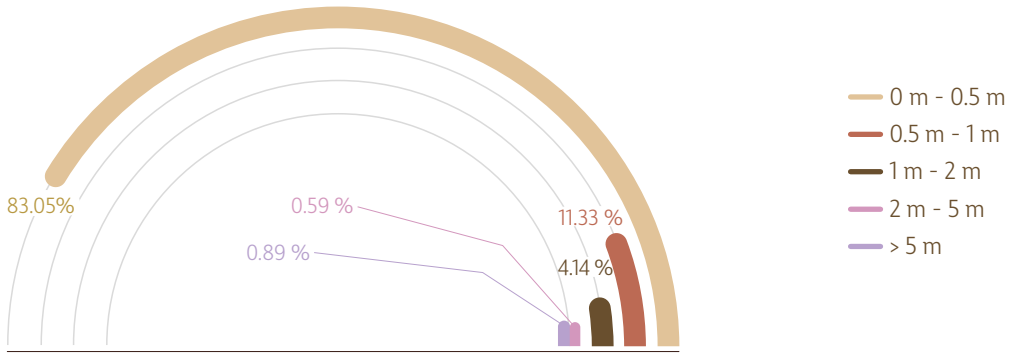


Figura 3. Distancia a la cobertura (planta o roca) más cercana de las lagartijas registradas en el archipiélago Espíritu Santo. Fuente: elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

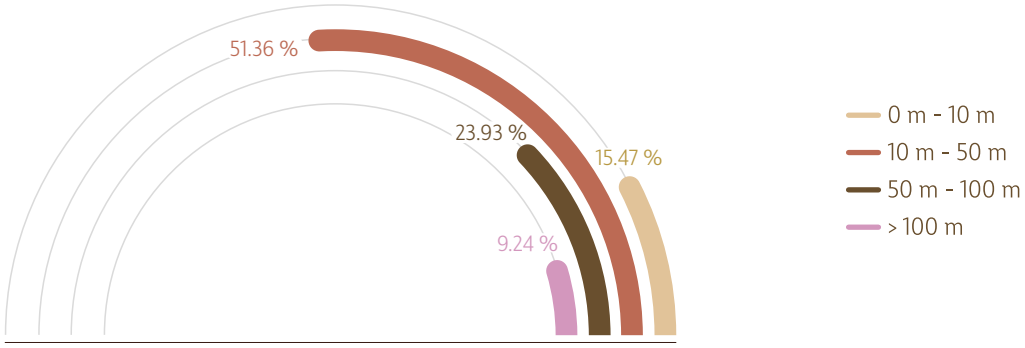


Figura 4. Distancia al mar de las lagartijas registradas en el archipiélago Espíritu Santo. Fuente: elaboración propia.

diferencias entre las playas, contrario a lo que se hubiera esperado en caso existir disturbio por actividades antrópicas. Estos resultados en conjunto indican que la comunidad herpetológica está bien adaptada a las condiciones locales, y no hay elementos perturbadores o de disturbio, en ninguna de las playas estudiadas. Asimismo, no se detectó que en alguna de las áreas esté alterado el equilibrio de la comunidad, con especies desproporcionadamente más o menos abundantes localmente, porque aún cuando *U. stansburiana* siempre fue la especie más abundante, su proporción se mantuvo igual en todas las playas (figura 2).

En otros lugares, en áreas muy transitadas por turistas, se ha detectado que el equilibrio en las abundancias locales de especies se altera (Gillespie *et al.* 2015). Por un lado, se puede favorecer a las especies que toleran bien los ruidos o el suelo compactado por las pisadas, que no cambian sustancialmente sus horas de actividad por evitar a los humanos, o que aprenden a alimentarse de basura o sobras (Oro *et al.* 2013). Por el contrario, se puede perjudicar (tanto en número de reclutas producidos como en una peor condición corporal) a las especies más intolerantes a los disturbios; aquellas que permanecen escondidas y sin posibilidad de alimentarse o asolearse cuando existen ruidos o presencia humana en el área, o que se alimentan de presas que desaparecen si las áreas pierden la condición de prístinas. Esta situación aún no se ha detectado en las playas de Espíritu Santo y La Partida, a pesar de que el número de visitantes en los últimos tiempos ha aumentado de manera exponencial (Barr y Mourato 2009, Cervantes Villegas 2012).

Asimismo, el hecho de que el peso y la longitud de los ejemplares de la especie más abundante no sean distintos entre las playas, sugiere que no hay un suplemento extra de alimento, o que esta especie no ha aumentado sus números, ni su tamaño, por un mayor éxito de supervivencia y/o de reproducción en playas con más o menos tránsito de personas, sino que su éxito es similar en todo el litoral muestreado.

Por otra parte, se debe destacar el hallazgo de que prácticamente la totalidad de la comunidad herpetológica de las islas ocupa todas las asociaciones vegetales presentes en la costa como: dunas costeras, zonas de manglar, salitral en los esteros y cardonal. Usan las zonas rocosas, la arena y más de 50 especies diferentes de plantas, debido a que se constató que rara vez se alejan de la protección de la vegetación o de las rocas.

Estos resultados confirman que la franja costera, tan estrecha como 200 m desde la línea de marea, es extremadamente importante para la herpetofauna de este archipiélago, al menos en toda la costa oeste. Dicha herpetofauna tiene un alto valor para la conservación debido a que 50% de sus especies (9 de 18) son endémicas de la región y una serpiente es endémica del archipiélago. Por su tamaño pequeño, aislamiento y alta aridez, los ecosistemas terrestres de las islas del golfo de California son muy poco productivos. Stapp y Polis (2003) apuntaron que las especies terrestres de roedores de estas islas se han adaptado para aprovechar los recursos marinos, provenientes del mar circundante, para mejorar sus posibilidades de supervivencia y reproducción. Este hecho resalta

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

lo crucial que es la franja litoral para los vertebrados terrestres insulares (Stavert *et al.* 2014).

En reptiles insulares aún faltan muchos estudios para evaluar el grado de dependencia a los recursos marinos (Delibes *et al.* 2015), pero el hecho de que todas las especies de la isla puedan encontrarse en este ecotono, conduce a suponer que debe ser alto. Este es un fascinante tema de investigación que debe ser abordado para proponer medidas de uso del litoral costero por parte de los humanos, que no pongan en riesgo la biodiversidad de los reptiles de las islas (Siler *et al.* 2014), y por el contrario propicien su conservación, que es patrimonio de México y de la humanidad.

Cabe señalar que en este estudio no se detectaron enfermedades o agentes externos que disminuyan las poblaciones de las lagartijas en ninguna de las áreas (Amo *et al.* 2006). Este es un dato positivo, pero en la zona existen gatos domésticos introducidos cuyo potencial depredador es mayúsculo, por lo que es necesario mantener la vigilancia en este aspecto. Tampoco se detectaron especies exóticas de reptiles –como el gecko o besucona de las casas (*Hemidactylus frenatus*) o algunas especies de serpientes invasivas– que puedan ser competidoras de las especies nativas; no obstante, por la presencia tan continuada de campamentos por meses consecutivos, se debe mantener una vigilancia muy estrecha en este sentido. Se recomienda enfocar los esfuerzos sobre estos aspectos, debido a que el riesgo es muy alto y una vez que ocurre una introducción, la erradicación de la especie invasora resulta muy costosa en términos económicos, de tiempo y esfuerzo, e incluso no siempre se logra (Aguirre-Muñoz *et al.* 2008).

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca otorgada a la Biól. Cintia Lucero Oropeza, a los Ms. I. Cárdenas y Ms. R. Sansores y al Sr. M. Cota por su apoyo en campo.

Referencias

Aguirre-Muñoz, A., D.A. Croll, C.J. Donlan *et al.* 2008. High-impact conservation: Invasive mammal eradications from the islands of western Mexico. *Ambio* 37:101-107.

Amo, L., P. López y J. Martín. 2006. Nature-based tourism as a form of predation risk affects body condition and health state of *Podarcis muralis* lizards. *Biological Conservation* 131:402-409.

Angeloni del Castillo, P.E. 2003. *Impacto del uso recreativo sobre la fauna macrobentónica de las playas arenosas de la bahía de La Paz*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz.

Barr, R.F. y S. Mourato. 2009. Investigating the potential for marine resource protection through environmental service markets: an exploratory study from La Paz, Mexico. *Ocean and Coastal Management* 52:568-577.

Case, T.J. 2002. Reptiles. En: *A new island biogeography of the Sea of Cortes*. T.J. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra (eds.). Oxford University Press, Nueva York, pp. 221-270.

Cervantes Villegas, F.M. 2012. *Caracterización y diagnóstico ambiental del Complejo Insular Espíritu Santo, municipio de La Paz, BCS, México*. Tesis de licenciatura. UABCS, Baja California Sur.

Delibes, M., M.C. Blazquez, J.M. Fedriani *et al.* 2015. Isotopic niche variation in a higher trophic level ectotherm: highlighting the role of succulent plants in desert food webs. *PLOS ONE* 10(5):e0126814.

French, S.S., D.F. DeNardo, T.J. Greives *et al.* 2010. Human disturbance alters endocrine and immune responses in the Galapagos marine iguana (*Amblyrhynchus cristatus*). *Hormones and Behavior* 58:792-799.

García, E. 1998. *Climas (Clasificación Köppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000*. CONABIO, México.

Gillespie, G.R., S. Howard, J.T. Stroud *et al.* 2015. Responses of tropical forest herpetofauna to moderate anthropogenic disturbance and effects of natural habitat variation in Sulawesi, Indonesia. *Biological Conservation* 192:161-173.

Grismer, L.L. 2002. *Amphibians and reptiles of Baja California: including its Pacific islands and the islands in the Sea of Cortes*. University of California Press, Berkeley.

Hernández-Trejo, V., G. Avilés-Polanco y M.A. Almendarez-Hernández. 2012. Economic benefits of recreational services provided by the aquatic biodiversity of the National Park Archipielago Espiritu Santo. *Estudios Sociales* 20:155-177.

López-Espinosa de los Monteros, R. 2002. Evaluating ecotourism in natural protected areas of La Paz Bay, Baja California Sur, Mexico: ecotourism or nature-based tourism? *Biodiversity and Conservation* 11:1539-1550.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Lovich, R.E., L.L. Grismer y G. Danemann. 2009. Conservation status of the herpetofauna of Baja California, México and associated islands in the Sea of Cortez and Pacific Ocean. *Herpetological Conservation Biology* 4:358-378.

Olmos-Martínez, E., O.A. Arizpe-Covarrubias, R.M.I. Pérez *et al.* 2015. Servicios ecosistémicos con potencial turístico del Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, México. *Teoría y Praxis* número especial 2015:158-173.

Oro, D., M. Genovart, G. Tavecchia *et al.* 2013. Ecological and evolutionary implications of food subsidies from humans. *Ecology Letters* 16:1501-1514.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.

SEMARNAT y CONANP. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2000. *Programa de Manejo Complejo Insular del Espíritu Santo*. SEMARNAT/CONANP, México.

—. 2006. *Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del área nacional protegida Parque Nacional Espíritu Santo*. SEMARNAT/CONANP, México.

—. 2014. *Programa de Manejo Parque Nacional exclusivamente la zona marina del Archipiélago del Espíritu Santo*. SEMARNAT/CONANP, México.

Siler, C.D., A. Lira-Noriega y R.M. Brown. 2014. Conservation genetics of Australasian sailfin lizards: Flagship species threatened by coastal development and insufficient protected area coverage. *Biological Conservation* 169:100-108.

Stapp, P. y G.A. Polis. 2003. Influence of pulsed resources and marine subsidies on insular rodent populations. *Oikos* 102:111-123.

Stavert, J.R., A.C. Gaskett, D.J. Scott *et al.* 2014. Dung beetles in an avian dominated island ecosystem: feeding and trophic ecology. *Oecologia* 176:259-271.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Biodiversidad, capital natural y turismo

Jorge Cruz Medina, Karla Carolina Nájera Cordero,
Sandra Janet Solís Jerónimo, Erika Daniela Melgarejo y Andrea Cruz Angón

Introducción

La biodiversidad en su conjunto se vincula directamente con la provisión de servicios ecosistémicos (también denominados servicios ambientales), tales como la purificación del aire, la polinización, la regulación del clima, el control de plagas, el abasto de alimentos, o la presencia de espacios para la recreación, entre otros (cuadro 1; MA 2005). Por ello, es posible reconocer que 1) el bienestar y desarrollo de las comunidades humanas están determinados, entre otras cosas, por la condición de su entorno natural; y 2) la pérdida o deterioro de los servicios ecosistémicos puede ocasionar importantes afectaciones (p.e. escasez de agua, erosión del suelo, desequilibrio ambiental). Cabe resaltar que particularmente las áreas naturales saludables y biodiversas son fuente de un cúmulo de servicios ecosistémicos, donde además de tener repercusiones ambientales positivas local y regionalmente (p.e. provisión de hábitat para especies endémicas, recarga de mantos acuíferos), generan beneficios de manera global (p.e. secuestro de carbono, regulación climática; Olmos-Martínez *et al.* 2015, GIZ 2021). Al mismo tiempo, si se aprovechan adecuadamente, estas áreas representan valiosas oportunidades para el desarrollo social y económico de las comunidades humanas, principalmente a través de los servicios culturales como el turismo, y de provisión por el aprovechamiento directo de recursos naturales.

