

Revista internacional revisada por pares que contiene resultados originales de investigación en todas las áreas de las ciencias para el Cambio Climático

An international, peer-reviewed journal that contains original research findings in all areas of science for Climate Change.

REVISTA

JAINA

COSTAS Y MARES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Vol. 5 (1) 20223



ISSN :0188-4700

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático, es una publicación internacional dedicada al estudio de todos los aspectos relacionados con el conocimiento científico para el cambio climático a nivel internacional, regional, nacional y local. El uso y la conservación de los recursos costeros y marinos, incluyendo recursos de ecosistemas dulceacuícolas, requieren de un enfoque multidisciplinario, desde las ciencias naturales hasta las ciencias físicas, químicas, así como del análisis político, económico y social.

DIRECTORIO EDITORIAL

Editor en Jefe / Editor in Chief
Dr. Yassir Edén Torres Rojas

Editores Asociados / Associate Editors

Dra. Claudia M. Agraz Hernández
Dr. Rodolfo Enrique del Río Rodríguez
Dr. Ricardo Dzul Caamal
Dr. Maurilio Lara Flores
Dr. Edgar F. Mendoza Franco
Dr. Gregorio Posada Vanega
Dra. Evelia Rivera Arriaga
Dra. Beatriz Edith Vega Serratos

Coordinación Editorial / Editorial Coordinator
ME Jorge Gutiérrez Lara

Diseño Gráfico
DG Juan M. Matú Fierros

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático, es una publicación con dos números anuales. Es una publicación editada por la Universidad autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar S/N entre Calle 20 y Juan de la Barrera. Col. Buenavista. CP 24039. Tel. +52(981) 8119800; <https://jainaccc.uacam.mx>. Editor responsable: Dr. Edgar Fernando Mendoza Franco. ISSN 0188-4700 Universidad Autónoma de Campeche Av. Agustín Melgar S/N entre Calle 20 y Juan de la Barrera. Col. Buenavista. CP 24039. fecha de última modificación 15 de junio de 2019.

COMITÉ EDITORIAL / EDITORIAL BOARD

Dr. Francisco Arreguín
CICIMAR-IPN, México

Dr. Basilio Lara Chávez
UABC, México
Dr. Antonio Luna González
CINIDIR-IPN, México

Dr. Milton Azmus,
Universidad de Sao Paulo,
Brasil

Dr. David J. Marcogliese
McGill University, Canadá

Dr. Isaac Azuz-Adeath
CETYS-universidad, México

Dr. Andrés Martínez-Aquino<
UNAM, México

Dr. Ángel Campa Córdova
CIBNOR, México

Dr. Eduardo Mendes da Silva
Universidad de Bahia, Brasil

Dra. Sandra Cassotta
Aalborg Uniiver., Dinamarca

Dr. Edgar Mendoza Baldwin
UNAM, México

Dr. Martha I. Espejel Carbajal
UABC, México

Dr. Adrián Quintero Gutiérrez
IPN, México

Dra. Julia Fraga
CINVESTAV-Mérida, México

Dra. Silvia Salas
CINVESTAV-Mérida, México

Dr. Daniel Geartner
Institute of Research
for Development

Dr. Guillermo Salgado
UNAM, México

Dr. Pierre Marie Kaktcham
Université de Dschang,
Camerún

Dr. Alfonso V Botello
UNAM, México

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático
esta soportado por:

OJS
Open Journal System

...en este número

Marco jurídico y administrativo mexicano para la evaluación de programas de restauración de poblaciones de tortugas marinas Mexican legal and administrative framework for the evaluation of sea turtle restoration programs <i>Patricia Huerta-Rodríguez, Moisés Frutos Cortés, Alberto Abreu-Grobois, Enrique NúñezLara, Gerardo A. Rivas-Hernández, Vicente Guzmán-Hernández y Eduardo Cuevas</i>	5
Interacciones potenciales entre embarcaciones menores y zonas de agregación de tortugas marinas en isla Arena, Campeche Potential interactions between small boats and marine turtle aggregation zones in isla Arena, Campeche <i>Eduardo Calderón-Alvarado, Abigail Uribe-Martínez, Luis Amado Ayala-Pérez y Eduardo Cuevas</i>	25
Panorama actual de la pesca ribereña en la desembocadura del río Actopan, Chachalacas, Veracruz (periodo 2014-2023) Current panorama of coastal fishing at the mouth of the Actopan River, Chachalacas, Veracruz(2014-2023 period) <i>Daniel Becerril-Cortés, María del Carmen Monroy Dosta, Jayro García-López, Regina Solano-Rendón y José Antonio Mata-Sotres</i>	41
Particularidades en el conocimiento de la biología del género <i>Sphoeroides</i> y <i>Lagocephalus</i> del golfo de México Particularities in the knowledge of the biology of the genus <i>Sphoeroides</i> and <i>Lagocephalus</i> from the Gulf of Mexico <i>Jaime Navarro-Flores* y Ana Luisa May-Tec</i>	51

Huerta-Rodríguez, P., Frutos Cortés, M., Abreu-Grobois, A., Núñez Lara, E., Rivas-Hernández, G.A., Guzmán-Hernández, V., Cuevas, E. 2023. Marco jurídico y administrativo mexicano para la evaluación de programas de restauración de poblaciones de tortugas marinas. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático* 5(1): 5-24. doi 10.26359/52462.0123



Marco jurídico y administrativo mexicano para la evaluación de programas de restauración de poblaciones de tortugas marinas

Mexican legal and administrative framework for the evaluation of sea turtle restoration programs

Patricia Huerta-Rodríguez^{1,2,}, Moisés Frutos Cortés², Alberto Abreu-Grobois³, Enrique Núñez Lara⁴, Gerardo A. Rivas-Hernández⁴, Vicente Guzmán-Hernández¹ y Eduardo Cuevas^{5,6}*

¹Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos CONANP.

²Centro de Investigación en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Naturales, UNACAR.

³ Laboratorio de Genética, Unidad Académica Mazatlán, ICMaL-UNAM.

⁴ Facultad de Ciencias Naturales, UNACAR.

⁵ Programa de Investigadoras e Investigadores por México, CONACYT, UNACAR.

⁶ Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California.

* autor de correspondencia: patyhuerta10@hotmail.com

doi 10.26359/52462.0123

Recibido 22/marzo/2023. Aceptado 18/mayo/2023

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

En el presente documento se ofrece un panorama histórico del Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas (PNCTM), desde la perspectiva de las políticas públicas en materia ambiental. Inicialmente se presenta una línea de tiempo destacando algunos de los acontecimientos más significativos desde los inicios del PNCTM, considerado como uno de los programas de conservación más antiguos en México. En una segunda parte, se expone el marco conceptual que visibiliza al Programa para la Conservación de las Especies en Riesgo (PACE), como una herramienta de gestión de la política pública, y que como tal debe estar sometido a procesos orientados desde la gestión de proyectos, como lo es la evaluación. En este contexto se expone la importancia de los procesos de evaluación de políticas públicas (sus programas y proyectos) en el sentido de obtener resultados que lleven a mejoras en los contenidos y procesos de implementación de los programas, orientándolos hacia el manejo adaptativo para obtener mejores resultados, en este caso la recuperación de las poblaciones de tortugas marinas. Se presenta una reseña sobre algunos ejercicios de evaluación de planes de recuperación de especies a nivel internacional y en México. De esta revisión se concluye la urgencia de realizar evaluaciones de los resultados de la implementación de los planes de recuperación, como los son los PACE.

Palabras clave: política pública ambiental, evaluación de políticas públicas, tortugas marinas, PACE.

Abstract

This document provides a historical overview of the National Sea Turtle Conservation Program (PNCTM) from the perspective of public policies on environmental matters. Initially, a timeline is presented, highlighting some of the most significant events since the beginning of the PNCTM, considered one of the oldest conservation programs in Mexico. In the second part, the conceptual framework that underlies the Conservation of Species at Risk Program (PACE) is analyzed as the tool for managing public policy and that, as such, must be subject to processes essential for project management, such as evaluation. In this context, the importance of the evaluation processes of public policies (their programs and projects) is highlighted as a means for insight that led to improvements in their contents and in the processes of program implementation, orienting them towards adaptive management to improve results. In this case, this entails the recovery of sea turtle populations. An overview of some exercises for the evaluation of species recovery plans at the international level and in Mexico is presented. From this we conclude that there is a critical urgency to evaluate the results of the recovery plans, such as PACE.

Keywords: Environmental public policy, public policy evaluation, sea turtles, PACE



Introducción

En todos los ámbitos de la sociedad, desde finales del siglo pasado hasta la actualidad, la mejora continua de procesos es el acto de la búsqueda de optimizar productos, servicios, operaciones, programas de una organización, empresa o gobierno, con la implementación de prácticas estandarizadas. Su objetivo es mantener el sistema sincronizado, eficiente y productivo de acuerdo con los objetivos y prioridades establecidos en los planes de gestión.

Como políticas públicas (pp) instauradas por el gobierno federal mexicano, desde la década de los 60, los planes o programas de recuperación (pr) de especies en riesgo para el mantenimiento de la biodiversidad y la conservación del genoma en México no escapan a esta necesidad de mejoras mediante

la valoración del proceso a lo largo del tiempo. En este trabajo se hace una reseña histórica del Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas, en el contexto de su evolución en el tiempo, donde se analiza (1) sus planes de recuperación considerando indicadores ecológicos, (2) los niveles de retroalimentación periódica de programas gubernamentales como los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE) de tortugas marinas y sus predecesores como instrumentos rectores, (3) la aplicabilidad del manejo adaptativo y (4) los avances en el proceso de restauración de las especies, como resultado de la aplicación de métodos de evaluación adecuados.

Estado de conservación de las tortugas marinas y su marco jurídico

Las tortugas marinas forman parte de la megafauna marina; son especies longevas, y migratorias, habitan en todos los mares y océanos del mundo. A lo largo de su ciclo de vida, se desenvuelven en distintos hábitats costeros y pelágicos, y cada especie tiene adaptaciones fisiológicas y anatómicas únicas con las que desempeñan sus funciones ecosistémicas específicas como elementos esenciales de los ecosistemas que utilizan.

En México las seis especies de tortugas marinas, *Dermochelys coriacea* -laúd-, *Caretta caretta* -caguama- *Lepidochelys kempii* -lora- *L. olivacea* -golfina-, *Chelonia mydas* -verde o blanca en el Atlántico y prieta en el Pacífico-, y *Eretmochelys imbricata* -carey-, son Especies Prioritarias para la Conservación (DOF, 03/07/2000; DOF, 05/03/2014), por “su importancia estratégica para la conservación de hábitats y de otras especies”, y están protegidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 con la categoría de en peligro de extinción (DOF, 30/12/2010; DOF, 14/11/2019). En especial, estas especies se consideran centinela, sombrilla y bandera, por distintas condiciones

y circunstancias de su ciclo de vida, así como de su ecología básica y servicios ecosistémicos (Frazier, 2010; Valera-Bermejo *et al.*, 2016).

A nivel internacional, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés), las incluye en su Apéndice I, en donde se enlistan las especies con alto grado de peligro y por lo cual su comercio internacional está prohibido, salvo algunas excepciones como por ejemplo usos y costumbres reconocidos en algunas localidades (CITES, 2017; DOF, 14/04/2014). Asimismo, la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT), las cataloga como especies en peligro (DOF, 31/12/1996; Secretaría CIT, 2004). Además, están incluidas en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (UICN, 2020) como resultado de enfrentar amenazas como, la pesca dirigida e incidental, el saqueo de nidadas, la matanza de hembras, y de manera más reciente la pérdida o deterioro de sus hábitats críticos.



Marco administrativo del Programa Nacional de Tortugas Marinas

El Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas en México es quizás de los más antiguos dirigido a un grupo de especies en particular. Se constituyó oficialmente en 1966 por el Instituto Nacional de la Pesca (INP), hoy Instituto Nacional de la Pesca y Acuacultura (INAPESCA), como el Programa Nacional de Investigación de Tortugas Marinas (PNITM), siendo de los pioneros en este tema a nivel mundial (Márquez-Millán y Peñaflores, 2016). Desde su inicio ha alentado diversas estrategias de conservación, protección y restauración (figura 1), entre las que destaca el establecimiento de

Centros de Protección y Conservación de Tortugas Marinas (CPCTM, conocidos como campamentos tortugueros), con el objetivo de restaurar las poblaciones de estas especies a través de la implementación de acciones que favorezcan la recuperación de los tamaños de sus poblaciones, incorporando la mayor cantidad de crías al medio silvestre (Márquez-Millán y Peñaflores, 2016), así como la implementación de herramientas desde el marco legal y jurídico (normas, acuerdos y decretos) para enfrentar y mitigar las amenazas de mayor impacto sobre sus poblaciones y hábitats críticos (DOF,

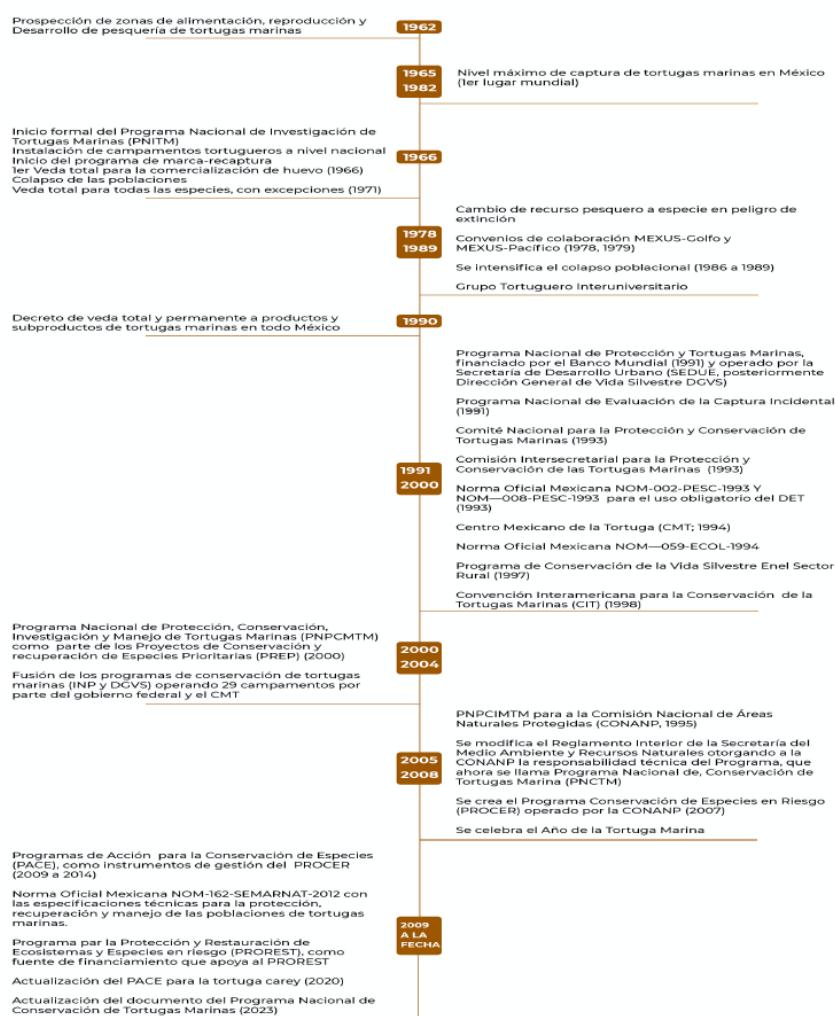


Figura 1. Línea de tiempo de la historia de la conservación y protección de las tortugas marinas en México (construida con base en Márquez-Millán y Peñaflores, 2016).



29/10/1986; DOF., 31/05/1990; DOF, 31/01/2023; Márquez-Millán y Peñaflor, 2016).

Los resultados obtenidos a la fecha en términos de sus tendencias poblacionales son ejemplo de éxito, entre los que se observa la mejoría en el tamaño poblacional de las especies, transformando los desplomes poblacionales en crecimientos sostenidos en los últimos años de la tortuga lora, la tortuga verde y la tortuga carey (López-Castro *et al.*, 2022; del Monte-Luna *et al.*, 2023; Guzmán, 2020; Guzmán-Hernández *et al.*, 2022; SEMARNAT, 2018a; 2018b; 2020).

Durante la historia del programa, un acontecimiento que posicionó a las tortugas marinas en la PP de México fue la publicación del Programa de Conservación de Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural en 1997, donde una de sus estrategias fue el proyecto de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias, consideradas

como aquellas especies en alguna categoría de riesgo, con posibilidades de recuperar sus poblaciones y que tuvieran atributos como ser carismáticas, con valor cultural o económico (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP], 1997). De este Programa en al año 2000, derivó el Programa de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias (PREPS), publicación que reconoció al Programa Nacional de Protección, Conservación, Investigación y Manejo de Tortugas Marinas (PNPCIMTM) por el Instituto Nacional de Ecología (INE), operado desde la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), de la entonces Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) (figura 2), reconociendo a las tortugas marinas explícitamente como especies prioritarias para la conservación (INE-SEMARNAP, 2000), hecho formalizado en el 2014 en el DOF (05/03/2014).



Figura 2. Instrumentos de política pública en materia de conservación y protección de las tortugas marinas en México.



Posteriormente, en el año 2005 la responsabilidad técnica del PNPCIMTM se trasfirió a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) bajo la tutela de la Dirección General de Operación Regional (DGOR) en la Dirección de Especies Prioritarias para la Conservación (DEPC), reconocido oficialmente en 2006 (DOF, 29/11/2006) como Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas (PNCTM). Recientemente la CONANP (2022), publicó la actualización del PNCTM, que tiene como objetivo “*Recuperar las poblaciones de las seis especies de tortugas marinas que se distribuyen en México mediante la protección de hembras, nidadas, crías, y sitios prioritarios para la reproducción,*

alimentación y desarrollo, con la estrecha participación de la sociedad mexicana, fomentando una cultura para su conservación”.

Desde la CONANP, y a través del Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST), antes Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER), se establecieron las directrices para la conservación y restauración de las poblaciones de tortugas marinas y sus hábitats en México mediante las estrategias de conservación contenidas en los Programas para la Conservación de las Especies en Riesgo (PACE), en concordancia con los objetivos particulares y líneas estratégicas del PNCTM (CONANP, 2007; 2022).

Políticas públicas asociadas a la conservación de tortugas marinas

En México, la política ambiental tiene como punto de partida la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cual establece que los mexicanos tenemos “...derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, y el estado garantizará el respeto a este derecho” (Figura 3). En este contexto la construcción de la PP resulta en el establecimiento de instrumentos jurídicos y normativos que se fortalecen con la implementación de planes, programas y proyectos orientados en su mayoría, a la conservación del medio ambiente y el desarrollo sustentable (Micheli, 2002; Guevara Sanginés, 2005; Muñoz Sevilla *et al.*, 2018; Provencio, 2019).

En el presente trabajo se entiende como PP a aquellas iniciativas encausadas a atender un problema de la agenda pública nacional, es decir, que

deriven de un proceso de priorización social y político (Aguilar, 2012; Escalera-Matamoros, 2019), y se visualizará bajo la óptica de la gobernanza. Este último término se define como la interacción entre diversos actores en busca de lograr la cooperación y consenso que lleve a una implementación efectiva de las acciones consideradas en las PP en un marco de información técnica-causal, destacando el hecho de que el Estado no tiene un papel totalitario, sino participativo (Serna de la Garza, 2010; Whittingham, 2010; Aguilar, 2012; Cardozo Brum, 2013; Alva Rivera, 2016; Córdova Montúfar, 2018), y particularmente resaltando que en el contexto ambiental deberá tener un enfoque dirigido a la sustentabilidad (Ortega-Argueta y Contreras-Hernández, 2015).



Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Art. 4. Establece el derecho a un medio ambiente sano.

Art. 26. El estado Dispone que habrá un Plan Nacional de Desarrollo al que se sujetan obligatoriamente los Programas de la Administración Pública.