En este escenario, Baja California Sur posee una gran oportunidad inherente a su espacio geográfico, ya que alberga amplias áreas naturales. En la entidad se reconocen diversos tipos de ecosistemas que van desde bosques templados (de encino y pino-encino) y selvas secas (selva baja caducifolia) en la sierra La Laguna y sus proximidades, hasta distintos tipos de matorrales (p.e. sarcocaule, sarco-crasicaule y desértico micrófilo) en gran parte del territorio, además de dunas costeras, manglares, pastos marinos y arrecifes coralinos en zonas costeras y marinas (figura 1; INEGI 2021, UNEP-WCMC y Short 2021, UNEP-WCMC *et al.* 2021). Estos ambientes son hábitat para una alta diversidad de organismos, entre los que se encuentran especies icónicas (p.e. ballena jorobada *Megaptera novaeangliae*, cardón *Pachycereus pringlei*, águila real *Aquila chrysaetos*), de importancia ecológica (p.e. coral coliflor *Pocillopora verrucosa*, mantos de sargazo *Sargassum* sp.), en riesgo (p.e. pez totoaba *Totoaba macdonaldi*, tortuga laúd *Dermochelys coriacea*, berrendo *Antilocapra americana*) y endémicas (p.e. cascabel de la isla Santa Catalina *Crotalus catalinensis*, biznaga de la isla Santa Cruz *Mammillaria albicans*,

Cruz-Medina, J., K. Nájera-Cordero, S.J. Solís-Jerónimo, D. Melgarejo y A. Cruz-Angón. 2025. Biodiversidad, capital natural y turismo. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 457-472.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

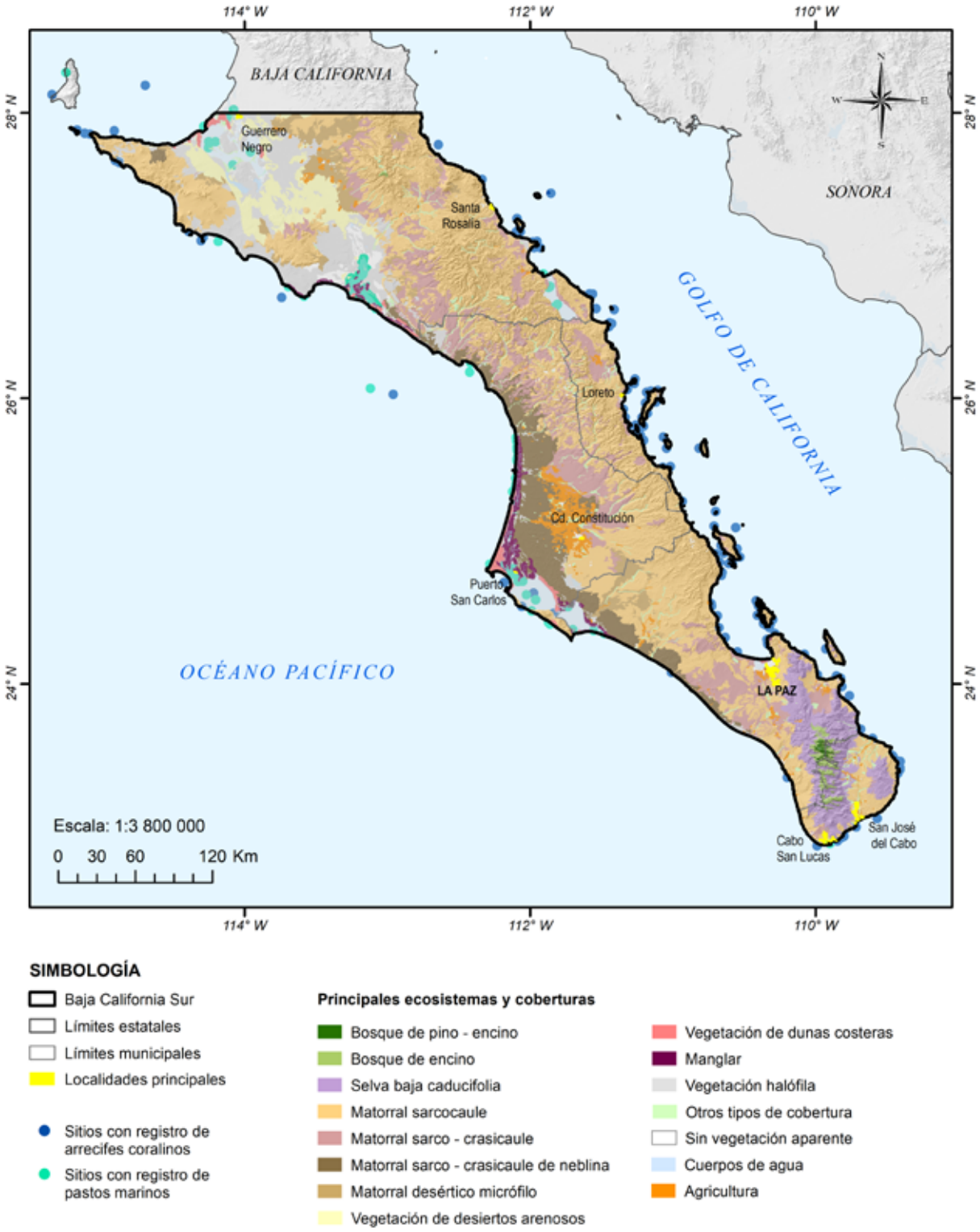


Figura 1. Principales ecosistemas y coberturas en Baja California Sur. Fuente: elaboración propia con base en INEGI 2021, UNEP-WCMC y Short 2021, UNEP-WCMC *et al.* 2021, Enciclovida 2024.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

mascarita Bajacaliforniana *Geothlypis beldingi*), así como otras relevantes para el comercio y el turismo (p.e. madre perla *Pinctada mazatlanica*, langosta de California *Panulirus interruptus*, borrego cimarrón *Ovis canadensis*; figura 2).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es presentar información que destaca la importancia de la biodiversidad en Baja California Sur para el desarrollo del turismo, una actividad económica cada vez más relevante en la entidad. Para ello, primero se hace una aproximación a la condición de los ecosistemas en el estado y su capacidad para proveer servicios ambientales, a través del Índice de Capital Natural. Posteriormente, se desarrolla una breve caracterización de la relación biodiversidad-turismo para el territorio sudcaliforniano. Finalmente, se reseñan diferentes esfuerzos que se realizan en México y en el estado para fortalecer un turismo sostenible. Lo anterior, con la finalidad de reunir conocimiento que apoye la toma de decisiones informada en materia turística para mantener, en el largo plazo, los múltiples beneficios que se derivan del entorno natural sudcaliforniano.

Cuadro 1. Ejemplos de servicios ecosistémicos.

Ecosistema	Servicios ecosistémicos			
	De provisión	De regulación	Culturales	De soporte
Bosques templados	Productos maderables, alimenticios y medicinales, suministro de agua	Infiltración de agua y recarga de mantos acuíferos, secuestro de carbono y retención de suelo	Recreación e investigación científica	Hábitat y mantenimiento de especies, formación de suelo
Selvas secas	Productos maderables, no maderables y medicinales, además de alimentos	Captura de carbono, conservación de suelos y mantenimiento de ciclos minerales	Belleza escénica y valor cultural	Mantenimiento de la fertilidad del suelo y reservorio genético (parientes silvestres de cultivos con importancia económica)
Matorrales	Alimentos, combustibles, textiles y medicina	Ciclaje de nutrientes, regulación del clima, polinización y control biológico	Valor cultural, recreativo y para la investigación científica	Hábitat y criadero de especies (incluyendo endemismos)
Dunas costeras	Materias primas, retención y purificación de agua	Estabilización costera, control de la erosión y prevención de intrusión salina	Valor paisajístico y recreativo	Reservorio de sedimentos y hábitat para especies (incluyendo algunas migratorias)
Manglares	Recursos pesqueros de importancia comercial, productos medicinales y maderables, además de miel	Filtración de agua, regulación del clima, control de inundaciones y secuestro de carbono	Ambientes de alto valor estético y recreativo	Hábitat de especies (incluyendo aquellas de interés comercial) y producción primaria
Pastos marinos	Fertilizantes y productos medicinales	Control de la erosión, retención de nutrientes, protección costera y purificación del agua	Actividades recreativas y culturales	Hábitat de especies, producción de oxígeno y fuente de nutrientes para ecosistemas aledaños
Arrecifes coralinos	Recursos pesqueros de importancia comercial, materias primas y productos medicinales	Protección costera contra huracanes, disminución de oleaje y ciclaje de nutrientes	Belleza escénica e investigación científica	Crianza, refugio, alimentación y reproducción para una alta riqueza de especies

Fuente: elaboración propia con información de Arizpe Covarrubias *et al.* 2014, CONABIO 2022a, Contreras del Valle y Sarnfeld 2022.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 2. Muestra de la alta diversidad biológica en Baja California Sur. a) Ejemplares de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*); b) frutos del cactus columnar conocido como cardón (*Pachycereus pringlei*); c) pez cabrilla sargacera (*Paralabrax clathratus*) rodeado de mantos de sargazo (*Sargassum* sp.); d) berrendo (*Antilocapra americana*), especie en peligro de extinción conforme a la NOM-059; e) víbora de cascabel de la isla Santa Catalina (*Crotalus catalinensis*), especie microendémica caracterizada por la ausencia de

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

cascabel en su cola; f) langosta de California (*Panulirus interruptus*), considerada un valioso recurso pesquero para la Península de Baja California. Fotos: Erick Higuera/Banco de imágenes CONABIO (a), Miguel Ángel Sicilia Manzo/Banco de imágenes CONABIO (b), Octavio Aburto Oropeza/Banco de imágenes CONABIO (c), Alejandro Boneta/Banco de imágenes CONABIO (d), Daniel Joaquín Sánchez Ochoa/Banco de imágenes CONABIO (e), Isaí Domínguez Guerrero/Banco de imágenes CONABIO (f).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Índice de capital natural

En Baja California Sur, como en el resto de México y el mundo, la biodiversidad en su conjunto constituye un patrimonio de gran valor ecológico, económico y cultural. En este sentido, resulta de gran utilidad conocer en qué condición se encuentra el capital natural[1] sudcaliforniano, con la finalidad de favorecer la toma de decisiones informada y garantizar la provisión de servicios ambientales que requiere la sociedad y el resto de los seres vivos, para su desarrollo en el presente y el futuro. A continuación, se describe un breve análisis espacial y temporal sobre el estado que guarda el capital natural de la entidad. Para esto, se utilizó el Índice de Capital Natural (ICN), un indicador que integra estimaciones de la cantidad y calidad de los ecosistemas terrestres (figura 3; Czúcz *et al.* 2012, Mora 2019a), y cuya escala de valores va de 0 a 100 (en términos de porcentaje) donde, a mayor valor de ICN, mejor es la condición de los ecosistemas y mayor es el flujo de beneficios provenientes de la naturaleza (Mora 2019a).

De manera resumida, el componente *cantidad* en este indicador se refiere a la extensión de las áreas naturales remanentes (p.e. bosques, selvas, matorrales) dentro de un espacio definido. Todas aquellas áreas que se transforman a superficies no naturales indican una pérdida y fragmentación de ecosistemas, afectando a su vez las interacciones entre especies y reduciendo la viabilidad de poblaciones silvestres. Por su parte, la *calidad* se refiere al nivel de integridad ecológica que ostentan dichas áreas naturales remanentes, y se mide por la capacidad del ecosistema para mantener interacciones y procesos ecológicos (figura 3; CONABIO 2022b).

Cabe señalar que actualmente existen evaluaciones del ICN para todas las áreas naturales (a una resolución espacial de 1 km^2) en la superficie terrestre

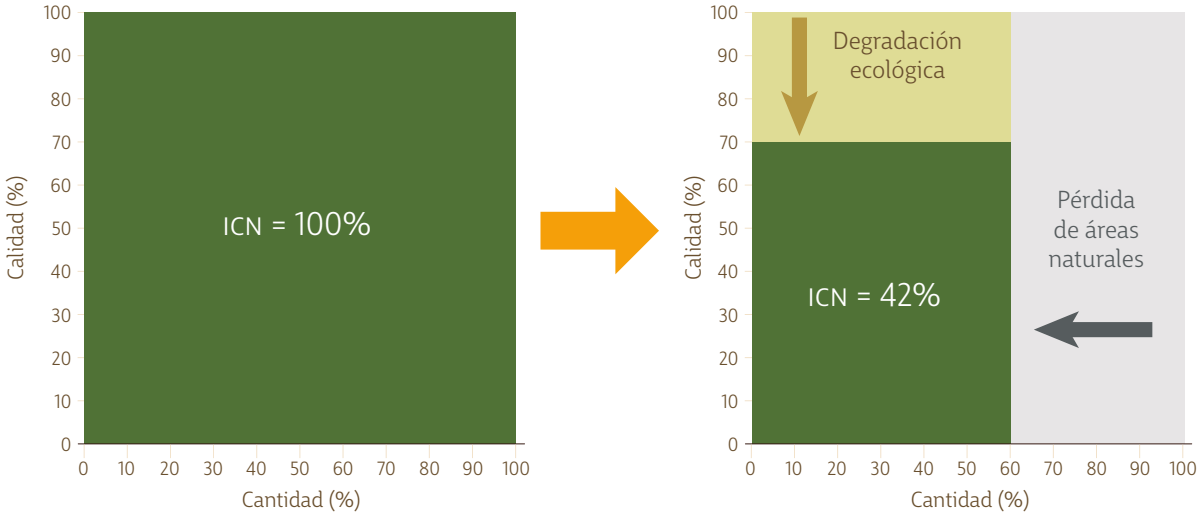


Figura 3. Los valores del Índice de Capital Natural (ICN) son resultado de la fórmula: cantidad del ecosistema (% área) x calidad del ecosistema (% línea de base). Un valor de ICN igual a 100 señalaría que el espacio bajo análisis está cubierto en su totalidad por áreas naturales y cuya integridad ecológica no ha sido degradada. Por su parte, a medida que estas áreas naturales disminuyen en tamaño y calidad, los valores de ICN también decrecen. Fuente: modificado de Czúcz *et al.* 2012.