Ley de Planeación

Art. 2º, 3º, 4º, 9º, 12º, 20º, 21º, 22º, 26º, 28º, 29º, 32º, 33º. Establecen la responsabilidad del Ejecutivo Federal para conducir la Planeación nacional del desarrollo.

Art. 16. La Administración Pública Federal es responsable de la elaboración de programas sectoriales, incluyendo los derivados de los órganos desconcentrados, los que deriven de ejercicios de participación social.

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024

Instrumento para enunciar los problemas nacionales y sus soluciones en un proyecto sexenal.

.Política social

Desarrollo sustentable

Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024.

CONANP

Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas

PROREST

PACE

Figura 3. Ruta actual desde la Administración Pública sobre las Políticas Públicas en materia ambiental, hasta llegar a la instrumentación de los PACE.

Herramientas para la gestión de proyectos de PP

La mayoría de las PP se construyen a través de lo que se conoce como gestión o ciclo de proyectos (Ortegón *et al.*, 2005; Gómez-Arias *et al.*, 2009; Aguilar Astorga, 2017; Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL], 2021), y se materializan por medio de programas, planes y proyectos (Cirera y Vélez, 2000; Di Virgilio y Solano, 2012), tales como los PACE. A su vez, la gestión de proyectos es la suma de diversas técnicas que permiten la administración y operación de un proyecto para que se realice en forma, tiempo, recursos y costes apropiados (Ortegón *et al.*, 2005; Gómez Arias, 2009; Aguilar Astorga, 2017; Cardozo-Brum, 2019; CONEVAL, 2021).

En este sentido, las PP se estructuran a través de un proceso cíclico (figura 4), compuesto por cuatro fases básicas que pueden variar entre autores, pero

que se resumen en: *i*) incorporación a la agenda pública; *ii*) diseño, la materialización de la PP en programas, planes y proyectos; *iii*) implementación, es decir la parte activa de la PP; y *iv*) evaluación, donde se realiza la verificación o medición del éxito de la implementación de la PP (Subirats, 1989; Ortegón *et al.*, 2005; Gómez-Arias *et al.*, 2009; Aguilar, 2012; Di Virgilio y Solano; 2012; Cardozo Brum, 2013; Córdova Montúfar, 2018; Cardozo-Brum, 2019). Para lograr esta estructuración existen metodologías, como la Planeación Estratégica y el Sistema del Marco Lógico (SML), que son dos de las herramientas más utilizadas a nivel internacional y en México (Cardozo Brum, 2013; Aguilar Astorga, 2017; Cardozo-Brum, 2019; Cirera y Vélez, 2000; Domínguez y Zermeño, 2008; Gómez-Arias *et al.*, 2009).



Figura 4. Esquematización del ciclo de proyectos referido a una política pública.
 Modificado de Aguilar Astorga (2017), Jefatura de Gabinete de Ministros (2016) y Subirats (1989).

Evaluación de políticas públicas

Por definición, al implementar una PP, se espera tener como resultado un beneficio sobre el problema por resolver, definido por la agenda pública, y para saberlo necesariamente hay que evaluar la implementación de dicha PP (Cirera y Vélez, 2000; CONEVAL, 2013; Jefatura de Gabinete de ministros, 2016; Córdova Montúfar, 2018;). De acuerdo con el CONEVAL (2013), la evaluación de las PP se define como el “análisis sistemático y objetivo de una intervención pública, cuya finalidad es determinar la pertinencia y el logro de sus objetivos y metas, así como la eficiencia, eficacia, calidad, resultados, impacto y sostenibilidad”. Un enfoque tradicional de la evaluación es hacerlo como una última parte del ciclo; sin embargo, algunos autores recomiendan que debe realizarse de manera integral en cada una de las fases del ciclo de estructuración (Subirats, 1989; Cirera y Vélez, 2000; Gómez Arias *et al.*, 2009; Di Virgilio y Solano, 2012; CONEVAL, 2013; Jefatura de Gabinete de ministros, 2016).

En México la evaluación de PP está fundamentada en la Ley de Planeación (DOF, 16/02/2018) y en el Plan Nacional de Desarrollo (DOF, 12/07/2019), desde donde se planifican todos los programas sectoriales e institucionales en razón de una serie de objetivos estratégicos orientados a alcanzar un desarrollo equitativo, incluyente, integral, sustentable y sostenible (Domínguez y Zermeño, 2008; Cardozo Brum, 2015; CONEVAL, 2021;). Así, el CONEVAL es la institución responsable de emitir los Lineamientos de Evaluación a los que cada dependencia de gobierno que opera algún plan o programa se debe apegar, además que realiza por sí mismo la evaluación de las políticas y programas de desarrollo social, basándose en la metodología del SML (Ortegón *et al.*, 2005; Domínguez y Zermeño, 2008; Bobadilla *et al.*, 2013; Cardozo Brum, 2013; CONEVAL, 2013).

En la actualidad, la evaluación de PP se enfoca en gran medida en la rendición de cuentas, trans-



parencia y participación social, sin embargo, tiene más funciones. El proceso evaluativo lleva a enfocar y entender el impacto, diseño, gestión, ejecución y utilidad de las PP, con la finalidad de generar aprendizaje sobre su implementación (Cirera y Vélez, 2000; Ortegón *et al.*, 2005; Domínguez y Zermeño, 2008; Merino, 2010; Di Virgilio y Solano, 2012; Cardozo Brum, 2013; Ortega-Argueta y Contreras-Hernández, 2013). Además, permite saber qué acciones resultaron efectivas y cuáles no, para resolver los problemas planteados en la agenda pública. En consecuencia, se espera que la evaluación encamine a las PP hacia la mejor toma de decisiones con el fin de incidir en la continuidad, modificación de forma y fondo de su contenido, sus planes, programas y proyectos en forma de retroalimentación y manejo adaptativo (Subirats, 1989; Cirera y Vélez, 2000; Ortegón *et al.*, 2005; Bobadilla *et al.*, 2013; Merino, 2010; Di Virgilio y Solano, 2012; Ortega-Argueta y Contreras-Hernández; 2013).

En este sentido, la evaluación puede visualizar la racionalidad de los objetivos, la coherencia entre el diseño, orden y actividades, o entre las actividades y los resultados con el apoyo de indicadores de desempeño; o simplemente, sobre los resultados obtenidos midiendo su impacto (Cirera y Vélez, 2000;

Ortegón *et al.*, 2005; Gómez-Arias *et al.*, 2009; Merino, 2010; Cardozo y Mundo, 2012; Bobadilla *et al.*, 2013; Aguilar Astorga, 2017).

En este contexto de la necesidad y relevancia de la evaluación de las PP, la evaluación en materia ambiental en México es un área en la que se ha incursionado poco, en la mayoría de los casos limitándose al campo de la rendición de cuentas y transparencia, y sobre la consistencia y estructuración de las PP. En lo que se refiere a la conservación de los recursos naturales, las evaluaciones de PP se han dirigido a algunos aspectos como el nivel de la protección del hábitat a través del Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP), los programas de conservación y manejo de las Áreas Naturales Protegidas, y el corredor biológico mesoamericano; a nivel de la sustentabilidad de los recursos naturales mediante la implementación del Programa de Conservación para el Desarrollo (PROCODES); a nivel de la conservación de las especies mediante el programa de Recuperación de Especies en Riesgo (PROCER) (Carrillo *et al.*, 2022; Venegas, Y. 2010; Reyes Orta *et al.*, 2013; Binnquist Cervantes *et al.*, 2017; Carmona-Escalante, *et al.*, 2020; Errejón Gómez *et al.*, 2020; Narave-Flores *et al.*, 2021; Luna-Sánchez y Skutsch, 2019)

Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE)

En el 2007, en el marco de la Estrategia General de Restauración, del Programa Nacional de Áreas Protegidas 2007-2012, la CONANP impulsó el PROCER (CONANP, 2007). De acuerdo con este documento, el PROCER se propuso como meta “contribuir a la recuperación de las diferentes especies en riesgo atendidas por medio de los Programa de Acción para la Conservación de Especies (PACE) hasta lograr bajarlas de categoría en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, y de ser posible sacarlas de la lista, al haber logrado su recuperación y la viabilidad de las poblaciones”. Para lo cual se planteó como objetivo general “establecer las ba-

ses, coordinar, impulsar y articular los esfuerzos del Gobierno Federal y diversos sectores de la sociedad, en la conservación y recuperación de las especies en riesgo y ... contengan los elementos necesarios para mantener un esfuerzo continuo y permanente a mediano y largo plazo”, y entre los objetivos específicos el PROCER incluyó la elaboración de los PACE, estructurados en seis estrategias o subprogramas de conservación bajo el planteamiento de metas y objetivos alcanzables mediante la ejecución de actividades, en un marco temporal de cinco y diez años para su evaluación y actualización. (CONANP, 2007; 2020a; SEMARNAT, 2013).



En 2019, para dar cumplimiento al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, el PROCER se fusionó a otros programas de la CONANP, como el Programa de Manejo de Áreas Naturales Protegidas (PROMANP), para crear el Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST), con el objetivo de “promover la protección y restauración de los ecosistemas en las ANP y conservar su biodiversidad, mediante la participación comunitaria y el sector académico” (CONANP, 2020a; 2020b), en este nuevo planteamiento los objetivos de los PACE a la fecha se mantienen vigentes (CONANP, 2020a).

De acuerdo a la meta del PROCER y del PROREST (CONANP, 2007; 2020a), los PACE deberán dirigir sus objetivos y acciones para alcanzar las condiciones poblacionales necesarias para lograr que las especies en riesgo de extinción que atienden, salgan de los listados de estas especies, por lo tanto sus resultados deberán poder cumplir con los cuatro criterios de evaluación del Método de Evaluación de Riesgo (MER) estipulado en la NOM-059-SEMARNAT-2010: (1) amplitud de la distribución del taxón en México; (2) estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón; (3) vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón; y (4) impacto de la actividad humana sobre el taxón (Tambutti *et al.*, 2001; CONANP, 2007; Sánchez-Salas, 2013), y es en este marco que hoy la conservación de las tortugas marinas en México y lo que ello implica, debe responder a la implementación y seguimiento de

los PACE (SEMARNAT, 2013; CONANP, 2020a; 2022; Gómez-Ruiz *et al.*, 2020).

La construcción de cada uno de los PACE se apega a la metodología del Sistema de Marco Lógico (SML), como ocurre para muchas de las PP en México. Estos instrumentos inicialmente tenían seis subprogramas de conservación *i*) conocimiento, *ii*) manejo, *iii*) restauración, *iv*) protección, *v*) cultura, *vi*) gestión, formato que se ha modificado en la versión actualizada en el 2020: *i*) manejo integrado del paisaje, *ii*) conservación y manejo de especies en riesgo, *iii*) participación social y cultura para la conservación, *iv*) economía de la conservación, y *v*) cambio climático (CONANP, 2007; 2020a). Para cada uno de estos subprogramas derivan componentes específicos y un número variable de actividades que, mediante su cumplimiento se asume, se alcanzará el objetivo de los PACE.

Como ciclo de las PP los términos de referencia de los PACE señalan que en un plazo de cinco y diez años deben ser evaluados y actualizados (CONANP, 2007); y desde el Programa Nacional de ANP 2020-2024 se resalta que los PACE deberán ser construidos, actualizados e implementados “*en consenso con los tres órdenes de gobierno, las organizaciones de la sociedad civil (OSC), la academia, los propietarios, poseedores y usuarios de la tierra, y la iniciativa privada*”, es decir en un marco de gobernanza, la cual debe incluir la evaluación de dichos documentos, su implementación, resultados e impacto (CONANP, 2020a).

Evaluación de los planes de recuperación

La evaluación de los planes de recuperación (PR) es una tarea que se ha desarrollado desde la segunda mitad del siglo pasado a nivel internacional (Tear *et al.*, 1993; 1995; Clark y Harvey, 2002; Clark *et al.*, 2002; Boersma *et al.*, 2001; Campbell *et al.*, 2002; Harvey *et al.*, 2002; Hoekstra *et al.*, 2002; Neve, 2003; Moore y Wooller, 2004; Bottrill *et al.*, 2011; Ortega-Argueta *et al.*, 2011; 2017; Roberts y Hamann, 2016), y en México después de la prime-

ra década del siglo XX (Allen-Amescua, 2012; Ortega-Argueta y Contreras-Hernández, 2013; Reyes Orta, 2013; Alderete-Domínguez, *et al.*, 2019). El objetivo es conocer el grado de avance en la atención de la problemática de origen, y de cierta manera identificar los puntos de oportunidad para su mejora como herramientas que orientan el manejo y gestión de la recuperación de las especies silvestres (Tear *et al.*, 1993; 1995; Boersma *et al.*, 2001;



Brigham *et al.*, 2002; Campbell *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2002; Hoekstra *et al.*, 2002; Lundquist *et al.*, 2002; Neve, 2003; Bottrill *et al.*, 2011; Ortega-Argueta *et al.*, 2011; 2017; Laguna Lecompte, 2012; Ortega-Argueta y Contreras-Hernández, 2013; Roberts y Hamann, 2016).

A nivel internacional, para algunos autores el éxito de los PR está relacionado con su estructura y diseño. Por ejemplo, los PR realizados por una sola instancia u organización han mostrado ser menos efectivos que en los que participan diferentes tipos de actores como la academia, entidades gubernamentales, entre otros (Boersma *et al.*, 2001; Neve, 2003).

Algunas evaluaciones se han enfocado en la construcción, cumplimiento y coherencia de los objetivos, metas y actividades a lo largo del tiempo de los PR; encontrando que un componente crítico de los PR ha sido determinar los criterios e indicadores para evaluar su efectividad o bien para definir cuando una población se ha recuperado asimismo, y han concluido que las actividades por implementar de los PR deben ser proactivas y ejecutadas de manera continua y a largo plazo con enfoques adaptativos (Tear *et al.*, 1993; 1995; Boersma *et al.*, 2001; Brigham *et al.*, 2002; Campbell *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2002; Hoekstra *et al.*, 2002; Lundquist *et al.*, 2002; Moore y Wooller, 2004; Taylor *et al.*, 2005; Granizo *et al.*, 2006; Bottrill *et al.*, 2011; Ortega-Argueta *et al.*, 2011; 2017; Gibbs y Currie, 2012; Laguna Lecompte, 2012; Ortega-Argueta y Contreras-Hernández, 2013; Doak *et al.*, 2015; Roberts y Hamann, 2016).

Por cuanto al contenido de los PR, se ha observado que aquellos que incluyeron información de calidad y actualizada sobre la biología de las especies, el tamaño y tendencia poblacional, además de considerar la atención a las fuentes de presión y las amenazas fueron los más eficaces (Tear *et al.* 1995; Boersma *et al.*, 2001; Campbell *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2002; Lundquist *et al.*, 2002; Granizo *et al.*, 2006; Moore y Wooller, 2004; Balmori-Martínez, 2015; Ortega-Argueta *et al.*, 2017; Stelzenmüller *et al.*, 2020).

Para algunos autores como Campbell y colaboradores (2002), Lundquist y colaboradores (2002) y Laguna Lecompte (2012), un PR será exitoso en la medida en que las actividades planificadas se implementen, y en ese sentido el monitoreo y seguimiento de éstas en el corto y largo plazo cobra gran importancia ya que esto permite realizar evaluaciones objetivas e implementar un enfoque de manejo adaptativo (Boersma *et al.*, 2001; Brigham *et al.*, 2002; Campbell *et al.*, 2002; Clark y Harvey, 2002; Moore y Wooller, 2003; Granizo *et al.* 2006; Gibbs y Currie, 2012; Laguna Lecompte, 2012; Bottrill *et al.*, 2011; Balmori-Martínez, 2015; Roberts y Hamann, 2016).

Algunas otras evaluaciones sugieren que hay un sesgo en la atención de algunas especies (valor económico, facilidad de atención, carisma), tanto en el aspecto del manejo, como en la provisión de financiamiento para la implementación de los PR; y también se ha observado que en algunos casos los PR que se enfocan en un hábitat crítico son más efectivos que los dirigidos a una especie. De igual forma, los PR para especies únicas son más efectivos que los de atención multiespecie, con excepción de aquellos que incluyen especies con amenazas similares (Tear *et al.*, 1995; Boersma *et al.*, 2001; Brigham *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2002a; Harvey *et al.*, 2002; Lundquist *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 2005; Moore y Wooller, 2004; Ortega-Argueta *et al.*, 2011, 2017).

Dos factores que también han sido importantes para la evaluación de los PR es el tiempo de ejecución y el financiamiento para su implementación, ya que de éstos depende en gran medida el alcanzar los objetivos de manera eficiente y efectiva (Boersma *et al.*, 2001; Lundquist *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 2005; Gibbs y Currie, 2012; Roberts y Hamann, 2016).

Los PR también se han evaluado como parte de toda una estrategia de conservación que incluye a otras herramientas de gestión, como programas de financiamiento, y la protección de hábitats críticos, concluyendo que esta conjunción de esfuerzos al largo plazo ha sido positiva para las especies en



riesgo, aumentando las posibilidades de la recuperación de las poblaciones (Lundquist *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 2005; Gibbs y Currie, 2012; Valdivia *et al.*, 2019).

En particular, en los PR para las tortugas marinas se han planteado como criterios de efectividad (1) el tamaño de las poblaciones y otros parámetros poblacionales (antes y después de la implementación del PR), (2) la calidad y cantidad del hábitat protegido, (3) el número de individuos reclutados a la población a lo largo del tiempo, (4) la disminución de las amenazas que impactan a las especies (en número e intensidad), (5) el cumplimiento de las acciones planificadas, (6) el marco legal que cobija la relación entre la ciencia y la política (Hopkins y Richardson, 1984; U.S. Fish and Wildlife Service y National Marine Fisheries Service, 1992; Reichart y Fretey, 1993; Mancomunidad de Australia, 2003; Pacific Leatherback Turtle Recovery Team, 2006; SEMARNAT, 2009; 2018b; 2020; Entraygues, 2014; Amoroch, *et al.*, 2016; Roberts y Hamann, 2016; Fisheries and Oceans Canada, 2019; National Marine Fisheries Service, U.S. Fish and Wildlife Service, y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011).

En términos de las necesidades que se identificaron como oportunidades de mejora para los PR de tortugas marinas se presentan tres puntos de atención que se han identificado: (1) no contienen una definición explícita y clara que establezca los umbrales como criterios para determinar cuándo una población ya se encuentra recuperada; (2) los indicadores de crecimiento poblacional de estas especies tienen supuestos que complican la determinación de la tasa de incremento de las poblaciones de tortugas; y (3) no se presenta una metodología efectiva para evaluar la mitigación del impacto de las amenazas sobre sus poblaciones y hábitats son consecuencia de la implementación explícita de los PR (Roberts y Hamann, 2016; Valdivia *et al.*, 2019). En este contexto, del análisis bibliográfico que realizamos derivan propuestas para su atención, con las que coincidimos, como son los de Gírgard y colaboradores (2022), quienes se enfocaron

en construir indicadores estandarizados que permitan una evaluación sobre la salud de las poblaciones de tortugas marinas.

Los análisis y evaluaciones sobre los PROCER y los PACE como instrumentos de PP en materia de conservación de la biodiversidad no son abundantes, se han limitado a algunos análisis sobre su contenido y estructuración, algunos de los trabajos realizados se resumen en la tabla 1.

De igual forma, se detectó que se carece de un sistema de monitoreo sistemático con resultados eficaces, abiertos y actualizados (Ortega-Argueta y Contreras-Hernández, 2013). A lo anterior, se suma la falta de indicadores que sustenten la efectividad de los PACE (Gómez Ruiz *et al.*, 2020), que deberían dar respuesta, entre otros tópicos, a la evaluación sobre la recuperación de las especies con base a los criterios del MER, y aunque para algunas especies de tortugas marinas se ha mencionado que hay ejemplos de poblaciones en recuperación (SEMARNAT, 2009a; 2018a; 2020; Guzmán, 2020; Guzmán-Hernández *et al.*, 2022; López-Castro *et al.*, 2022; del Monte-Luna *et al.*, 2023), cabe señalar que en todos los casos la evaluación se hizo con metodologías distintas al MER, por lo que no es posible asociar estos resultados a la efectividad de la implementación del PACE como instrumento de gestión para la recuperación de las especies en riesgo.