1 El capital natural es un concepto que ayuda a reflejar la importancia de los ecosistemas para las sociedades, y se refiere al acervo de elementos naturales (plantas, animales, hongos, microorganismos, agua, entre otros) que en conjunto (como ecosistemas) mantiene procesos ecológico-evolutivos a largo plazo, y al mismo tiempo permite el suministro constante de bienes y servicios provenientes de la naturaleza (Sarukhán 2008, Sarukhán *et al.* 2009).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

de México, por lo que los datos pueden utilizarse a nivel región, estado o municipio. Para el caso de Baja California Sur, la información se analizó a nivel estatal y municipal, para los años 1985 y 2021 (CONABIO 2021a, b). Al respecto, a nivel estatal los valores de ICN indican que la entidad ha reducido su capital natural en 3.26% durante el periodo evaluado (figura 4), lo que implicó una pérdida de cerca de 130 mil hectáreas de áreas naturales (equivalente a 1.8% de la superficie estatal) y una disminución en la integridad ecológica de 1.81%. A pesar de lo anterior, Baja California Sur mantiene un ICN de 87.15% para 2021, lo que ubica al estado en la categoría crítico,[2] a la par de otras entidades como Coahuila de Zaragoza (81.64%), y por encima de Quintana Roo (60.56%), Jalisco (33.43%) y Veracruz (4.79%; CONABIO 2021b). En este sentido, considerando la extensión y condición de los ecosistemas en Baja California Sur en 2021, algunas estimaciones conservadoras indican que el valor económico de los servicios ecosistémicos en la entidad asciende a ~145 mil millones de pesos mexicanos al año (CONABIO 2021c), equivalente a más de seis veces la derrama económica anual por turismo en el estado (SETUE 2024). Por su parte, a nivel municipal se destaca lo siguiente (INEGI 1997, 2021, CONABIO 2021a, b):

- Mulegé (ICN 1985: 88.5%, ICN 2021: 84.92%). Visto por superficie, este municipio disminuyó sus áreas naturales remanentes en ~70 mil hectáreas. Asimismo, los ecosistemas remanentes mostraron una ligera degradación ecológica, lo que refleja una pérdida total de 3.58% de su capital natural en un periodo de 36 años.
- Loreto (ICN 1985: 91.22%, ICN 2021: 89.70%). En términos generales, es el municipio de Baja California Sur con menor pérdida de capital natural durante el periodo evaluado. Los resultados reflejan un ligero incremento en sus áreas naturales en poco más de 2 200 ha, aunque el municipio no estuvo exento de la disminución en la integridad de sus ecosistemas (-2.02%).
- Comondú (ICN 1985: 81.41%, ICN 2021: 78.33%). Para este municipio es posible identificar que una parte importante con pérdida de capital natural se presenta alrededor de Ciudad Constitución. El municipio mostró una reducción general de ~40 mil hectáreas en la superficie de sus ecosistemas terrestres en un lapso de 36 años, parcialmente como resultado de la ampliación de la frontera agrícola en el Valle de Santo Domingo.
- La Paz (ICN 1985: 89.38%, ICN 2021: 86.72%). Los valores de ICN disminuyeron durante el periodo evaluado debido a la pérdida de integridad ecológica (-1.98%) y decremento en la extensión de áreas naturales (en poco más de 10 mil hectáreas), particularmente en zonas al sur y sureste de la ciudad de La Paz, lo que podría atribuirse a una ampliación de caminos, asentamientos humanos y uso del suelo agrícola en estas áreas.
- Los Cabos (ICN 1985: 91.39%, ICN 2021: 81.87%). Este municipio muestra los mayores cambios de capital natural en todo el estado (-9.52%), lo que implicó un descenso en la cantidad y calidad de los ecosistemas terrestres de ~20 mil hectáreas y 4.39%, respectivamente. Estos cambios se identifican principalmente en la periferia de las ciudades de Cabo San Lucas y San José del Cabo, mismos que se asocian al acelerado desarrollo de infraestructura turística y crecimiento urbano.

Es importante señalar que si bien se identifican diferencias cuando la información se analiza a nivel municipal, de manera general todos los municipios de Baja California Sur muestran altos valores de ICN al 2021, lo cual es indicativo de que sus ecosistemas pueden mantener la provisión de servicios ecosistémicos de calidad. No obstante, es fundamental mantener y ampliar los esfuerzos de conservación y uso sustentable de la biodiversidad en el estado, con la finalidad de garantizar el bienestar presente y futuro de la sociedad y su entorno natural.

2 Esta categoría incluye los valores de ICN mayores de 70%, y es indicativa de que los ambientes mantienen una alta capacidad de estabilidad, autoorganización, complejidad y naturalidad, lo que permite el óptimo desarrollo de funciones ecológicas fundamentales y con ello la provisión de servicios ecosistémicos. En caso de que esta condición se pierda, no existe ningún tipo de sustituto del capital natural o hecho por el ser humano, que pueda adoptar la misma función; de ahí su importancia como legado esencial para las futuras generaciones (Mora 2019b).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

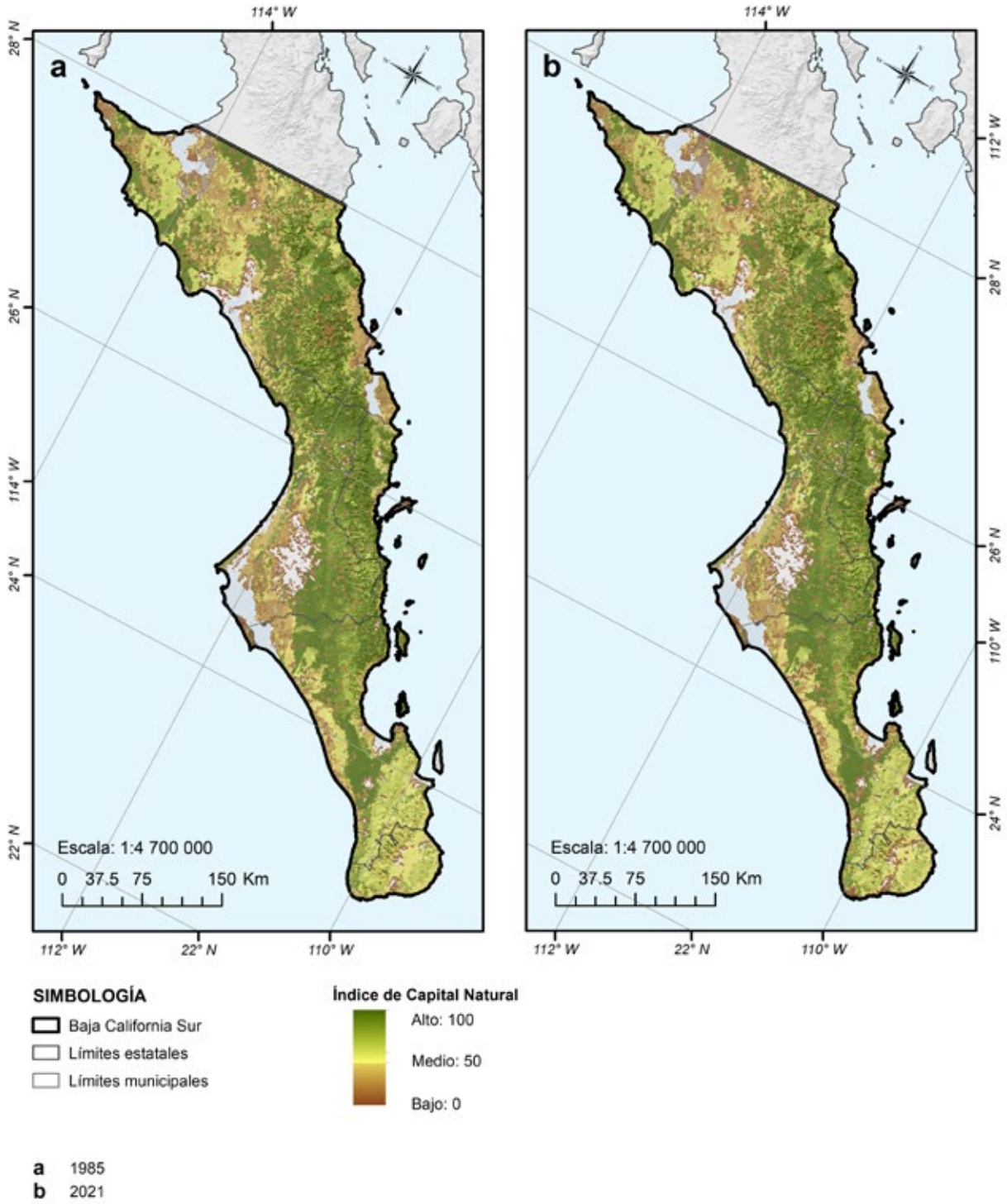


Figura 4. Índice de Capital Natural (ICN) en Baja California Sur, para a) 1985 y b) 2021. Las áreas en gris reflejan ausencia de valor de ICN. Fuente: elaboración propia con base en Mora 2019a, b, CONABIO 2021a, b.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Biodiversidad y turismo

En México, el turismo es una actividad relevante a partir de la cual se obtienen beneficios económicos, sociales y culturales (Urciaga García y Lauterio Martínez 2013). En primera instancia, representa una fuente generadora de ingresos, empleo y desarrollo local-regional (Guzmán y Rebolloso 2012). Por ejemplo, en 2022 el producto interno bruto (PIB) turístico del país conformó un monto de 2 372 556 millones de pesos mexicanos, lo que equivale a 8.5% del PIB nacional (INEGI 2023). En relación con los beneficios sociales que la actividad turística aporta, pueden señalarse desde la oferta de oportunidades de empleo y el mejoramiento de la calidad de vida de quienes prestan el servicio, hasta el entretenimiento y recreación de quienes realizan la actividad (Figueroa González 2021). Por su parte, entre los beneficios culturales asociados al turismo se encuentra la revaloración de espacios y prácticas tradicionales, el intercambio de experiencias (interculturalidad) y la difusión de la identidad cultural (Guerra Zambrano y Miranda Sosa 2021).

De manera general, el turismo puede clasificarse en dos grandes categorías: tradicional (o convencional) y alternativo (o de naturaleza; SECTUR 2004). A su vez, de acuerdo con las características de las actividades que se practican, existe el turismo de sol y playa, cultural, deportivo, gastronómico, de aventura, ecoturismo, entre otros. Si bien la oferta turística es variada, gran parte de estas actividades recreativas están soportadas por diversos servicios ecosistémicos, como el abastecimiento de agua y alimentos, o la presencia de ambientes y paisajes atractivos para los turistas. En contraparte, el turismo también puede ser un factor de deterioro de la naturaleza debido, entre otros aspectos, a patrones insustentables de desarrollo y consumo en el sector, provocando impactos que en ocasiones son irreversibles (Flores Montalvo 2012, Ivanova e Ibáñez 2012).

En Baja California Sur, el turismo es una actividad central para la economía estatal: de septiembre de 2021 a agosto del 2022 la entidad registró una derrama económica por turismo de 24 mil millones de pesos mexicanos (SETUE 2024). Esta actividad turística se concentra en tres de sus cinco municipios, siendo Los Cabos el principal destino turístico y con mayor aportación al PIB de la entidad (Espinoza Castillo *et al.* 2018). Cabe señalar que, por su ubicación rodeada de mar, su diversidad biológica y sus características fisiográficas y paisajísticas, en Baja California Sur se han desarrollado segmentos de mercado que ofertan actividades turísticas alternativas en un contexto de playas, paisajes desérticos, vida marina exuberante y áreas naturales protegidas.

Bajo este escenario, conocer la biodiversidad sudcaliforniana es fundamental para valorar su importancia en la construcción de bienestar dentro del estado (a través de actividades económicas como el turismo), y con ello promover su conservación y aprovechamiento sustentable. En México, desde 2002 se elaboran los estudios de biodiversidad de las entidades federativas (Estudios de Estado), herramientas que reúnen información confiable y actualizada sobre la biodiversidad en cada estado del país (CONABIO 2023a). Estos compendios se integran por la participación de académicos y expertos en diferentes áreas del conocimiento, con la finalidad de abordar la biodiversidad como un tema transversal, analizando el entorno físico, social y económico al que se encuentra estrechamente vinculada. De esta forma, dentro de un Estudio de Estado es posible identificar, entre otras cosas, qué ecosistemas y especies están presentes, cuál es su condición e importancia, cómo se aprovecha (o puede aprovecharse) la biodiversidad, y qué aspectos locales vulneran su conservación (CONABIO 2023a).

En este contexto, y considerando la relevancia del turismo para Baja California Sur, para este trabajo se desarrolló un análisis del contenido de la presente obra *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*,[3] con la finalidad de identificar cómo es que se aborda la relación turismo-biodiversidad, y destacar aspectos relevantes que permitan esbozar un escenario aterrizado al estado. A partir del análisis desarrollado, se reconoce que en la entidad existe un entorno natural ejemplar, con un potencial de aprovechamien-

3 Para este análisis, se construyó una base de datos a partir de criterios de búsqueda que identificaran contenidos de turismo (p.e. ecoturismo, turismo sostenible, recreación, visitantes, capacidad de carga) a lo largo de las secciones que componen el Estudio de Estado de Baja California Sur, para posteriormente examinar y sintetizar la información.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

to sustentable por medio de actividades turísticas relacionadas con la naturaleza, algunas de las cuales ya se realizan, aunque de manera diferenciada entre los municipios de la entidad (apéndice 59).

Asimismo, mediante este trabajo se identificó que la relación turismo-biodiversidad documentada en distintas contribuciones de esta obra, tienen que ver con la importancia del turismo para el desarrollo social y económico estatal; la vulnerabilidad del sector ante diferentes agentes; las fortalezas y oportunidades de mejora en las actividades turísticas a favor de la biodiversidad, entre otros. A continuación, se presentan los mensajes clave, así como los aspectos más relevantes para cada uno de estos mensajes.

El turismo es una actividad relevante para el desarrollo social y económico estatal

La entidad recibe más de 4 millones de turistas anualmente (la mayoría, concentrados en diferentes destinos de los municipios de Los Cabos y La Paz), lo que produce una gran derrama económica, generando que el sector aporte más del 20% del producto interno bruto estatal (cifras estimadas). Por su parte, en las últimas décadas, a nivel estatal se ha ampliado la infraestructura carretera y de puertos, con lo que se reducen tiempos de traslado de personas, alimentos y productos, además de facilitar el arribo y recepción de visitantes. Otro aspecto relevante es que en el estado hay una gran cantidad de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA),[4] cuyas actividades principales son el turismo cinegético y el ecoturismo de borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) y venado bura (*Odocoileus hemionus*). Algunas de las contribuciones dentro de esta obra que pueden consultarse para mayor detalle de la información son: *Infraestructura estatal*; *Mamíferos terrestres*; *Usos de la biodiversidad*; entre otras.