Bajo este contexto derivado del análisis de los instrumentos de PP descritos, queremos enfatizar la importancia de implementar ejercicios periódicos de su evaluación, de manera específica para los instrumentos asociados a las especies en riesgo, y que, si bien históricamente las evaluaciones no se han realizado con la periodicidad necesaria, recomendamos que se repliquen los casos puntuales de evaluación del instrumento de PP de algunas de las especies de tortugas marinas en México, como fue el caso de la tortuga carey. Si bien toda evaluación tiene costos financieros asociados que en muchas ocasiones evita que se realice este ejercicio de manera intersectorial, el gran avance que se tuvo de manera forzada para el trabajo colaborativo a dis-



Tabla 1. Resumen de trabajos de evaluación y análisis de los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE) y del Programa de conservación de Especies (PROCER).

Autor	Contenido	Conclusión
Allen-Amescua (2012)	Análisis del diseño y planeación de los PR del PREP, con énfasis en el manatí (<i>Trichechus manatus manatus</i>).	Las estrategias de PP priorizan deficientemente las amenazas, con poca claridad en los objetivos y metas. Se necesita implementar la evaluación y seguimiento de los PR.
Ortega-Argueta < y Contreras-Hernández (2013)	Identificaron, de manera participativa, problemas metodológicos y de acceso a la información para evaluar 11 PACE y 14 PREP.	Se requieren indicadores ecológicos, socioeconómicos y de gestión para evaluar, y retroalimentar, la eficacia y los resultados de la PP. Proponen una ruta crítica de monitoreo y evaluación de la PP de orden ambiental.
Ortega-Argueta y Contreras-Hernández (2015)	Analizaron los mecanismos de gobernanza ambiental en México en ANP, PROCER y Unidades de Manejo Ambiental, incluyendo criterios ecológicos, socioeconómicos y de gestión en un sistema de seguimiento y evaluación.	Se requiere comunicación intersectorial en el monitoreo, toma de decisiones, operación y evaluación de la PP. La evaluación es fundamental para fortalecer las PP en un marco de gobernanza ambiental.
Alderete-Domínguez y colaboradores (2019),	Analizaron la gobernanza del PROCER a través de la evaluación del PACE del jaguar (<i>Phantera onca</i>) y manatí (<i>T. manatus manatus</i>).	Existe poca colaboración y cohesión entre actores; y las reglas de operación del PROCER dificultan el acceso a los recursos y la incorporación de nuevos actores. Se requieren mecanismos de coordinación eficientes y sinergias intersectoriales. Es importante restituir los grupos de trabajo de especialistas y sus reuniones anuales para monitoreo y evaluación.
Gómez Ruiz y colaboradores (2020)	Analizaron nueve PACE considerando los indicadores incluidos en los Programas y la inversión de origen gubernamental.	Los indicadores de los PACE no permiten medir la efectividad de su implementación. El flujo económico es intermitente en cantidad y tiempo, lo que evita la continuidad de las acciones. Se requiere articular las acciones de restauración en los PACE con otras PP. Es clave una óptica participativa y de manejo adaptativo.

tancia abre oportunidades invaluables para ejercicios de evaluación de manera conjunta.

Es común que las evaluaciones de los PACE sean lideradas por el sector académico, y esto por la misma encomienda de trabajo que tienen, la experiencia y recursos humanos que pueden canalizar a través de estudiantes interesados, no obstante se esperaría que los resultados de dichas evaluaciones sean adoptadas por las autoridades como un foco de atención para incidir en la mejora del instrumento de manejo.

En este sentido, vale hacer notar que la evaluación debería estar considerada dentro del SML de la estructura propia de los PACE; sin embargo, en el material bibliográfico revisado no se encontró explícitamente la inclusión de esta etapa del ciclo de proyectos, ni en términos de indicadores como eficacia, eficiencia e impacto, ni de los indicadores del MER. Cabe Señalar que de acuerdo con CONANP (2020a), los PACE son parte de los indicadores del PROREST, pero no hay un diseño específico de monitoreo ni de evaluación para los PACE como pro-



grama de la PP. Esto representa una oportunidad de mejora para este tipo de instrumentos de PP, y sugerimos que en los siguientes ejercicios de evaluación se discuta al seno del grupo a cargo los beneficios de integrar de manera explícita esa fase de evaluación periódica y regular.

Cabe mencionar que, tener acceso y disponibilidad de datos, y la cantidad y calidad de información requerida permite hacer más eficiente y eficaz la evaluación de cualquier PP como con los PACE. Es

por demás deseable que los proyectos y programas de conservación de la biodiversidad que sustentan las PP sean evaluados con base en bioindicadores pertinentes, para asegurar su mejora continua y resultados satisfactorios por cuanto, a la restauración de poblaciones en peligro de extinción, resaltando la urgente necesidad de articular los procesos de análisis periódicos, la incorporación de criterios adecuados y actualizados del MER y la aplicación del manejo adaptativo.

Agradecimientos

Esta investigación es parte del proyecto “Evaluación de la implementación de los Programas de Acción para la Conservación de Especies de la tortuga carey y la tortuga verde en el Atlántico mexicano”

apoyado por CONACYT con la beca nacional 003412
- Maestría en Ciencias en Restauración Ecológica, UNACAR.

Referencias

- Aguilar, C.R. 2017. Evaluación de políticas públicas. Una aproximación. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.
- Aguilar, L. F. 2012. Introducción, in: Aguilar, L.F. (Comp.). Política Pública. Escuela de Administración pública del DF y Secretaría de Educación del DF, Siglo XXI editores, México, pp. 17-60.
- Alderete-Domínguez, R. F., Ortega-Argueta, A., Bello Baltazar, E., Naranjo Piñera, E. J. 2019. La gestión compartida en los programas de conservación de especies amenazadas en México; mecanismos y actores. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 64 (237): 147-182.
- Allen-Amescua A.G. 2012. Evaluación del Programa de Recuperación de Especies Prioritarias (PREP) en México: estudio de caso del manatí. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología A.C.
- Alva Rivera, M.E., 2016. Gobernanza multinivel, redes de políticas públicas y movilización de recursos: Caso de estudio Corredor Biológico Mesoamericano México (CBMM), Chiapas. *Espacios Públicos*, 19 (47): 51-76.
- Amorocho, D., Leslie A., Fish, M., Sanjurjo, E., Amoros, S., Ávila, I.C., Toral, V., Gerhardt, J.L., Bilo, K., Guerrero, P., Zapata, L.A., Douthwaite, K. 2016. Marine Turtle Action Plan. WWF Latin America and the Caribbean: 2015-2020. Amorocho, D., Dereix C.A. (Eds.). WWF-Colombia. Cali, Colombia.
- Balmori-Martínez, A. B. 2015. Eficacia de los Planes de Recuperación y Conservación de las aves amenazadas en España: Avanzando en un modelo transversal de conservación y gestión de la fauna amenazada. *Ecosistemas*, 24 (3): 61-77
- Binnquist Cervantes, G.S., Chávez Cortés, M. M., Colín Castro, G. 2017. Evaluación del Programa de Conservación y manejo del Parque Nacional Huatulco. *Política y Cultura. Primavera*, 2017 (47): 167-199.
- Bobadilla, M., Espejel-Carbajal, M.I., Lara-Valencia, F., Avila-Foucat, S., Fermán-Almada, J. L. 2013. Esquemas de evaluación para instrumentos de política ambiental. *Política y cultura*, 40: 99-122.
- Boersma, P.D., Kareiva, P., Fagan, W.F., Clark, J.A., Hoekstra, J.M. 2001. How good are endangered species recovery plans? The effectiveness of recovery plans for endangered species can be improved through incorporation of dynamic, explicit science in the recovery process, such as strongly linking species' biology to recovery criteria. *BioScience*, 51 (8): 643-649.
- Bottrill, M.C., Walsh, J.C., Watson, J.E., Joseph, L.N., Ortega-Argueta, A., Possingham, H. P. 2011. Does recovery planning improve the status of threatened species? *Biological Conservation*, 144 (5): 1595-1601.
- Brigham, C.A., Powe, A.G., Hunter, A. 2002. Evaluating the internal consistency of recovery plans for federally species. *Ecological Applications*, 12 (3): 648-654.
- Campbell, S. P., Clark, J. A., Crampton, L. H., Guerry, A. D., Hatch, L. T., Hosseini, P. R., Lawler, J. J., O'Connor, R. J. 2002. An assessment of monitoring efforts in endangered species Recovery Plans. *Ecological Applications*, 12 (3): 674-681.



- Cardozo Brum, M. 2013. De la evaluación a la reformulación de políticas públicas. *Política y Cultura*, (40): 123-149.
- Cardozo Brum, M. 2015. Estado del arte de la evaluación de políticas y programas públicos en México. *Studia Politicae*. (34): 233-260.
- Cardozo, M., y Mundo, A. 2012. Guía de orientación para la evaluación de políticas y programas de desarrollo social. México, DF evalúa DF.
- Cardozo-Brum, M. 2019. Dinámica de planeación, evaluación y utilización de recomendaciones. El caso de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Revisita Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 12 (25):129-162.
- Carmona-Escalante, A., Vidal-Hernández, L. E., Arredondo-García, M. C., Espejel, I., Cruz-Jiménez, G., Seiniger, G. 2020. Evaluación del programa de conservación y manejo del Parque Nacional Arrecife Alacranes desde la perspectiva de la gestión de los recursos pesqueros. *Sociedad y Ambiente*, (23): 1-31. DOI: 10.31840/sya.vi23.2203
- Carrillo Hernández, A.C., Ortega-Argueta, A., Gama Campillo, L., Bello-Baltazar, E., Rioja Nieto, R. 2022. Effectiveness of management of the Mesoamerican Biological Corridor in Mexico. *Landscape and Urban Planning* 226, 104504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104504>
- Cirera, A. y Vélez, C. 2000. Guía para la evaluación de políticas públicas. Instituto de Desarrollo Regional, Fundación Universitaria.
- Clark, A., Harvey, E. 2002. Assessing Multi-Species Recovery Plans under the Endangered Species Act. *Ecological Applications*, 12(3): 655-662. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0655:AMSRPU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0655:AMSRPU]2.0.CO;2)
- Clark, J. A., Hoekstra, J. M., Boersma, P. D., Kareiva, P. 2002. Improving US Endangered Species Act recovery plans: key findings and recommendations of the SCB recovery plan project. *Conservation Biology*, 16 (6): 1510-1519.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. 2007. Programa de Conservación de especies en riesgo PROCER. 2007-2012. <https://simec.conanp.gob.mx/Publicaciones2020/Publicaciones%20CONANP/Parte%202/Estrategias%20Planes%20y%20Programas/2007%20PROCER%202007%202012.pdf>. Fecha de consulta noviembre 2020.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. 2020a. Programa Nacional de Áreas naturales protegidas 2020-2024. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/718572/PNANP2020-2024.pdf>.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. 2020b. Diagnóstico. U040 Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST). Dirección General de Operación Regional. https://www.conanp.gob.mx/prorest/prorest2020/U040_DiagnosticoPROREST_Final.pdf
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP]. 2022, Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social [CONEVAL]. 2013. Manual para el diseño y la construcción de indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México. México, D.F.
- Consejo Nacional de Evaluación de la política de Desarrollo Social [CONEVAL]. 2021. Diagnóstico de los objetivos e indicadores de los programas del ámbito social derivados del PND 2019-2024. Parte I: Examinación de los programas sectoriales e institucionales. https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/Documents/Diagnostico_Parte_I.pdf
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna Silvestres [CITES]. 2017. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna Silvestres. Apéndices I, II, III, en vigor a partir del 2 de enero de 2017. <https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2017/S-Appendices-2017-10-04.pdf>.
- Córdoba Montúfar, M. 2018. Gobernanza y políticas públicas. La seguridad ciudadana en Bogotá y Quito. Editorial Universidad del Rosario / Flacso. DOI: [dx.doi.org/10.12804/th9789587841336](https://doi.org/10.12804/th9789587841336)
- Del Monte-Luna, P., Nakamura, M., Guzmán-Hernández, V., Cuevas, E., López-Castro, M., Arreguín-Sánchez, F. 2023. Time-varying stock-recruitment model for estimating population characteristics: An application to the green turtle. *Scientific Reports*, 13:1542. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28574-4>
- Di Virgilio, M. M., Solano R. 2012. Monitoreo y evaluación de políticas públicas, programas, y proyectos sociales. Fundación CIPPEC, Buenos Aires.
- Diario Oficial de la Federación [D.O.F.]. (29/10/1986). Decreto por el que se determinan como zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control, de las diversas especies de tortuga marina, los lugares en que anida y desova dicha especie. https://www.dof.gob.mx/website/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4815894&fecha=29/10/1986&cod_diario=207306
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (31/05/1990). Acuerdo por el que se establece veda para las especies y subespecies de tortuga marina en aguas de jurisdicción Federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como en las del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4658226&fecha=31/05/1990#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (31/12/1996). Decreto Promulgatorio de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas, adoptada en Caracas, el primero de diciembre de mil novecientos noventa y seis. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2064177&fecha=29/11/2000.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (03/07/2000). Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Fed-



- ración. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_190118.pdf
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (29/11/2006). Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4938943&fecha=29/11/2006&cod_diario=210275
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (30/12/2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (05/03/2014). Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (14/04/2014). Decreto Promulgatorio de la Enmienda de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, adoptada en Gaborone, Botswana, el treinta de abril de mil novecientos ochenta y tres. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5340563&fecha=14/04/2014.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (16/02/2018). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Planeación. Diario Oficial de la Federación
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (12/07/2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Diario Oficial de la Federación.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (14/11/2019). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. Diario Oficial de la Federación, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (31/01/2023). DECRETO que reforma, deroga y adiciona diversas disposiciones del Decreto por el que se determinan como zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control, de las diversas especies de tortuga marina, los lugares en que anida y desova dicha especie, publicado el 29 de octubre de 1986, para establecer las previsiones acordes a los santuarios de tortugas marinas (Segunda publicación). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5678387&fecha=31/01/2023#gsc.tab=0
- Doak, D. F., Himes Boor, G.K., Bakker, V. J., Morris, W. F., Louthan, A., Morrison, S. A., Stanley A., Crowser L.B. 2015. Recommendations for improving recovery criteria under the US Endangered Species Act. *BioScience*, Recommendations for improving recovery criteria under the US Endangered Species Act. *BioScience*, 65 (2), 189-199.
- Domínguez, M., Zermeño F. 2008. Capítulo 3 Análisis del esquema de evaluación de programas federales sociales implementado en 2007: el programa anual de evaluación y la matriz de marco lógico, in: González Arreola, A., (Coord.), *¿Gobernar por resultados? implicaciones de la política de evaluación del desempeño del gobierno mexicano, Gestión social y cooperación* A.C., México, pp. 74-110.
- Entraygues M., 2014. Marine Turtle National Action Plan for French Guiana. L'essentiel. ONCFS.
- Escalera-Matamoros, C. 2019. Las Políticas Públicas, pp. 109-133. En: Rosete Vergés, F.A., Escalera-Matamoros, C., Ayala-Orozco, B., García-Frapolli, E., Galán Guevara, C.P. (Coords.). *El Ciclo de Políticas Públicas, Casos Selectos de la Política Ambiental Mexicana para la Enseñanza*. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia.
- Errejón Gómez, J. C., Ortega Rubio, A., Santos Zavala, J. 2020. Programa Nacional para Áreas Naturales Protegidas en México en el periodo 2014-2018: análisis de dos de sus objetivos. *Sociedad y Ambiente*, (21): 33-51, DOI: 10.31840/sya.v0i21.2038
- Fisheries and Oceans Canada. 2019. Action Plan for the Leatherback Sea Turtle (*Dermochelys coriacea*) in Canada. Species at Risk Act Action Plan Series. Fisheries and Oceans Canada, Ottawa.
- Frazier, J. G. 2010. The turtles' tale: flagships and instruments for marine research, education, and conservation. *Proceedings of the Smithsonian Marine Science Symposium*. Smithsonian Institution. (38) 241-246.
- Gibbs, K. E., Currie, D. J. 2012. Protecting endangered species: do the main legislative tools work? *PLoS One*, 7(5), e35730. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035730>
- Girard, F., Girard, A., Monsinjon, J., Arcangeli, A., Belda, E., Cardona, L., Casale, P., Catteau, S., David, L., Dell'Amico, F., Gambaiani, D., Girondot, M., Jribi, I., Lauriano, G., Luschi, P., March, D., Mazaris, A.D., Miaud, C., Palialexis, A., Sacchi, J., Sagarminaga, R., Tepich, P., Toma's, J., Vandeperre, F. Claro, F. 2022. Toward a common approach for assessing the conservation status of marina turtle species within the European marine strategy framework directive. *Front. Mar. Sci.*, 9: 790733. DOI: 10.3389/fmars.2022.790733
- Gómez-Arias R.D., Yépes-Delgado C. E., Rodríguez Ospina, F. L., Rolda-Jaramillo, P., Velásquez-Vélez, W., Lopera-Villa, J., Martínez-Ruiz, A. O., Vargas-Peña, G. S., Agudelo Vanegas N. A., Agudelo-Londoño, S. M. 2009. *Manual de Gestión de Proyectos*. Universidad de Antioquia. Colombia.