El turismo depende directamente del entorno natural sudcaliforniano

Al contar con ecosistemas amplios y relativamente conservados (~90% del territorio estatal), muchas de las actividades turísticas desarrolladas en la entidad se relacionan con el aprovechamiento recreativo de la naturaleza. Entre estas actividades se encuentran: buceo, kayakismo, camping, observación de flora/fauna y paisajes, pesca deportiva, turismo cinegético y turismo rural, además de carreras de automóviles todoterreno (apéndice 59). Asimismo, se resalta que, independientemente del tipo del que se trate, el turismo depende directamente de la provisión de servicios ecosistémicos (cuadro 1), como suministro de agua y alimentos, regulación climática, protección costera, belleza escénica y valor de amenidad, entre otros. Algunas de las contribuciones dentro de esta obra que pueden consultarse para mayor detalle de la información son: *Aprovechamiento del capital natural en áreas naturales protegidas federales*; *Servicios ambientales y actividad ecoturística en Espíritu Santo*; *Ballenas: un recurso turístico*; entre otras.

El turismo puede ser un factor de presión importante sobre la biodiversidad y el medio ambiente

Una de las principales amenazas al patrimonio natural de la entidad es el cambio de uso del suelo impulsado por desarrollos de infraestructura turística (aunque también es causado por actividades agropecuarias, urbanización y minería), lo que destruye hábitats principalmente en ambientes costeros. Asimismo, se ha identificado que el turismo no planificado genera problemáticas como modificación del paisaje, alto consumo de agua, captura ilegal de especies en riesgo, perturbación de fauna, excesiva concentración de visitantes en zonas naturales, así como incremento y manejo ineficiente de los residuos generados en playas y complejos turísticos. Se destaca también el escenario particular en Los Cabos, donde existe un acelerado desarrollo turístico, lo que ha tenido repercusiones importantes sobre ecosistemas y especies. Algunas de las contribuciones dentro de esta obra que pueden consultarse para mayor detalle de la información son: *Flora de las playas y dunas costeras*; *Riesgos a la conser-*

4 Las UMA son esquemas de conservación compatibles con el aprovechamiento de la biodiversidad, regulados por la Ley General de Vida Silvestre.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

vación por la proliferación de proyectos turísticos en el municipio de Los Cabos; *Usos de la biodiversidad*; entre otras.

La actividad turística es vulnerable al cambio climático y otros factores

Se han identificado posibles riesgos de daño a infraestructura por mayor incidencia de huracanes y aumento en el nivel del mar; asimismo, el cambio en los patrones de temperatura y precipitación interviene –entre otras cosas– en la disponibilidad de agua y modifica la distribución de especies, algunas de interés para el turismo. Por su parte, el turismo masivo (mega desarrollos) y los impactos que conlleva, se señalan como factores que vulneran a la biodiversidad y al mantenimiento de la misma actividad turística sudcaliforniana, al sobreexplotar los recursos de los que se sostiene. Finalmente, se identifica que en la entidad se desarrollan actividades mineras y existe interés por parte de inversionistas para ampliarlas; no obstante, si no se lleva a cabo adecuadamente, esta actividad generaría importantes afectaciones ambientales y con ello la pérdida atractivos turísticos en Baja California Sur. Algunas de las contribuciones dentro de esta obra que pueden consultarse para mayor detalle de la información son: *Tendencia de índices de cambio climático, 1960-2012*; *Cambio en el uso de la biodiversidad en Cabo Pulmo*; *Herpetofauna (anfibios y reptiles)*; entre otras.

En Baja California Sur existen experiencias de buenas prácticas turísticas y aspectos que fortalecen la sustentabilidad en el sector

En el estado existen casos exitosos de organización local y esfuerzo coordinado para desarrollar prácticas turísticas de bajo impacto y que han integrado consideraciones de conservación y uso sustentable de la biodiversidad (p.e. Parque Nacional Cabo Pulmo, Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago Espíritu Santo, Parque Nacional Bahía de Loreto, y lagunas San Ignacio y Ojo de Liebre). Una fortaleza identificada en la entidad es que se han desarrollado instrumentos normativos e información oficial que orientan la actividad turística considerando criterios de biodiversidad, entre ellos: la NOM-131-SEMARNAT-2010, el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur, el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California, distintos programas de acción para la conservación de las especies (PACE), y los programas de manejo de las áreas naturales protegidas dentro del territorio sudcaliforniano. Adicionalmente, diversas empresas en el estado han sido reconocidas por la implementación de prácticas amigables con el ambiente a través de certificados como el *Distintivo S* y el *Sello de Calidad Punto Limpio*. Algunas de las contribuciones dentro de esta obra que pueden consultarse para mayor detalle de la información son: *Cambio en el uso de la biodiversidad en Cabo Pulmo*; *Avistamiento de ballena gris en la laguna Ojo de Liebre: desarrollo local y conservación*; *Usos de la biodiversidad*; *Ordenamiento ecológico*; entre otras.

Existen oportunidades en el sector turístico para mejorar la conservación de la biodiversidad

Entre las oportunidades de mejora se encuentra fortalecer la colaboración interinstitucional entre autoridades de turismo y medioambiente, por ejemplo, para definir (o en su caso actualizar) lineamientos que regulen actividades turísticas dentro y fuera de áreas naturales protegidas, y con ello mantener una relación óptima entre los beneficios obtenidos y la conservación de la biodiversidad. También se sugiere impulsar el turismo sostenible, basado en un manejo responsable del agua y considerando que los recursos económicos derivados de esta actividad beneficien principalmente a las comunidades locales. Además, es importante considerar la diversificación de actividades para favorecer la resiliencia y no depender de una sola actividad económica. Finalmente, se reconoce la necesidad de fortalecer capacidades y concientización en prestadores de servicios turísticos, visitantes, y población en general, sobre la importancia de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para el turismo. Algunas de las contribuciones dentro de esta obra que pueden consultarse para mayor detalle de la información son: *Aprovechamiento del capital natural en áreas naturales protegidas federales*; *Áreas naturales protegidas y otros instrumentos de conservación*; *Servicios ambientales y actividad ecoturística en Espíritu Santo*; entre otras.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Hacia un turismo sostenible

El turismo en México genera importantes beneficios económicos y es fuente de empleo, además de favorecer aspectos como las vías de comunicación, el transporte y los servicios básicos. No obstante, el desarrollo de esta actividad inherentemente genera afectaciones al entorno natural, por ejemplo, por el traslado de personas, así como por el uso de infraestructura y recursos naturales para proveer los servicios que se requieren (SECTUR 2018). Particularmente, el turismo masivo provoca impactos negativos como alta demanda de recursos, deterioro ambiental, escasez de agua, gentrificación, aumento en los costos de vida en general e incluso privatización de recursos, como es el caso de playas privadas en algunas zonas costeras (SECTUR 2021). Por lo tanto, este modelo de turismo dista de ser ambiental y socialmente sostenible.

Por su parte, diferentes crisis sanitarias y económicas han afectado severamente la actividad turística en diversos momentos de lo que va del siglo XXI (SECTUR 2021). Lo anterior, aunado a los riesgos (tangibles y potenciales) por un escenario de cambio climático, ha planteado la necesidad de redirigir el desarrollo del turismo en el país. De esta manera, y considerando la gran riqueza natural y cultural de México, a nivel nacional se desarrolló una nueva perspectiva para conducir el turismo, la cual incorpora –entre otros aspectos– la integración de la biodiversidad[5] en el sector, la diversificación de actividades e inclusión de iniciativas locales, así como el reparto justo de beneficios económicos y la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático; todo ello concebido como un turismo sostenible (SECTUR 2020b).

Es así que, en 2016, durante la 13a Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica celebrada en Cancún (Quintana Roo), México propuso el tema principal "Integrando la biodiversidad para el bienestar", enfocándose en cuatro sectores: agrícola, forestal, pesquero y turístico (CONABIO 2023b). Bajo este contexto, se presentó la *Estrategia de integración para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el sector turístico (2016-2022)*, un documento de referencia para orientar la integración de criterios de conservación y uso sustentable de la biodiversidad al modelo de desarrollo del turismo sustentable en México, considerando la reducción de los impactos adversos que el cambio climático tiene y tendrá en las actividades del sector (SECTUR 2018). A su vez, desde el Programa Sectorial de Turismo 2020-2024 (SECTUR 2020a), se señala como objetivo prioritario fomentar el turismo sostenible en el territorio nacional, lo cual implica una serie de estrategias y acciones que se deben llevar a cabo para lograrlo. Uno de los instrumentos que apoya al cumplimiento de este objetivo prioritario es *México Sostenible. Estrategia de Turismo 2030*, un documento donde se describen acciones puntuales y priorizadas para impulsar un turismo sostenible y de naturaleza de baja escala, diversificar los destinos turísticos del país, involucrar a los actores locales en la cadena de valor y buscar una distribución más equitativa de la riqueza que genera el turismo (SECTUR 2021).

Por su parte, en el ámbito subnacional se destaca el proyecto ADAPTUR, desarrollado entre 2017 y 2023, y mediante el cual se implementaron medidas de adaptación al cambio climático en diferentes destinos turísticos de México, entre ellos, el Estero de San José en Los Cabos (GIZ 2023). Parte relevante de este proyecto es que las medidas de adaptación se basan en los ecosistemas, es decir, integran soluciones que se apoyan en la naturaleza y los servicios ecosistémicos para favorecer la resiliencia en el sector turístico (ADAPTUR 2024, PNUMA 2020). Otro esfuerzo integral para el impulso del turismo sostenible es el proyecto KUXATUR, el cual tiene como objetivo crear una nueva generación de circuitos turísticos en armonía con la naturaleza y el desarrollo integral de las localidades, para la conformación de destinos costeros sostenibles (SECTUR 2022). Para logar esto, actualmente se trabaja con tres modelos demostrativos, establecidos en zonas marino costeras del territorio mexicano con vocación o potencial turístico: región Maya Ka'an (Quintana Roo),

5 En el enfoque de integración de la biodiversidad, se reconoce que la biodiversidad y los servicios ecosistémicos son parte fundamental para el funcionamiento de los sectores productivos, por lo que las diferentes actividades se conducen con criterios de conservación y uso sostenible de la diversidad biológica, para mantener a largo plazo los beneficios que se obtienen de ella (CONABIO 2023b).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

corredor Huatulco - Chacahua (Oaxaca) y corredor La Paz - Sierra La Laguna - Los Cabos (Baja California Sur). Al respecto, algunas acciones puntuales establecidas para el corredor La Paz - Sierra La Laguna - Los Cabos son (SECTUR 2023):

- Impulsar el desarrollo articulado y armonizado entre ordenamientos territoriales (p.e. turísticos, ecológicos, de desarrollo urbano y ecológicos marinos), integrando criterios de sustentabilidad.
- Identificar áreas con potencial para reconversión productiva, del sector pesquero extractivo hacia el turismo sustentable.
- Promover mejores prácticas sustentables en actividades turísticas de bajo impacto (p.e. buceo y observación de elementos naturales).
- Actualizar y/o generar información sobre la valoración de los servicios ecosistémicos y la importancia de la biodiversidad marina en y para el turismo (figura 5).
- Actualizar y/o elaborar estudios de vulnerabilidad al cambio climático en destinos turísticos, a fin de identificar zonas de riesgo.
- Impulsar la certificación de playas con base en la NMX-AA-120-SCFI-2016, Blue Flag u otras, para su protección, calidad y sustentabilidad.
- Desarrollar un catálogo de actividades turísticas sostenibles basadas en el océano.
- Generar e impulsar políticas e incentivos de financiamiento a actividades turísticas sostenibles basadas en océanos.

Finalmente, además de otros ejemplos de políticas nacionales para conducir un turismo sustentable,[6] se destaca que Baja California Sur cuenta con su Programa Sectorial de Turismo 2021-2027, donde se incorpora la perspectiva de desarrollar un turismo sostenible en su territorio, y señala como objetivo posicionar a la entidad como el destino más importante de turismo sostenible en el pacífico mexicano, mediante 14 líneas de acción (Gobierno del Estado 2022). Cabe señalar que en este programa también se establecen tiempos de ejecución e indicadores para favorecer el seguimiento al cumplimiento de metas y acciones.

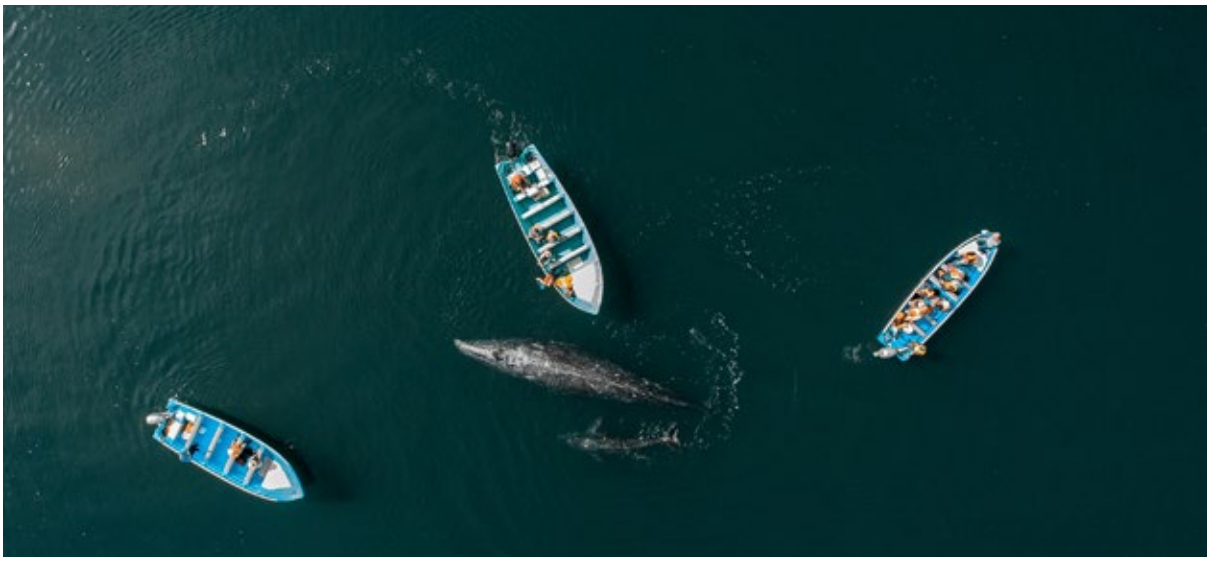


Figura 5. Observación de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en Baja California Sur, una actividad turística relevante en la entidad. Foto: José Ruíz Cheires/Banco de imágenes CONABIO.

6 Algunos ejemplos que se pueden mencionar al respecto son: los estudios de vulnerabilidad al cambio climático en destinos turísticos, la Guía Local de Acciones de Alto Impacto en Materia de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático en Destinos Turísticos Mexicanos, los Lineamientos para la Dictaminación de Zonas de Desarrollo Turístico Sustentable, el Ordenamiento Turístico General del Territorio, y los Centros Integralmente Planeados (SECTUR 2018).

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Conclusiones

Una de las principales actividades económicas en Baja California Sur es el turismo, y es posible reconocer que la biodiversidad y los servicios ecosistémicos están estrechamente ligados a este sector. El entorno natural sudcaliforniano alberga diversas playas y costas, extensas áreas naturales protegidas, belleza escénica y una amplia variedad de especies, lo que representa una ventaja para el desarrollo estatal si las actividades recreativas se conducen sustentablemente. El análisis de la condición del capital natural sudcaliforniano señala que, a nivel estatal, Baja California Sur cuenta con ecosistemas saludables (de alta integridad ecológica) en gran parte del territorio, lo que garantiza la provisión de valiosos servicios ecosistémicos, valuados en cerca de 145 mil millones de pesos mexicanos al año; no obstante, a nivel municipal se destacan particularidades que será necesario atender.

Conforme a lo analizado en esta contribución, en la entidad existen contrastes sobre cómo se desarrolla el turismo: por un lado, existe el modelo de turismo masivo representado por Los Cabos; en contraparte, se presentan ejemplos consolidados de turismo sustentable dentro de áreas naturales protegidas, como es el caso del Parque Nacional Cabo Pulmo. Cabe resaltar que, a pesar de los grandes beneficios económicos que puede generar, el modelo de turismo masivo debe transitar hacia un modelo sostenible; de no hacerlo, los recursos de los que se sostiene se agotarán en el corto plazo, generando problemas socioambientales y agravándose por el escenario de cambio climático actual. Finalmente, una fortaleza relevante para conciliar la biodiversidad y el sector turismo es que a nivel estatal y nacional se cuenta con diferentes herramientas para conducir el turismo bajo una perspectiva de sustentabilidad. Por ello, será fundamental contar con una política estatal de biodiversidad con énfasis en el sector turismo para la toma de decisiones informada, que permita continuar y ampliar la implementación de diferentes acciones para el logro armonizado de objetivos como el desarrollo local, la diversificación de actividades económicas, el reparto más equitativo de beneficios derivados del uso y aprovechamiento de los recursos biológicos, la adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad.

Referencias

ADAPTUR. 2024. ¿Qué es ADAPTUR? En: <https://adaptur.mx/>, última consulta: mayo de 2024.

Arizpe Covarrubias, O., J.I. Urciaga García y C.L. Lauterio Martínez. 2014. Capítulo 5. Servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Baja California Sur, México. En: *Desarrollo regional en Baja California Sur: una perspectiva de los servicios ecosistémicos*. J.I. Urciaga García (ed.). UABCS/Ediciones de la Noche, Baja California Sur, pp. 113-128.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2021a. *Índice de capital natural 1985, escala: 1:250000*. CONABIO, México.

—. 2021b. *Índice de capital natural 2021, escala: 1:250000*. CONABIO, México.

—. 2021c. *Valor económico total de los servicios ecosistémicos 2021, escala: 1:250000*. CONABIO, México.

—. 2022a. *Ecosistemas de México*. En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex>, última consulta: marzo de 2024.

—. 2022b. *Índice de Capital Natural*. En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/indice_capnat>, última consulta: 17 de enero de 2024.

—. 2023a. *Anexo 1.1 Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Biodiversidad del Estado (versión tradicional)*. CONABIO, México.

—. 2023b. *Integración de la biodiversidad*. En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/cbd/integracion-de-la-biodiversidad>; última consulta: abril de 2024.

Contreras del Valle, M.F. y F. Sarnfeld. 2022. *Guía para la valoración económica de servicios ecosistémicos marinos y costeros en Centroamérica y República Dominicana*. GIZ, Alemania.

Czúcz, B., Z. Molnár, F. Horváth *et al*. 2012. Using the natural capital index framework as a scalable aggregation methodology for regional biodiversity indicators. *Journal for Nature Conservation* 20:144-152.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Enciclovida. 2024. *Pasto marino. Zostera marina*. En: <https://enciclovida.mx/especies/162119-zostera-marina>, última consulta: marzo de 2024.

Espinoza Castillo, A.S., J. Juárez Mancilla, P.R. Cruz Chávez y A.F. Torres García. 2018. Desarrollo económico y turismo en Los Cabos, Baja California Sur. En: *Turismo, desarrollo económico y sustentabilidad en Baja California Sur*. J. Juárez Mancilla, P.R. Cruz Chávez, A.F. Torres García y G.R. Cruz Chávez (coords.). Universidad Autónoma de Sinaloa, México, pp. 45-69.

Figueroa González, L.F. 2021. El impacto de los programas sociales y el turismo en la reducción de la pobreza en el ámbito rural en México. *Trascender, Contabilidad y Gestión* 16:131-157.

Flores Montalvo, A. 2012. Introducción. En: *Medio ambiente y política turística en México. Tomo I. Ecología, biodiversidad y desarrollo turístico*. SEMARNAT/INE/UABCS, México, pp. 13-16.

GIZ. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 2021. *Agricultura sostenible. Unidad 1. Bases conceptuales para la integración de los servicios ecosistémicos en la planeación al desarrollo en paisajes agrarios.* En: <https://agriculturasostenible.mx/c2-unidad-1-integracion-de-la-biodiversidad-y-los-servicios-ecosistemicos-ise-en-la-planeacion-del-desarrollo-de-paisajes-agrarios/>, última consulta: abril de 2024.

—. 2023. *Catálogo Nacional de Proyectos ADAPTUR*. GIZ, México.

Gobierno del Estado. 2022. *Programa Sectorial de Turismo de Baja California Sur 2021-2027*. SETUE, Baja California Sur.

Guerra Zambrano, X.L. y S.K. Miranda Sosa. 2021. *Beneficios económicos, sociales y culturales del turismo idiomático*. Tesis de licenciatura. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

Guzmán, M. y F. Rebolloso. 2012. Turismo y sustentabilidad: paradigma de desarrollo entre lo tradicional y lo alternativo. *Gestión y Estrategia* 41:71-86.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1997. *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie I (continuo nacional)*. INEGI, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2021. *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie VII (continuo nacional)*. INEGI, México.

—. 2023. *Economía y sectores productivos. Turismo*. En: <https://www.inegi.org.mx/temas/turismosat/#:~:text=Porcentaje%2y%2variaci%C3%B3n%20anual&text=En%202022%2C%20el%20PIB%20tur%C3%ADstico,a%208.5%20%25%2del%20PIB%20nacional>, última consulta: abril de 2024.

Ivanova, A. y R. Ibáñez. 2012. *Medio ambiente y política turística en México. Tomo I. Ecología, biodiversidad y desarrollo turístico*. SEMARNAT/INE/UABCS, México.

MA. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington D.C.

Mora, F. 2019a. El valor ecológico y económico del capital natural de México. *Biodiversitas* 147:7-12.

Mora, F. 2019b. The use of ecological integrity indicators within the natural capital index framework: The ecological and economic value of the remnant natural capital of Mexico. *Journal for Nature Conservation* 47:77-92.

Olmos-Martínez, E., O.A. Arizpe-Covarrubias, R. Ibáñez Pérez *et al.* 2015. Servicios ecosistémicos con potencial turístico del parque nacional Archipiélago Espíritu Santo, México. *Teoría y Praxis* número especial 2015:158-173.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2020. *Seis formas en que la naturaleza puede protegernos del cambio climático*. En: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/seis-formas-en-que-la-naturaleza-puede-protegernos-del-cambio>, última consulta: mayo 2024.

Sarukhán, J. 2008. Prefacio. En: *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, pp. 9-13.

Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias *et al.* 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO, México.

SECTUR. Secretaría de Turismo. 2004. *Turismo alternativo. Una nueva forma de hacer turismo*. SECTUR, México.

—. 2018. *Estrategia de integración para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el sector turístico (2016-2022)*. SECTUR, México.

—. 2020a. *Programa Sectorial de Turismo 2020-2024*. SECTUR, México.

—. 2020b. *Estrategia México Renace Sostenible*. SECTUR, México.

—. 2021. *México Sostenible. Estrategia de Turismo 2030*. SECTUR, México.

—. 2022. *SECTUR trabaja en la creación de circuitos turísticos sostenibles a través del programa "Kuxatur"*. En: <https://www.gob.mx/sectur/prensa/sectur-trabaja-en-la-creacion-de-circuitos-turisticos-sostenibles-a-traves-del-programa-kuxatur?idiom=es-MX>, última consulta: abril de 2024.

—. 2023. *Estrategia de Actividades Turísticas Sostenibles Basadas en el Océano en México 2023-2030*. SECTUR, México.

SETUE. Secretaría de Turismo y Economía del Gobierno de Baja California Sur. 2024. *Baja California Sur. Información Estratégica*. SETUE, Baja California Sur.

UNEP-WCMC (United Nations Environment World Conservation Monitoring Centre) y F.T. Short. 2021. *Global distribution of se-*

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

agrasses (version 7.1). Seventh update to the data layer used in Green and Short (2003). UNEP-WCMC, Cambridge.

UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WRI y TNC. United Nations Environment World Conservation Monitoring Centre, WorldFish Centre, World Resources Institute y The Nature Conservancy. 2021. *Global distribution of warm-water coral reefs, compiled from multiple sources including the Millennium Coral Reef Mapping Project. Version 4.1. Includes contributions from IMaRS-USF and IRD (2005), IMaRS-USF (2005) and Spalding et al. (2001).* UNEP-WCMC, Cambridge.

Urciaga García, J.I. y C.L. Lauterio Martínez. 2013. Capital natural, servicios de los ecosistemas y turismo en Baja California Sur. En: *Memorias del 3° Congreso Internacional Turismo y Economía*. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

10

Hacia la estrategia

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Hacia la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Baja California Sur, con enfoque en el sector turismo

Sandra Janet Solís Jerónimo, Jorge Cruz Medina, Erika Daniela Melgarejo y Andrea Cruz Angón

Introducción

La biodiversidad y todos los servicios que provee son fundamentales para el bienestar de las personas y la salud del planeta. Como se mencionó en la introducción del volumen 1 de esta obra, desde hace varias décadas, la comunidad global ha alertado sobre el grave deterioro de los ecosistemas y sus servicios ambientales por causas antropogénicas, lo cual pone en riesgo la vida en todo el mundo. Por ejemplo, se ha identificado que en el continente americano, particularmente la biodiversidad asociada a arrecifes de coral y manglares ha experimentado pérdidas mayores en las últimas décadas a causa de actividades humanas, y con ello, generando afectaciones como deterioro de la calidad del agua, disminución en la provisión de alimentos y alteración en los modos de vida de sociedades costeras (IPBES 2018).

Con el objetivo de fortalecer los esfuerzos en materia de biodiversidad a nivel subnacional y con base en el artículo 6 del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB 1992), desde 2002 México –a través de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)– desarrolla la iniciativa de las Estrategias Estatales de Biodiversidad. Esta iniciativa busca mejorar las capacidades de planeación y gestión de los recursos biológicos, mediante la elaboración de herramientas para la toma de decisiones y la planeación participativa en los diferentes estados del país. Este proceso, persigue la elaboración de Estudios de Estado como fuente documental del diagnóstico integral de la biodiversidad en las entidades federativas; además, se elaboran Estrategias para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado (ECUSBE), que son los instrumentos de planeación estratégica participativa, que orientan las acciones de los diferentes sectores de la sociedad para asegurar la permanencia de la diversidad biológica (CONABIO 2024).

En este contexto, el presente capítulo se desarrolló a partir del análisis de las conclusiones incluidas en las contribuciones de la obra *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*, como marco general para identificar los principales retos y oportunidades que deberán retomarse como parte del proceso de planeación participativa durante la elaboración de la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en Baja California Sur (ECUSBE-BCS). Cabe señalar que la ECUSBE-BCS se realizará con énfasis en turismo, por considerarse uno de los sectores productivos más relevantes en la entidad (tanto por los beneficios que aporta a las comunidades, como por su

Solís-Jerónimo, S.J., J. Cruz-Medina, D. Melgarejo y A. Cruz-Angón. 2025. Hacia la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Baja California Sur, con enfoque en el sector turismo. En: *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. Vol. III. CONABIO/FFB, México, pp. 477-485.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

estrecho vínculo y dependencia con la biodiversidad estatal). En este sentido, la información aquí expuesta (p.e. factores de presión, vacíos de información, oportunidades de conservación y aprovechamiento sustentable) deberá considerarse para favorecer la planeación estatal y mantener en el largo plazo los beneficios que derivan de la riqueza biológica sudcaliforniana.

La biodiversidad sudcaliforniana: conocimiento actual de sus amenazas e identificación de vacíos de información

El territorio estatal tiene una gran heterogeneidad de paisajes gracias a factores que combinan relieve, origen geológico y colindancia con el mar (figura 1). Estas variaciones territoriales, aunado a las condiciones peninsulares y el semiaislamiento, confieren a la entidad una diversidad biológica amplia y característica, en gran parte endémica. Considerando lo anterior, a continuación se reseñan algunos aspectos relevantes para tomar en cuenta en el desarrollo de estrategias dirigidas a favorecer la biodiversidad sudcaliforniana.

Ecosistemas

Aunque en la parte terrestre existe una dominancia de ambientes semidesérticos (p.e. matorral sarcocaule), Baja California Sur cuenta con otros tipos de vegetación como bosque de pino-encino y selva baja caducifolia, además de manglares y vegetación de dunas en zonas costeras. La gran mayoría de los ecosistemas se encuentra en buen grado de conservación, y cerca del 35% de la superficie terrestre se encuentra bajo esquemas de áreas naturales protegidas (ANP). A pesar de la amplia superficie de ANP en la entidad, existen diversos factores que inciden en el cambio o pérdida de la cobertura vegetal, entre ellos la ganadería extensiva, que presiona a las especies herbáceas y arbustivas, principalmente. Otros grandes factores de cambio que promueven la fragmentación del hábitat son la ampliación de la frontera agrícola, urbana y turística, así como la minería a cielo abierto. Por lo anterior, es indispensable definir políticas integrativas entre los distintos sectores, a fin de conjuntar prioridades y alinear recursos para atender de forma efectiva los problemas que enfrenta la biodiversidad, fomentando el desarrollo económico sustentable en el estado, actualizando y armonizando los instrumentos de planeación territorial estatal y los límites en el uso de los recursos naturales.