- Gómez-Ruiz, P., Laffon, S., Delgado, A., Cuevas, E. 2020. El papel los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE) en el manejo y restauración de especies y ecosistemas del sureste de México, pp. 8014-825. iEn: Rivera-Arriaga, E., Azuz-Adeath, I., Cervantes-Rosas, O.D., Espinoza-Tenorio, A., Silva-Casarín, R., Ortega-Rubio, A., Botello, A.V., Vega-Serratos, B.E. (Eds.). Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones. Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, Red Internacional de Costas y Mares, DOI: doi:0.26359/epomex.0120.
- Granizo T., Molina M.E., Secaria, E., Herrera B., Benítez, S., Maldonado, O., Libby, M., Arroyo P., Ísola, S. Castro, M. 2006. Manual de Planificación para la Conservación de Áreas, PCA. The Nature Conservancy y USAID.
- Guevara Sanginés, A.E. 2005. Política ambiental en México: Génesis, desarrollo y perspectivas. ICE: *Revista de Economía*, (821): 163-175.
- Guzmán, V. 2020. Informe Técnico 2019 del Programa de Conservación de Tortugas Marinas en Laguna de Términos, Campeche, México. Contiene información de: 1. CPCTM Isla Aguada y 2. Reseña Estatal. APFFLT/RP-CyGM/CONANP/SEMARNAT. Ciudad del Carmen.
- Guzmán-Hernández, V., del Monte-Luna, P., López-Castro, M. C., Uribe-Martínez, A., Huerta-Rodríguez, P., Gallegos-Fernández, S. A., Azanza-Ricardo, J., Martínez-Portugal, R.C., Barragán-Zepeda, A.K., Quintana Pali, G.P., Martín-Viaña, Y.F., Gómez-Ruiz, P.A., Acosta-Sánchez, H.H., López-Hernández, M., Castañeda-Ramírez, D.G., Cuevas, E. 2022. Recuperación de poblaciones de tortuga verde y sus interacciones con la duna costera como línea base para una restauración ecológica integral. *Acta Botánica Mexicana*, 129: e1954. DOI: <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1954>
- Harvey, E.J., Hoekstra, J.M., O'Connor, R.J., Fagan, W.F. 2002. Recovery plan revisions: progress or due process? *Ecological Applications*, 12: 682-689.
- Hoekstra, J.M., Clark, J.A., Fagan, W.F., Boersma, P.D. 2002. A comprehensive review of Endangered Species Act recovery plans. *Ecological Applications*, 12:630-640.
- Hopkins, S., Richardson, J. (Eds.). 1984. A recovery Plan for marine turtles. National Marine Fisheries Service.
- Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca [INE-SEMARNAP]. 2000. Programa Nacional de Protección, Conservación, Investigación y Manejo de Tortugas Marinas. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- Jefatura de Gabinete de ministros. 2016. Manual de base para la evaluación de políticas públicas. Argentina.
- Laguna Lecompte, L.P. 2012. Análisis en la aplicación del Plan de Acción de conservación de la tortuga carey *Eretmochelys imbricata* (Linneo 1766) en Isla Fuerte, Bolívar Caribe Colombiano. Colombia, Tesis carrera de biología. Pontificia Universidad Javeriana.
- López-Castro, M. C., Cuevas, E., Guzmán-Hernández, V., Raymundo-Sánchez, A., Martínez-Portugal, R. C., Lira-Reyes, D., Berzunza-Chio, J. A. 2022. Trends in reproductive indicators of green and hawksbill sea turtles over a 30-year monitoring period in the Southern Gulf of Mexico and their conservation implications. *Animals*, 12, 3280. DOI <https://doi.org/10.3390/ani12233280>
- Luna-Sánchez, E., Skutsch, M. 2019. ¿Sirven las evaluaciones para aprender? Influencia de las evaluaciones sobre las decisiones de manejo en un Área Natural Protegida. *Sociedad y Ambiente*, (19), 137-164.
- Lundquist, C.J., Diehl, E.H., Botsford, L.W., 2002. Factors affecting implementation of recovery plans. *Ecological applications*, 12(3),713-718.
- Mancomunidad de Australia, 2003. <https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/documents/recovery-plan-marine-turtles-2017.pdf>
- Márquez-Millán R., Peñaflores, C. 2016. "El Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas: 50 años de Historia". Capítulo 8. in: O. Gaona-Pineda O., Barragán Rocha A.R. (Coords.). Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación, Soluciones Ambientales Itzén A.C./Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP. Núm. PRO-CER/CCER/DGOR/08/2016. CDMX, pp 159-188.
- Merino, M. 2010. Fundamentos de evaluación de políticas públicas. Ministerio de Política Territorial y Administración Pública. Agencia Estatal de Evaluación de las Políticas Públicas y la Calidad de los Servicios. Madrid.
- Micheli, J. 2002. Política ambiental en México y su dimensión regional. *Región y sociedad*, 14(23): 129-170.
- Moore, S., Wooller, S. 2004. Review of Landscape, Multi- and Single Species Recovery Planning for Threatened Species. WWF Australia.
- Muñoz Sevilla, N.P., Le Bail, M., Berkelaar Muñoz, O. 2018. Políticas Públicas y Conservación de la Biodiversidad en México, in: Ortega-Rubio, A. (Ed.) Manejo de los Recursos Naturales Mexicanos y Conservación de la Biodiversidad. Springer, Cham. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-90584-6_4.
- Narave-Flores, H., Ruelas-Monjardín, L., Chamorro-Zárate, M. 2021. Procesos y Mecanismos de Gobernanza Ambiental en Parques Nacionales de México. *Pensamiento Actual*, 21 (37): 128-145. Doi:10.15517/PA. V21137.48941
- National Marine Fisheries Service, U.S. Fish and Wildlife Service, y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011. Bi-National Recovery Plan for the Kemp's Ridley Sea Turtle (*Lepidochelys kempii*), Second Revision. National Marine Fisheries Service. Silver Spring, Maryland.
- Neve, S. A. 2003. An evaluation of the Canadian recovery planning process for species at risk Tesis doctoral. University of British Columbia.
- Ortega-Argueta A. y Contreras-Hernández, A. 2013. Propuesta de un esquema de seguimiento y evaluación para pro-



- gramas de recuperación de especies en riesgo. *Gestión y Política Pública*, 22 (2): 457-496.
- Ortega-Argueta, A., Contreras-Hernández, A. 2015. La gobernanza de la biodiversidad, pp. 181-204. En: Ruecas-Monjardín, L.C.; Travieso-Bello, A.C., Sánchez-Sánchez, O.M. (Coords.), Gobernanza ambiental: teoría y práctica para la conservación y uso sustentable de los recursos. Universidad Veracruzana, El Colegio de Veracruz, Plaza y Valdés S. A. de C. V.
- Ortega-Argueta, A., Baxter, G., y Hockings, M. 2011. Compliance of Australian threatened species recovery plans with legislative requirements. *Journal of environmental management*, 92 (8): 2054-2060.
- Ortega-Argueta, A., Baxter, G., Hockings, M., Guevara, R. 2017. Assessing the internal consistency of management plans for the recovery of threatened species. *Biodiversity and Conservation*, 26 (9): 2205-2222.
- Ortegón E., Pacheco, J. F., Prieto, A. 2005. Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. Serie Manuales. ILPES. Naciones Unidas, CEPAL.
- Pacific Leatherback Turtle Recovery Team. 2006. Recovery Strategy for Leatherback Turtles (*Dermochelys coriacea*) in Pacific Canadian Waters. Species at Risk Act Recovery Strategy Series. Fisheries and Oceans Canada, Vancouver. https://wildlife-species.canada.ca/species-risk-registry/virtual_sara/files/plans/rs_Leatherback_turtle_Pacific_population_0207_e.pdf.
- Provencio, E. 2019. El desarrollo de la política ambiental en México, pp. 50-72. En: Rosete Vergés, F.A., Escalera-Matamoros, C., Ayala-Orozco, B., García-Frapolli, E., Galán Guevara, C.P. (Coords.). El Ciclo de Políticas Públicas, Casos Selectos de la Política Ambiental Mexicana para la Enseñanza. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia.
- Reichart, H. A. Fretey, J. 1993. WIDECAST Sea Turtle Recovery Action Plan for Suriname, Eckert, K.L. (Ed.). CEP Technical Report No. 24 UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica.
- Reyes Orta, M., Cardozo Brum, M. I., Arredondo García, C., Méndez Fierros, H., Espejel, I. 2013. Análisis del sistema de evaluación de un programa ambiental de la política mexicana: el PRODERS y su transformación al PRO-CODES. *Investigación Ambiental*, 5 (1): 44-61.
- Roberts J., Hamann, M. 2016. Testing a recipe for effective recovery plan design a marine turtle case study. *Endangered Species Research*, 31:147-161.
- Sánchez-Salas, J., Muro, G., Estrada-Castillón, E., Alba-Ávila, J. A. 2013. El MER: un instrumento para evaluar el riesgo de extinción de especies en México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 12(1): 30-35.
- Secretaría Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas [CIT]. 2004. Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas – Una Introducción, septiembre 2004. http://www.iacseaturtle.org/docs/publicaciones/3.2-Convencion_Interamericana_Introduccion_alta_res.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2009). Programa de Acción para la Conservación de la Especie Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*). SEMARNAT/ CONANP/PNUD, México. www.gob.mx/conanp/documentos/programa-de-accion-para-la-conservacion-de-especies-tortuga-carey-eretmochelys-imbricata; descargados en mayo de 2020).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2013. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012. México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/00_introspdf.html.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2018a. Programa de Acción para la Conservación de la Especie Tortuga Verde/Negra (*Chelonia mydas*). SEMARNAT/ CONANP, México, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/471546/PACE_Tortuga_Verde_VF.pdf. Fecha de consulta enero 2022.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2018b. Programa de Acción para la Conservación de la Especie Tortuga Lora (*Lepidochelys kempii*). SEMARNAT/ CONANP, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/471555/PACE_Tortuga_Lora_VF.pdf. Fecha de consulta enero 2022.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2020. Programa de Acción para la Conservación de la Especie Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*). SEMARNAT/ CONANP, México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/655658/PACETortugaCarey2021.pdf>. Fecha de consulta enero 2022.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP]. 1997. Programa de Conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural. 1997-2000. México D.F.
- Serna de la Garza J.M. 2010. El concepto de gobernanza, in: Globalización y gobernanza: las transformaciones del Estado y sus implicaciones para el derecho público. México UNAM 21-51. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2818/5.pdf>
- Stelzenmüller, V., Coll, M., Cormier, R., Mazaris, A. D., Pasqual, M., Loiseau, C., Katsanevakis, S., Gissi, E., Evangelopoulos, A., Rumes, B., Degraer, S., Ojaveer, H., Moller, T., Giménez, J., Piroddi, C., Markantonatou, V., y Dimitriadis, C. 2020. Operationalizing risk-based cumulative effect assessments in the marine environment. *Science of the Total Environment*, 724: 138118
- Subirats, J. 1989. Análisis de políticas públicas y eficacia de la administración. Instituto de administración Pública. Madrid.
- Tambutti, M., Aldama, A., Sánchez, O., Medellín, R., Soberón, J. 2001. La determinación del riesgo de extinción de especies silvestres en México. *Gaceta Ecológica*, (61):11-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=539/53906101>.



- Taylor, M. F., Suckling, K. F., Rachlinski, J. J. 2005. The effectiveness of the Endangered Species Act: a quantitative analysis. *BioScience*, 55 (4): 360-367.
- Tear T.H., Scott J.M., Hayward P.h., Griffith B. 1993. Status and prospects for success of the endangered species Act: a look at recovery plans. *Science*, 262 (5136): 976-977
- Tear, T.H., Scott, J.M., Hayward, P.H., Griffith, B. 1995. Recovery plans and the endangered species act: Are criticisms supported by data? *Conservation Biology*, 9 (1): 182-195.
- U.S. Fish and Wildlie Service, National Marine Fisheries Service. 1992. Recovery plan for the Kemp's ridley sea turtle (L.K.). National Martine Fisheries Service, ST: Petersburg, Florida
- Unión para la Conservación de la Naturaleza [UICN].). 2020. Lista Roja. <https://www.iucnredlist.org>. Fecha de consulta diciembre 2020.
- Valdivia, A., Wolf, S., Suckling, K. 2019. Marine mammals and sea turtles listed under the US Endangered Species Act are recovering. *PloS one*, 14 (1): e0210164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210164>
- Valera-Bermejo A., Ramírez Álvarez, R., Quintero, E. 2016. Especies prioritarias para la conservación de la biodiversidad: el caso de México. CONABIO. *Biodiversitas*, 128:1-5.
- Venegas Y. 2010. La Implementación del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible. Estudio de su focalización en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Tesis Maestría en Políticas Públicas Comparadas. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede México.
- Whittingham Munévar, M. V. 2010. ¿Qué es la gobernanza y para qué sirve? *Revista Análisis Internacional*, 2:219-235.