Especies

A lo largo de la obra *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*, se reitera la falta de exploración del territorio sudcaliforniano para generar conocimiento acerca de la vasta diversidad biológica con la que cuenta la entidad. En particular, se señala ampliar la información sobre grupos como virus y bacterias que, aunque actualmente no representan un problema, es importante conocer y actualizar su conocimiento para favorecer la toma de decisiones desde campos como la salud pública y el productivo-comercial, así como para comprender mejor las distintas formas de vida en general. En el caso de algunas especies que se comportan como patógenos para la agricultura y la flora silvestre, es necesario investigar la distribución para evaluar su papel en la dinámica poblacional, específicamente para los ecosistemas naturales vulnerables del territorio, los cuales tienen millones de años de adaptación y especialización que les confiere una distribución restringida a la península o al estado.

Aunque la riqueza de especies en Baja California Sur es relativamente baja en comparación con otras entidades como Oaxaca y Chiapas, es importante señalar que la flora peninsular tiene millones de años de adaptación y especialización. Por tal motivo, una de cada cuatro especies de plantas tiene su distribución restringida a la península, o bien, al territorio sudcaliforniano. A su vez, esta condición genera que muchas de las especies sudcalifornianas enfrenten un alto nivel de vulnerabilidad ante amenazas naturales y antropogénicas. En relación con algunas especies de mamíferos marinos, moluscos y decápodos (p.e. cangrejos, langostas y camarones) que son relevantes desde el punto de vista ecológico, socioeconómico o turístico, es indispensable incrementar los estudios sobre sus procesos poblacionales, historia evolutiva, diversidad, distribución y abundancia, con el fin de identificar los factores que las amenazan e implementar las medidas que conduzcan a la conservación, el uso sustentable

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

y mantenimiento de los ecosistemas y las especies en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Para los moluscos, se sugiere incrementar los estudios sobre el uso de especies comestibles como el ostión de mangle (*Crassostrea palmula*), los mejillones (*Modiolus capax*, *M. modiolus*, *Mytilus californianus* y *M. edulis*) y las almejas (*Megapitaria squalida* y *Laevicardium elatum*) que, al ser bioacumuladores de algunos contaminantes, pueden representar un problema de salud pública. Otras medidas dirigidas a la conservación de estas especies de interés comercial deben estar enfocadas en el aseguramiento del buen uso de la Carta Nacional Pesquera, como una herramienta para el manejo de las pesquerías. Por otro lado, considerando que Baja California Sur es una de las entidades con gran diversidad de macroalgas, es indispensable asegurar el cumplimiento de las normas establecidas en la Carta Nacional Pesquera para el uso de las especies *Macrocystis pyrifera*, *Gelidium robustum* y *Gracilariopsis lemaneiformis*, así como establecer los planes de manejo que permitirán establecer lineamientos para su uso y proponer acciones de conservación.

En cuanto al grupo de los decápodos, como parte de esta obra, los autores identificaron dos especies de importancia comercial que requieren mayor número de estudios y monitoreo a largo plazo para estimar el volumen de sus poblaciones y así definir planes de pesca sostenible: la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) y la langosta roja (*Panulirus interruptus*). Finalmente, para las ballenas gris (*Eschrichtius robustus*) y jorobada (*Megaptera novaeangliae*) es necesario implementar acciones que garanticen una interacción responsable con los visitantes, así como la revisión y verificación de la adecuada aplicación de la NOM-131-SEMARNAT-2010, que establece lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas, relativas a su protección y la conservación de su hábitat. Asimismo, es imprescindible contar un ordenamiento actualizado de las actividades turísticas para que estas especies continúen poblando cada año las costas del estado. Considerando lo anterior y derivado de las contribuciones del Estudio de Estado, se identifican algunas acciones prioritarias a implementar como parte de la planeación estratégica que se establezca en la ECUSBE-BCS:

- Fortalecer e incrementar el conocimiento de los distintos grupos biológicos y las condiciones que guardan los ecosistemas.
- Contar con un sistema estatal de información sobre biodiversidad.
- Realizar estudios para evaluar el estado actual de las comunidades de especies y sus amenazas, lo que permitirá establecer lineamientos para su uso y proponer acciones de conservación y restauración, de ser pertinente.
- Desarrollar acciones para la evaluación y el monitoreo que permitan identificar las principales amenazas a la biodiversidad estatal.
- Promover la actualización y aplicación del marco legal y normativo para asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de las especies, los ecosistemas que las sostienen y los servicios ambientales que proveen.
- Establecer medidas de protección de los ecosistemas acuáticos y terrestres de la entidad, incentivando la restauración ecológica de los hábitats que han sido degradados o destruidos, contribuyendo así al incremento de superficie en las áreas naturales protegidas.
- Diseñar e implementar políticas públicas estatales, municipales y locales, encaminadas a combatir los factores que presionan la biodiversidad estatal, como la adaptación al cambio climático, la reducción de la contaminación, el uso eficiente del agua, la implementación de obras de captación del vital líquido y la implementación de programas de educación ciudadana para conocer, valorar y conservar los recursos biológicos de la entidad.
- Elaborar programas e iniciativas de concientización y educación ambiental dirigidos a la sociedad sudcaliforniana, para el manejo sustentable de los recursos naturales.

Perspectivas sobre la diversidad genética

Sobre este tema, es importante mantener y ampliar el apoyo financiero en el corto plazo, para permitir investigaciones interdisciplinarias útiles para guiar las prácticas de conservación y uso sustentable de las especies y su diversidad genética, el hábitat y los ecosistemas, pero también para recuperar la soberanía nacional a partir de la biodiversidad. En este sentido,

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Figura 1. Ejemplos de la heterogeneidad de paisajes en Baja California Sur. a) Bahía Concepción, en el municipio de Mulegé; b) isla Danzante, en el municipio de Loreto; c) bahía Magdalena, en el municipio de Comondú; d) isla Espíritu Santo, en el municipio de La Paz; e) Cabo Pulmo, en el municipio de Los Cabos. Fotos: Iván Montes de Oca Cacheux/Banco de imágenes CONABIO (a), Claudio Contreras

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Koob/Banco de imágenes CONABIO (b), Charles V. Chandler/Banco de imágenes CONABIO (c), Patricio Robles Gil/Banco de imágenes CONABIO (d), Octavio Aburto Oropeza/Banco de imágenes CONABIO (e).

en esta obra se hace referencia a contar con análisis sobre bioprospección, la cual se refiere a la búsqueda de nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas y otros productos que poseen un valor económico actual o potencial, y que se encuentran en los componentes de la diversidad biológica. Al respecto, los autores sugieren una especial atención en dar a conocer este tema. El principal desafío consiste en incorporar este conocimiento sobre la diversidad genética dentro de las políticas públicas sobre la biodiversidad nacional y estatal, para un acceso normado y reglamentado, que contribuya al reparto justo y equitativo de los beneficios derivados de la utilización de los recursos, considerando la participación de los pueblos y las comunidades indígenas y afromexicanas en la toma de decisiones.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Usos de la biodiversidad

En la entidad se cuenta con un gran potencial para el uso sustentable de su flora y de su fauna, lo cual se puede fortalecer para promover su conservación y satisfacer las necesidades de la población. En este contexto se incluyen experiencias de actividades cinegéticas, de la utilización de plantas y animales locales, el aprovechamiento de los cetáceos por medio de su avistamiento, la organización de comunidades a través del ecoturismo para la obtención de recursos económicos, la contemplación de peces arrecifales, o la obtención de recursos a través del turismo de pesca deportiva, los cuales son inconmensurablemente mayores a los obtenidos, por unos cuantos, a través de su pesca comercial. Considerando lo anterior, se identificó que uno de los principales retos en cuanto al uso de los recursos naturales en la entidad, se concentra en los proyectos mineros que ponen en riesgo la disposición y provisión de agua dulce para el propio funcionamiento de los ecosistemas, o bien, para su abastecimiento donde se concentra gran parte de la población estatal.

Factores de presión

Entre los factores de presión identificados con mayor frecuencia, se incluye el cambio climático y sus efectos en la biodiversidad tanto terrestre como marina, así como en el incremento en la incidencia de plagas. También se abordan otros temas importantes, tales como el aumento en la proliferación de megaproyectos turísticos, la sobrepoblación humana en el sur del estado, y la multiplicación de agentes nocivos para los ecosistemas. Asimismo, otras fuentes de presión al ambiente tienen que ver con los proyectos mineros, la construcción de marinas y el desmonte de la vegetación natural para la construcción de complejos residenciales. En contraste, se identifican algunas áreas de oportunidad para la atención a los factores de presión, como son la implementación de proyectos ecoturísticos sustentables, la conservación de especies de flora y fauna (apéndice 60), las propuestas de nuevas áreas de conservación (p.e. el área ubicada en el valle que rodea a San Juan de Los Planes, municipio de La Paz, y hacia la población de San Antonio de la Sierra, por la presencia de cardones gigantes), así como la conservación de especies endémicas por su importancia en los ecosistemas o las amenazas que enfrentan en Baja California Sur (cuadro 1).

Política de integración de la biodiversidad en el sector turismo

México cuenta con planes y programas turísticos que tienen por objeto la generación de inversión y crecimiento económico para transitar hacia un modelo de desarrollo regional más productivo, incluyente y sostenible. Lo anterior requiere un marco de gobernanza con participación intersectorial, principalmente el ambiental y turístico, otros sectores productivos, los distintos órdenes de gobierno y el sector privado (OCDE 2017). El sector turístico en México cuenta con avances significativos en materia de integración de la biodiversidad, no únicamente en sus productos y servicios, sino desde diversos instrumentos sectoriales, entre los que destacan la elaboración de estudios, guías y lineamientos.

En este sentido, en el marco de la 13a Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (COP13 del CDB) celebrada en México en 2016, se propuso al turismo como un sector prioritario para integrar la biodiversidad en su planeación, acciones y prioridades nacionales. Es así como en 2018 se publica la *Estrategia de integración para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el sector turístico (2016-2022)*, instrumento que representa la política pública nacional en materia de turismo, permitiendo establecer coincidencias y prioridades entre sectores para centrar a la diversidad biológica nacional como agenda clave para contribuir al desarrollo sustentable de México (SECTUR 2018). Bajo este escenario y considerando los ejemplos a nivel nacional, es indispensable transitar hacia el desarrollo de instrumentos de planeación de política pública estatal, que incluyan la preservación de los recursos biológicos de manera integral, incorporando la participación de los sectores productivos.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cuadro 1. Ejemplos de especies endémicas en Baja California Sur y las amenazas que enfrentan.

Especie	Nombre común	Importancia y amenazas identificadas
Aves		
Geothlypis beldingi	Mascarita peninsular	• Endémica del estado; se reproduce sólo en oasis con presencia de tule y/o carrizo • Es importante establecer medidas para su conservación debido al bajo tamaño poblacional, que la coloca como especie en peligro de extinción, principalmente por la pérdida de hábitat
Puffinus opisthomelas	Pardela mexicana	• Endémica de México, algunos individuos anidan en islas del golfo de California • Considerando que sus poblaciones muestran disminución de individuos debido a la introducción de especies exóticas como ratas y gatos en las islas, se requiere definir un programa estatal para el control y erradicación de estas últimas
Reptiles		
Bipes biporus	Ajolote de dos manos	• La entidad se distingue por su elevado número de reptiles endémicos, hasta ahora con 53 especies (58.2% del total de especies nativas del estado) • Debido a su atractivo, estas especies son objeto del comercio ilegal • Asimismo, son especies vulnerables ya que su área de distribución es restringida, además de que sus tamaños poblacionales son reducidos y frágiles
Elgaria paucicarinata	Lagartija lagarto del Cabo	
Aspidoscelis maximus	Huico del Cabo	
Bogertophis rosaliae	Culebra ratonera de Baja California	
Hemípteros		
Dipetalogaster maximus	Chinche piedrera	• Debido a la importancia ecológica de esta especie y al deterioro de los humedales donde habitan, se recomienda incrementar estudios que permitan determinar el estado de sus poblaciones
Plantas		
Guaiacum unijugum	Guayacán de Los Cabos	• Especie microendémica y de gran interés evolutivo que enfrenta fuertes amenazas debido a: a) La pérdida del hábitat y la introducción de especies exóticas invasoras b) Los cambios en la cobertura vegetal, debido a factores como el desarrollo urbano y turístico, los desmontes agrícolas, la ganadería extensiva y la minería

Fuente: elaboración propia con información contenida en la presente obra.

Análisis de las consideraciones de turismo en la obra *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado.*

Con la finalidad de identificar las consideraciones de la visión del sector turismo y sus efectos sobre la riqueza biológica de la entidad, se realizó un análisis para establecer una base diagnóstica de utilidad para el proceso de elaboración de la ECUSBE-BCS, considerando que esta última se realizará desde un enfoque en el principal sector productivo de la entidad asociado a la riqueza biológica y escénica sudcaliforniana: el turismo. Para identificar los elementos de turismo considerados en este Estudio de Estado, se realizaron búsquedas a lo largo de su contenido con los siguientes criterios: turismo, integración de la biodiversidad en el sector turismo, ecoturismo, turismo sustentable, visitantes, capacidad de carga y usuarios, factores de presión, oportunidad de mejora, manejo/uso, proyecto/iniciativa, marco legal/normativo e integración. A

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

partir de este análisis fue posible identificar las prioridades de atención y planeación de acciones a implementar en Baja California Sur mediante una Estrategia de Biodiversidad con enfoque en el sector turismo. Conforme a su naturaleza, estas prioridades y acciones pueden clasificarse en las categorías: 1) marco legal y normativo, 2) usos, 3) oportunidades de mejora, y 4) factores de presión (cuadro 2).

Conclusiones y principales recomendaciones para una política turística con integración de la biodiversidad en Baja California Sur

Para lograr un equilibrio entre el desarrollo turístico y la conservación de la biodiversidad en el estado, se requiere aplicar un enfoque estratégico que considere

Cuadro 2. Identificación de prioridades de atención y planeación de acciones en materia de biodiversidad y turismo.

Categoría	Aspectos identificados por los autores para integrar la biodiversidad en el sector turismo
Marco legal y normativo	Instrumentos jurídicos disponibles: • Se cuenta con instrumentos legales y normativos que respaldan el desarrollo del turismo ecológico sustentable en la entidad, considerando el valor y la conservación de la biodiversidad, como la Ley de Turismo para el Estado de Baja California Sur, el Programa Sectorial de Turismo 2021-2027 y la NOM-131-SEMARNAT-2010, entre otros Gestión territorial: • Los programas y planes de manejo en áreas naturales protegidas (ANP) incluyen especificaciones para integrar la biodiversidad en las actividades turísticas, como estudios de capacidad de carga y evaluación del límite de cambio aceptable[1] que permita monitorear los impactos de los visitantes sobre las ANP, así como adecuar las actividades y medidas de manejo para el mantenimiento de las condiciones deseables sobre los ecosistemas
Usos	Variedad de actividades: • Se identifican diversas actividades turísticas que se realizan en las ANP, que van desde la pesca deportiva hasta el aviturismo y el turismo de aventura, lo cual denota la diversidad de ecosistemas y especies con los que cuenta la región
Oportunidades de mejora	Aprovechamiento sostenible: • Aprovechar el potencial pesquero y turístico de las localidades para mejorar la calidad de vida de la población sudcaliforniana • Promover las actividades que son compatibles con la conservación de la biodiversidad (p.e. aviturismo) Infraestructura y servicios: • Se debe contar con políticas públicas orientadas a mejorar la infraestructura turística y el capital ambiental, lo que contribuirá al desarrollo sustentable del estado y al disfrute de los servicios ecosistémicos
Factores de presión	Impacto antropogénico: • Se requiere implementar acciones que contribuyan al desarrollo de instrumentos de planeación estatal sobre biodiversidad y turismo, en consonancia con el Plan Estatal de Desarrollo y el marco jurídico vigente en Baja California Sur, que regulen la actividad de los sectores de desarrollo, considerando la presión que ejercen sobre los ecosistemas en la entidad Turismo de observación: • Aunque importante económicamente, el turismo de observación de ballenas y delfines puede ser nocivo si no se respeta la normativa, especialmente en áreas como Los Cabos, donde el tráfico marino intensivo representa una amenaza para estos organismos

[1]Límite de cambio aceptable: determina la intensidad de uso o volumen de aprovechamiento de los recursos naturales en una superficie determinada. Incluye el proceso permanente de monitoreo y retroalimentación que permite la adecuación de las medidas de manejo para el mantenimiento de las condiciones deseables, cuando las modificaciones excedan los límites establecidos. Asimismo, contribuye a especificar el alcance, severidad y causa del problema, idealmente antes de que sea inaceptable. Fuente: elaboración propia con información contenida en la presente obra.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

tanto los beneficios económicos del turismo como sus impactos ambientales. A su vez, la implementación efectiva de las políticas existentes y la mejora de la infraestructura y los servicios turísticos son fundamentales para alcanzar un desarrollo sustentable en Baja California Sur. De forma puntual se necesita atención en:

- Desarrollar una gobernanza sólida mediante la planeación de las políticas sobre la biodiversidad con un enfoque integrado en el sector turismo.
- Promover el desarrollo del sector turístico partiendo del fortalecimiento de actividades que promuevan:
- Un crecimiento turístico incluyente: representa la transición hacia un turismo accesible para todos, mediante el cual los usuarios disponen de los recursos y servicios para el disfrute de las actividades turísticas, en particular para los grupos desfavorecidos económica y socialmente (p.e. prestación de servicios turísticos para mujeres en situaciones de vulnerabilidad, población indígena o con alguna discapacidad).
- La diversificación de productos y el desarrollo de destinos: implica evolucionar el modelo de desarrollo turístico, otorgando prioridad a las políticas e intervenciones que apoyen a diversas empresas en sistemas turísticos de menor escala, mediante un enfoque centrado en el consumidor para el desarrollo de productos y destinos.
- Priorizar la obtención de financiamiento dirigido a proyectos de biodiversidad con enfoque en un turismo que ofrezca el mayor potencial, que garantice el uso estratégico y eficiente de los recursos, contribuyendo a las oportunidades de financiamiento para empresas pequeñas y microempresas.
- Fortalecer las capacidades de gestión, manejo de los recursos biológicos y financiamiento para integrar la biodiversidad en las actividades del sector turismo.

Referencias

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. Río de Janeiro, Brasil. En: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>, última consulta: mayo de 2024.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. *Estrategia nacional sobre biodiversidad en México (ENBioMex) y Plan de Acción 2016-2030*. CONABIO, México.

IPBES. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2018. *Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas*. IPBES Secretariat, Alemania.

OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2017. *Estudio de la Política Turística de México*. OCDE, México.

SECTUR. Secretaría de Turismo. 2018. *Estrategia de integración para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el sector turístico (2016-2022)*. SECTUR, México.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Nuestros autores

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Abitia Cárdenas Leonardo Andrés
labitia@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Aceves Medina Gerardo
gaceves@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Acosta Gutiérrez Roxana
roxana_a2003@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Acosta Vargas Baudilio
bacosta04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Albores Barajas Yuri Vladimir
y.albores@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Alcérreca Huerta Juan Carlos
jalcerrecah@ecosur.mx
El Colegio de la Frontera Sur

Almendarez Hernández Marco Antonio
malmendarez@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Álvarez Cárdenas Sergio

Álvarez Castañeda Sergio Ticul
sticul@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Angeloni Del Castillo Paula Eliana
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Anguiano Vega Gerardo Alfonso
gerardo.anguiano@ujed.mx
Universidad Juárez del Estado de Durango

Angulo Campillo Orso Juan
orsoanguloc@gmail.com
Consultor independiente

Aranda López Omar

Arce Villavicencio Nallely
nvilla@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Argueta Arriaga José Agustín
argueta@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Arizpe Covarrubias Oscar
oarizpe@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Armendáriz Villegas Elisa Jeanneht
jean.armen@gmail.com
Gobierno del Estado de Baja California Sur

Arnaud Franco Gustavo Alberto
garnaud04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Ávalos Hernández Omar

Avendaño Ibarra Raymundo
ravendan@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Ávila García Ariadna Esmeralda
a.avila@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Ayala Pérez Víctor Omar
v.ayala@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Balart Páez Eduardo Francisco

Band Schmidt Christine Johanna
cbands@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Barjau González Emelio
ebarjau@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Bashan Yoav†

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Beltrán Castro Juan Ramón
juan.beltran@cbtis62.edu.mx
Centro de Bachillerato Tecnologico Industrial y de Servicios

Beltrán Morales Félix Alfredo
abeltran@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Benavides Rios Eva
eva.benavides.rios@gmail.com
Anglia Ruskin University

Bencomo Álvarez Alfonso Enrique

Bermúdez Almada Benito

Blázquez Moreno María del Carmen
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Bobadilla Jiménez Mariana

Bocanegra Castillo Noemí
nbocanegra@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Breceda Solís Cámara Aurora†

Brito Castillo Luis
lbrito04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Bustillos Guzmán José Jesús
josebgjesus@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Cab Sulub Leticia
lety.cs90@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Caballero Güendulain Karina
karinacg@unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Camacho Ruedas Juan Pablo
camachoruedasjuanpablo@gmail.com
Universidad Nacional Autónoma de México

Camarena Rosales Faustino

Camargo Pérez Alejandro Issac
issaccamargo@gmail.com
Universidad Autónoma de Sinaloa

Campos Dávila Lucía
lcampos04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Campos Torres Oliva
olis.campos@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Cancino Hernández Jorge de Jesús
jcancino04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Cano Santana Zenón
zcs@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Caraveo Patiño Javier
jcaraveo04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Cariño Olvera Martha Micheline
m.carino@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Carmona Piña Leandro Roberto
beauty@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Casas Valdez Margarita
mcasasv33@gmail.com
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Castaño Meneses Gabriela
gcastanom@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Castellanos Vargas Iván
icv@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Cazares Ramírez Linette Hazel
Universidad Juárez del Estado de Durango

Chávez Hidalgo Alejandra
achavezh65@gmail.com
Centro de Asesoría para la Sustentabilidad Ambiental A.C.

Chávez Morelos María del Rosario
r.chavez.morelos@gmail.com
Universidad Autónoma de Baja California

Cornejo Latorre Cristian
crisclat@gmail.com
Universidad Nacional Autónoma de México

Cortés Calva Patricia
pcortes04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Cruz Angón Andrea
acruz@conabio.gob.mx
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Cruz Chávez Plácido

Cruz García Luz María
lmcruz@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Cruz Hernández Pedro
pcruz@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Cruz López Jesus Rafael
rcruz@oandn.org
Ocean and Nature A.C.

Cruz Medina Jorge
jcruz@conabio.gob.mx
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Cruz Piñón Gabriela
gacruz@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

De Anda Montañez Juan Antonio

De la Paz Cuevas Mayra
mdelapaz04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

De Lachica Bonilla Francisco†

De León Espinosa Angel
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

De los Ríos Luna Rodrigo Andrés
radelosrios@gmail.com
Centro Amarilo

Defeo Gorospe Omar Domingo
odefeo@fcien.edu.uy
Universidad de la República de Uruguay

Delgado Vargas Francisco
fdelgado@uas.edu.mx
Universidad Autónoma de Sinaloa

Díaz Blanco Daniel Alberto
danielqbt07@gmail.com
Universidad Juárez del Estado de Durango

Díaz Castro Sara Cecilia
direcciongeneral@coscyt.mx
Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología

Domínguez Cadena Raymundo

Echevarría Haro Jesús
jesus.echevarria@conapesca.gob.mx
Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca

Elorriaga Verplancken Fernando Ricardo
felorriaga@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Erickson Richard

Figueroa Reyes Adela
adela@uabc.edu.mx
Universidad Autónoma de Baja California

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Flores Anaya Ricardo Javier
Rfloresa1705@alumno.ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional

Flores Ramírez Sergio

Galina Tessaro Patricia
pgalina04cibnor@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Galván Magaña Felipe
fgalvan@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Galván Tirado Carolina
c.galvan@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Galvez Ballesteros María de la Paz
mgalvezballesteros@gmail.com
Medio Ambiente y Sociedad A.C.

Gámez Vázquez Alba Eritrea
agamez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

García De León Francisco Javier
fgarciadl@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

García López Karen Berenice
karen.be.03@gmail.com
Servicio Nacional de Aprendizaje

García Maldonado José Quinatzin
jose.garcia@cinvestav.mx
Instituto Politécnico Nacional

García Velazco Humberto
humgarciavel@hotmail.com
Unidad de Educación Media Superior Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar

Gaxiola Robles Ramón

Geiger Villalpando Andrea Marcela
andrea.geiger@profepa.gob.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Glebskiy Yury
agloti@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Gómez del Prado Rosas María del Carmen
mcgomez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Gómez Gallardo David
david.gomez@conafor.gob.mx
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Gómez Gallardo Unzueta Enrique Alejandro
eagg@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Gómez Gutiérrez Jaime
jagomezg@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Gómez León Adriana Abigail
geology.adriana@gmail.com
Comisión Nacional del Agua

González Acosta Adrián Felipe
aacosta@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

González Baheza Arturo
agonzalez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

González de Bashan Luz Estela
luz@bashanfoundation.org
Bashan Institute of Science

González González Jesús
biojes_14@hotmail.com

González Payan María Elizabeth

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

González Peláez Sergio Scarry
scarry04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Grijalva Calderón Cinthia Karely
karely_grijalva@hotmail.com
Aquamol S.C. de R.L.

Guerra Huitrón Luz Karina
karina.pinacate@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Guerrero Cárdenas Israel
guerrero04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Gutiérrez Flores Carina
carina.gutierrez@secihti.mx
Universidad Autónoma de Guerrero

Gutiérrez Ruacho Oscar Gerardo

Guzmán Torres Mirely
mirelygt@ciencias.unam.mx
The Carbon Trust

Hernández Alvarez Adriana Delfina
ahernandez@pronatura-noroeste.org
Pronatura A.C.

Hernández Barrera Jesús Ricardo
jesusricardohb@hotmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Hernández Carmona Gustavo
gcarmona@ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional

Hernández González Julio

Hernández Hernández Brenda
brennd_by@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Hernández López Armando
arhernandez@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Hernández Morales Pablo
pa.hernandez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Hernández Moreno Luis Gerardo
lghm@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Hernández Sandoval Francisco Eduardo
fhernan04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Hernández Trejo Víctor Ángel
victorh@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Herrera Valdivia Eloisa

Hinojosa Díaz Ismael Alejandro
ihinojosa@ib.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Holguín Peña Ramón Jaime
jholguin04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Hollingsworth Bradford Damion
bhollingsworth@sdnhm.org
San Diego Natural History Museum

Ibáñez Pérez Reyna María
ribanez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Ibarra Núñez Edgar
edgar.ibarra79.el@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Ivanova Boncheva Antonina
aivanova@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Jaime Rivera Mario
carcharodonmaritus@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Jakes Cota Ulianov
ujakes@ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional

Jarquín González Jani
jani.jarquin@gmail.com
Instituto Tecnológico de Chetumal

Jiménez Jiménez María Luisa
ljimenez04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Jiménez Rosenberg Sylvia Patricia Adelheid
srosenbe@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Juárez León Eduardo
lalo@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Juárez Mancilla Judith

Kachok Gavarain René Arturo
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Lagunas Vázques Magdalena
vaz.lag@gmail.com
Consultora independiente

Lagunes Díaz Elio Guarionex

Lara Uc María Mónica
mlara@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Leal Jiménez Miguel Ángel†

Lebsky Vladimir

León Cisneros Karla
kleon@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

León de la Luz José Luis
pachycereus@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Leyva Valencia Ignacio
ileyvav@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Lluch Cota Daniel Bernardo
dblluch@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Lluch Cota Salvador Emilio
slluch@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

López Cortés Alejandro
alopez04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

López Cortés David Javier†

López Fuerte Francisco Omar
folopez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

López López José Luis
lopezlopezjol42@gmail.com
Instituto Tecnológico de La Paz

López Martínez Juana
jlopez04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

López Morales Carlos Andrés
calopez@colmex.mx
Colegio de México

López Torres Alejandra
hola.thealeale@gmail.com
Consultora independiente

López Vivas Juan Manuel
jmlopez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Lora Vilchis María Concepción
cony04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Lozano Cobo Horacio
hlozanoc21@xanum.uam.mx
Universidad Autónoma Metropolitana

Luis Martínez Moisés Armando

Luna Rodríguez José Raúl
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Macías Carballo Mariana

Maeda Martínez Alejandro Manuel
almaeda04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Marrón Méndez Guadalupe Gerardo
atakamara@gmail.com
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Martínez Aguilar Sergio
yellowwhale@hotmail.com
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Martínez Cervantes Ana Celeste
celeste.martinez@st.ib.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Martínez López Aída
amartin@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Martínez Loustalot Rocío Pamela
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Martínez Noguez Josué Jacob
jjmnoguez@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Martínez Rincón Raúl Octavio
rrincon@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Maya Delgado Yolanda Lourdes
yolanda.maya.d@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Mazariegos Villarreal Alejandra
amaza04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Medel Narváez Alfonso
amedel@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Medina Hernández Diana
dmedina@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Mejía Rebollo Arminda
arebollo04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Melgarejo Erika Daniela
emelgare@conabio.gob.mx
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Méndez Rodríguez Lía Celina
lmendez04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Mendoza Portillo Verónica
veronica.mepor@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Mercado Guido María del Carmen
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Mercier Laurence Stéphanie
lmercier04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Minjarez Velasco Iara
Iara.minjares.velasco@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Monroy Gamboa Alina Gabriela
beu_ribetzin@hotmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Monteforte Sánchez Mario

Mora Arrambídez Delia María

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Morales Flores Georgina
geomoflor@gmail.com
Grupo ERAS Consultores S.A. de C.V.