Calderón-Alvarado, E., Uribe-Martínez, A., Ayala-Pérez, L.A., Cuevas, E. 2023. Interacciones potenciales entre embarcaciones menores y zonas de agregación de tortugas marinas en Isla Arena, Campeche. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático* 5(1): 25-40. doi 10.26359/52462.0223



Interacciones potenciales entre embarcaciones menores y zonas de agregación de tortugas marinas en Isla Arena, Campeche

Potential interactions between small boats and marine turtle aggregation zones in Isla Arena, Campeche

*Eduardo Calderón-Alvarado¹, Abigail Uribe-Martínez²,
Luis Amado Ayala-Pérez³, y Eduardo Cuevas^{4,5}*

^{1,5}Maestría en Ecología Aplicada. Universidad Autónoma Metropolitana

²Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Sisal, Yucatán, México.

³Laboratorio de Ecología Aplicada. Departamento El Hombre y su Ambiente.
Universidad Autónoma Metropolitana

⁴Universidad Autónoma del Carmen", Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CDMX,

⁵Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California

* autor de correspondencia: caldeduardo@77gmail.com

doi 10.26359/52462.0223

Recibido 15/marzo/2023. Aceptado 7/julio/2023

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

En el golfo de México se distribuyen cinco de las siete especies de tortugas marinas que habitan a nivel mundial, las cuales llevan a cabo etapas esenciales de su ciclo de vida. Los hábitats de las tortugas marinas están sujetos a diversas amenazas entre las que destacan la pesca incidental y el tráfico de embarcaciones. El objetivo de esta investigación fue identificar en la porción marina de Isla Arena, Campeche, sitios de uso de espacio en sus etapas de alimentación, interanidación y migración, así como zonas potenciales de interacción con embarcaciones menores distribuidas en el área de estudio. Para ello, se emplearon rastreos satelitales de tortugas marinas hembras post anidantes: 1 individuo de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), cuatro de tortuga lora (*Lepidochelys kempii*) y 7 de tortuga verde (*Chelonia mydas*) con los cuales se estimó el ámbito hogareño, y mediante una rejilla del área de estudio compuesta por 170 hexágonos de 21 km² de área, se calculó la intensidad de uso de espacio para cada etapa del ciclo de vida. Con esta información y con la cuantificación de embarcaciones identificadas en la zona marina de Isla Arena de enero de 2017 a diciembre de 2019 mediante imágenes satelitales Sentinel-2, se identificaron las zonas de mayor interacción en tres temporadas distintas. Como resultado se obtuvo que los sitios de mayor uso de espacio en la etapa de alimentación son el sur y norte de Isla Arena, mientras que para la interanidación se presentó mayor uso en la línea paralela a la costa; para la migración la mayor parte del área de estudio tiene un uso que va de mayor a regular. En lo que respecta a la interacción potencial con embarcaciones, la que mayor interacción se observó durante la alimentación en la temporada 1 (enero a abril) al norte y sur de Isla Arena, mientras que el oeste y norte representan las zonas de mayor interacción para la migración durante la temporada 3 (septiembre a diciembre), y la temporada 2 (mayo a agosto) para interanidación. Los resultados de esta investigación resaltan que la cantidad de embarcaciones menores representa un estresor más para las zonas de agregación importantes para poblaciones de tortugas marinas.

Palabras clave: tortugas, interacción, embarcaciones, rastreo, marino.

Abstract

Within the Gulf of Mexico, five of the seven species of sea turtles are distributed and carry out essential stages of their life cycle. The marine habitats of sea turtles are subject to various threats, including bycatch and boat traffic. The aim of this study was to identify, in the marine portion of Isla Arena, Campeche, sites of use of space for its feeding, internesting, and migration stages, as well as potential zones of interaction with small vessels distributed in the study area. For this, satellite tracking of three species of post-nesting female sea turtles: 1 hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*), 4 Kemp's ridley turtle (*Lepidochelys kempii*), and 7 green turtle (*Chelonia mydas*), with which the home range was estimated, and through a grid of the study area made up of 170 hexagons of 21 km² area, the sites of the intensity of space use were estimated for each life stage. With this information and the quantification of vessels identified in the marine area of Isla Arena from January 2017 to December 2019 through Sentinel-2 satellite images, the areas of greatest interaction in three different seasons were identified. As a result, the sites with the highest use of space in the feeding stage are the south and north of Isla Arena, while for internesting the line parallel to the coast is where the highest use occurred; for migration, most of the study area has a use that goes from high to regular. Regarding the potential interaction with boats, feeding season one (January to April) was the one that presented the greatest interaction in the north and south of Isla Arena, while the west and north represent the areas of highest interaction for migration during season three (September to December), and season two (May to August) for internesting. The results of this research highlight that number of small boats activity represents another important stressor for important aggregation zones for sea turtle populations.

Keywords: Turtles, interaction, vessels, track, marine.



Introducción

En el golfo de México y Mar Caribe se distribuyen algunas de las poblaciones más importantes a nivel mundial de las especies de tortuga, como son Carey (*Eretmochelys imbricata*), Lora (*Lepidochelys kempii*), Verde (*Chelonia mydas*) y Caguama (*Caretta caretta*), además de individuos de tortuga Laud (*Dermochelys coriacea*) (Gaona y Barragán, 2016; Uribe-Martínez *et al.*, 2017). Ambos ecosistemas representan un área importante para la distribución de tortugas marinas, ya que realizan diferentes actividades esenciales de su ciclo de vida como lo es la anidación, crecimiento, alimentación y reproducción (Lamont *et al.*, 2015). Las tortugas post-anidantes se congregan en áreas comunes de alimentación tanto en el norte como en el sur del golfo de México, incluso compartiéndola con poblaciones de tortugas de otras latitudes como Islas Caimán, Colombia, Costa Rica y Cuba (Eckert *et al.*, 2020). A lo largo de su ciclo de vida, las poblaciones de tortugas marinas se enfrentan a diversos estresores que pueden comprometer su integridad biológica (Lovich *et al.*, 2018). En sus hábitats marinos, estas especies están sometidas a amenazas como derrames de hidrocarburos, tránsito de embarcaciones, impactos sobre sus hábitats de alimentación por el aumento en el nivel del mar, incremento de la temperatura superficial, por mencionar algunas (Liceaga-Correa *et al.*, 2020), por lo tanto es de suma importancia identificar hábitats críticos de tortugas marinas y las posibles amenazas a las que están sujetas, tanto en sus ecosistemas marinos como terrestres (Cuevas *et al.*, 2019; Liceaga-Correa *et al.*, 2022; Uribe-Martínez *et al.*, 2021).

Actividades como la pesca coincide en áreas con aguas cálidas donde especies de interés comercial y tortugas marinas convergen (Braun-McNeill *et al.*, 2008; Hsiang-Wen, 2015), provocando pesca incidental de individuos de tortugas marinas por diferentes artes de pesca, principalmente en zonas costeras por el empleo de palangre y redes de arrastre (Epperly, 2002; Guzmán-Hernández *et al.*, 2014). Un ejemplo de esto se registró en el trabajo de Cuevas *et al.*, 2018, quienes identificaron y cuantificaron áreas donde la pesca artesanal en la península de Yucatán está espacialmente asociada a hábitats de tortugas marinas. Así mismo, Liceaga-Correa *et al.* (2022) evaluaron las zonas sensibles para las tortugas marinas y sus impactos potenciales asociados, mostrando que el oeste, norte y noreste de la península de Yucatán son las más sensibles para las diferentes etapas del ciclo de vida de tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) tortuga lora (*Lepidochelys kempii*) y tortuga caguama (*Caretta caretta*).

Con ese contexto, el objetivo de este estudio fue identificar las zonas potenciales de interacción entre las embarcaciones menores y las zonas de agregación de tortugas marinas en la porción marina de Isla Arena. Con ello, se buscó contribuir al conocimiento sobre la distribución de estos organismos marinos en el sur del golfo de México, así como complementar información sobre el posible riesgo que representan ciertas actividades en el hábitat de las tortugas marinas.



Método

Área de estudio y colocación de transmisores

La zona marina de Isla Arena (figura 1) se encuentra establecida al interior de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, en una península no mayor a 2 kilómetros de largo y 150 metros de ancho formando un estero (Galeana, 2014) y se delimita entre los $20^{\circ}35'59''$ N y $90^{\circ}56'56''$ W. De acuerdo con Cuevas *et al.* (2022) es uno de los principales sitios de importancia de agregación de tortugas marinas en la región sur del golfo de México. Una de las principales actividades económicas de los pobladores locales de esta zona es la pesca artesanal, seguido del comercio y donde actualmente el turismo avanza para consolidarse como la segunda actividad económica local (Hernández-Félix *et al.*, 2017; INEGI, 2016).

Para este estudio se emplearon rastreos satelitales de hembras adultas post anidantes: 1 individuo de tortuga carey, 4 tortugas lora y 7 tortugas verde

(tabla 1), obtenidos del 2007 al 2017, y donde se tiene evidencia de que estas especies utilizan Isla Arena en alguna etapa de su ciclo de vida (Cuevas *et al.*, 2018). Dichas bases de datos fueron construidas con el apoyo de diferentes fuentes de financiamiento nacional e internacional (Ver sección de Agradecimientos para más detalles), mediante transmisores de las marcas Wildlife, Telonics y Sirtrack.

Los transmisores fueron colocados a 10 de ellas en sus playas de anidación en Tamaulipas y la península de Yucatán, mientras que las dos tortugas restantes fueron capturadas en la zona marina en sus sitios de residencia y alimentación. Estos transmisores utilizan un sistema de encendido y apagado conocido como interruptor de agua salada (Salt Water Switch), el cual consta de dos terminales (tornillos) expuestos en el transmisor, controlando el encendido y apagado de la terminal para definir cuando el transmisor se encuentra fuera del agua