Morales Zárate María Verónica
mzarate04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Moreno Alcántara María
maria_moreno@uan.edu.mx
Universidad Autónoma de Nayarit

Moreno Legorreta Manuel
legorreta04@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Munguía Vega Adrián

Muñoz García Claudia Irais
cimunoz@correo.xoc.uam.mx
Universidad Autónoma Metropolitana

Murillo Amador Bernardo
bmurillo04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Murillo Jiménez Janette Magali
jmurillo@ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional

Murugan Gopal
murugan04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Nájera Cordero Karla Carolina
knajera@conabio.gob.mx
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Nieto Garibay Alejandra
anieto04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Núñez Vázquez Erick Julián
enunez04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Obregón Barboza Hortencia
hobregon04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Ocampo Victoria Lucia

Ochoa Díaz María Ruth
mrochoa@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Olivas Hernández José Luis
ruah.aelohim@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Olmos Martínez Elizabeth
eolmosm.udo@gmail.com
Universidad Autónoma de Occidente

Oropeza Bueno Cintia Lucero
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Orozco Ruiz Adonaji Madeleine
aorozco@pg.cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Ortega Arriaga Paloma
palomaortega.a@gmail.com

Ortega Rubio Alfredo
aortega@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Palacios Cardiel Carlos
palacios04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Palacios Vargas José Guadalupe
troglolaphysa@hotmail.com
Universidad Nacional Autónoma de México

Pedraza Venegas Karla Verónica
kv.pedrazavenegas@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Pérez Cortés Moreno Héctor
hector.perezcortes@gmail.com
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Pérez Enríquez Ricardo
rperez@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Pérez Hernández Cisteil Xinum
cxinum@gmail.com
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Pérez Navarro José Juan†

Pérez Silva Evangelina

Petatan Ramírez David

Piñón Gimate Alejandra
apinong@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Pío León Juan Fernando
d1j17kk@hotmail.com
Instituto Politécnico Nacional

Poghosyan Arevik
arevik04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Pozas Ocampo Ivan Fernando
fernandopozas@hotmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Quiñonez Velázquez Casimiro
cquinone@ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional

Ramírez Arce José Luis
lramirez04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Ramírez Ivanova Ekaterine Ambar
eka.ivanova@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Ramírez Orduña Rafael
rramirez@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Ramos Velázquez Ernesto
eramos@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Rebman Jon Paul

Rendón Franco Emilio
erendon@correo.xoc.uam.mx
Universidad Autónoma Metropolitana

Rendón von Osten Jaime
jarendon@uacam.mx
Universidad Autónoma de Campeche

Reyes Bonilla Héctor
hreyes@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Reygadas Dahl Fermín
reygadas@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Rivera Castañeda Patricia
privera@colef.mx
El Colegio de la Frontera Norte

Rivera Rosas Joaquin
jrivera04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Rodríguez Miranda Jesús Alejandro
ibq.jarm@hotmail.com
Secretaría de Planeación Urbana e Infraestructura, Movilidad, Medio Ambiente y Recursos Naturales de Baja California Sur

Rodríguez Romero Jesús
jrodri04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Rodríguez Villeneuve Juan Antonio
aville04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Romero Figueroa Guillermo
gromero4@uabc.edu.mx
Universidad Autónoma de Baja California

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Romero González Astrid Carolina
bmastridromero@gmail.com
Organización de las Naciones Unidas

Romero López Blanca Estela
bromero@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Romero Mata Ariana
arianromat@yahoo.com.mx
Universidad Nacional Autónoma de México

Romo Piñera Abril Karim
akromo@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Rosas Pacheco Luis Fernando
rosas@uaeh.edu.mx
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Ruiz Campos Gorgonio
Universidad Autónoma de Baja California

Ruiz Cortes Lenin

Ruiz Espinoza Francisco Higinio
fruiz@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Ruiz Mondragón Enrique de Jesús
ruize56@uabc.edu.mx
Universidad Autónoma de Baja California

Sáenz Arroyo Andrea
msaenz@ecosur.mx
El Colegio de la Frontera Sur

Saldierna Martínez Ricardo Javier
rsaldier@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Saldívar Lucio Romeo
rsaldivar@cicese.edu.mx
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Salinas Zavala César Augusto
csalinas@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Salvadeo Christian
csalvadeo@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Sánchez Brito Ismael
isanchez@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Sánchez González Alberto
alsanchezg@ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional

Sánchez Ortíz Carlos Armando

Sánchez Uvera Arturo Rubén
uverart@gmail.com
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Santillán Sidón Alma Patricia
paty_20_san@hotmail.es
Universidad Juárez del Estado de Durango

Serrano Castro Rodrigo

Serrano Pinto Vania Verónica
serranovania04@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Serviere Zaragoza Elisa
serviere04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Silveyra Bustamante Angel Antonio
s.b.angel4@gmail.com
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Siqueiros Beltrones David Alfaro
dsiquei@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Solís Jerónimo Sandra Janet
sandrajanetsolisjeronimo@gmail.com
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Torres Alfaro Guadalupe Minerva
gmtorres@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Torres García Alberto

Tripp Quezada Arturo
atripp@ipn.mx
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN

Troyo Diéguez Enrique

Urbán Ramírez Jorge
jurban@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Vacio Fraga Carmen Angélica
c.vaciof@isla.org.mx
Conservación del Territorio Insular Mexicano A.C.

Valdez Villavicencio Jorge Heriberto
jorge.valdez@faunadelnoroeste.org
Conservación de Fauna del Noroeste A.C.

Valdivia Carrillo Tania
tania.valdiviac@gmail.com
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Valenzuela Quiñonez Fausto
fvalenzuela@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Vargas Fernández Isabel

Vargas Salinas Mayela
vmaye3@gmail.com
Consultora independiente

Vázquez Ovando Celia Gloria
cboucard04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Vázquez Quiroz Paola

Vega Aviña Rito
rito.vegaq@gmail.com
Universidad Autónoma de Occidente

Velázquez Quiroz Paola Yazmin

Viloria Gómora Lorena
lviloria@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Zamora Salgado Sergio
szamora@uabcs.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Zenteno Savín Tania
tzenteno04@cibnor.mx
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Compilación y edición técnico-científica de las secciones:

VOLUMEN I
Medio físico: M. en C. Jorge Cruz Medina[1]
Contexto socioeconómico: Dr. Enrique Alejandro Gómez Gallardo Unzueta[2]
Contexto normativo e institucional: Dr. Alfredo Ortega Rubio[3]
Gestión de la biodiversidad: Dr. Enrique Alejandro Gómez Gallardo Unzueta[2]
Diversidad de ecosistemas: M. en C. Jorge Cruz Medina[1]

VOLUMEN II
Diversidad de especies: Dr. Enrique Alejandro Gómez Gallardo Unzueta[2]

VOLUMEN III
Diversidad genética: Dr. Francisco Javier García De León[3]
Usos tradicionales y convencionales: Dr. Alfredo Ortega Rubio[3]
Factores de presión y oportunidades: Dr. Alfredo Ortega Rubio[3]
Hacia la estrategia: CONABIO

[1]Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), [2]Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), y [3]Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR).

Revisión técnica de textos,[a] listas de especies[b] y apoyo administrativo:[c]
Inti Burgos Hidalgo,[a] Esteban Eduardo Benítez Inzunza,[a] Nubia Betzabé Morales Guerrero,[a] Oscar Báez Montes,[a] Elizabeth Campos Sánchez,[a] Erika Daniela Melgarejo,[a] Jorge Cruz Medina,[a,b] Griselda Guerrero Márquez[b] y Consuelo Islas Gálvez.[c]

Agradecimientos:
La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, expresa su reconocimiento a todas aquellas instituciones y personas que colaboraron en la elaboración del presente Estudio de Estado, en particular a Rodrigo Andrés de los Ríos Luna, Christian de Jesús Pérez Cárdenas, Paolette Trasviña Medina, Diana Espinoza Meza y Nora Alicia Trelles Ríos, por su apoyo para la conformación de esta obra; al Dr. Felipe Neri Melo Barrera por su colaboración en las etapas iniciales de compilación; así como a la Secretaría de Planeación Urbana e Infraestructura, Movilidad, Medio Ambiente y Recursos Naturales de Baja California Sur, en especial a la Arq. Carolina Armenta Cervantes, al Ing. Francisco Flores González y a la Lic. Selma Leonor Rodríguez Orozco por su labor para concluir esta obra.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Forma de citar:
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Baja California Sur. 2025. *La biodiversidad en Baja California Sur. Estudio de Estado*. CONABIO/FFB, México.

Los apéndices de esta obra se encuentran en forma digital en:
http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html

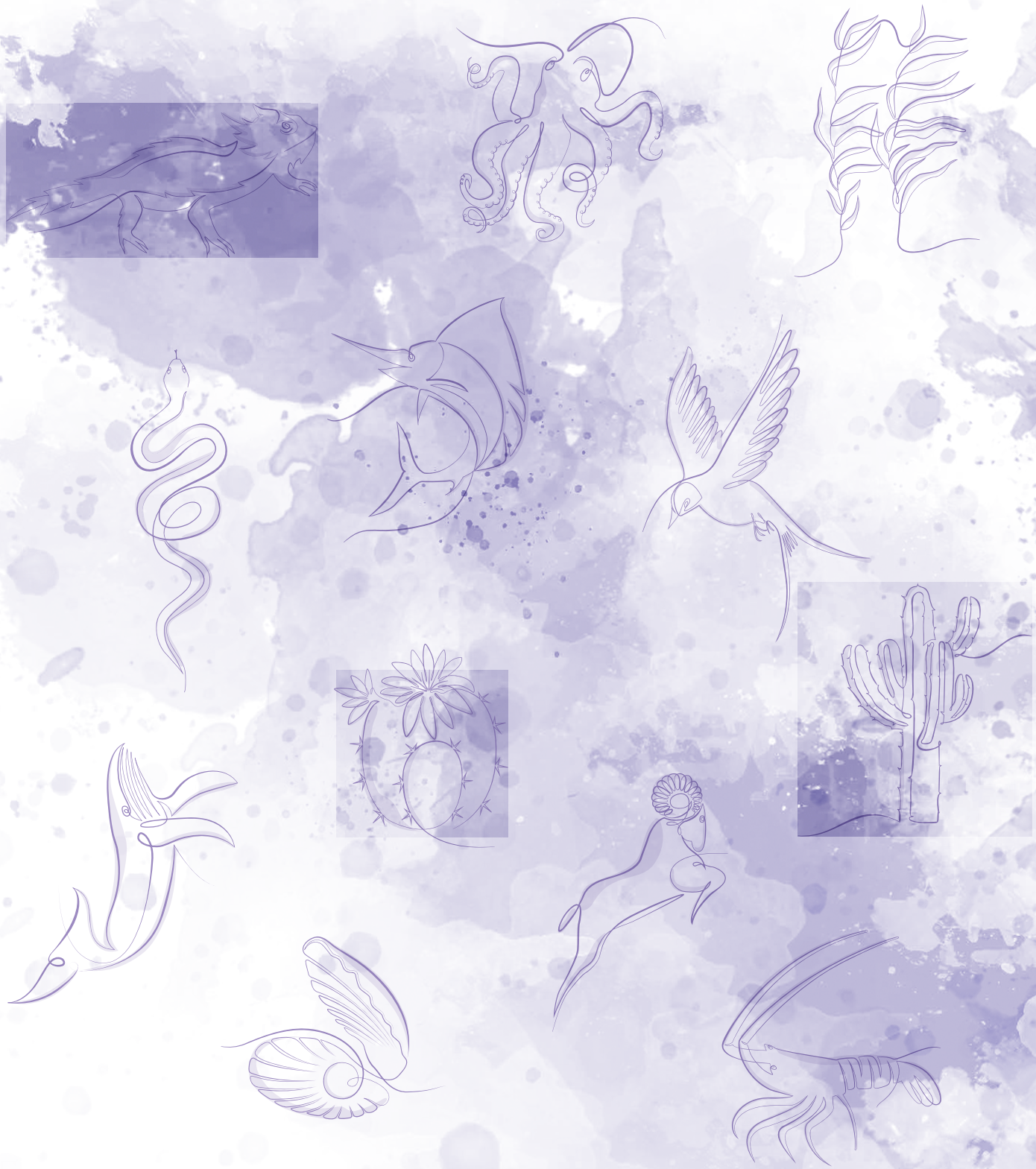
Versión digital

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

Versión digital publicada en noviembre de 2025
Familia tipográfica: BigCity Grotesque Pro

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA



ISLA®

PNUD

VISIT BAJA CALIFORNIA SUR
WWW.VISITBAJASUR.TRAVEL

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

CONABIO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

GOBIERNO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA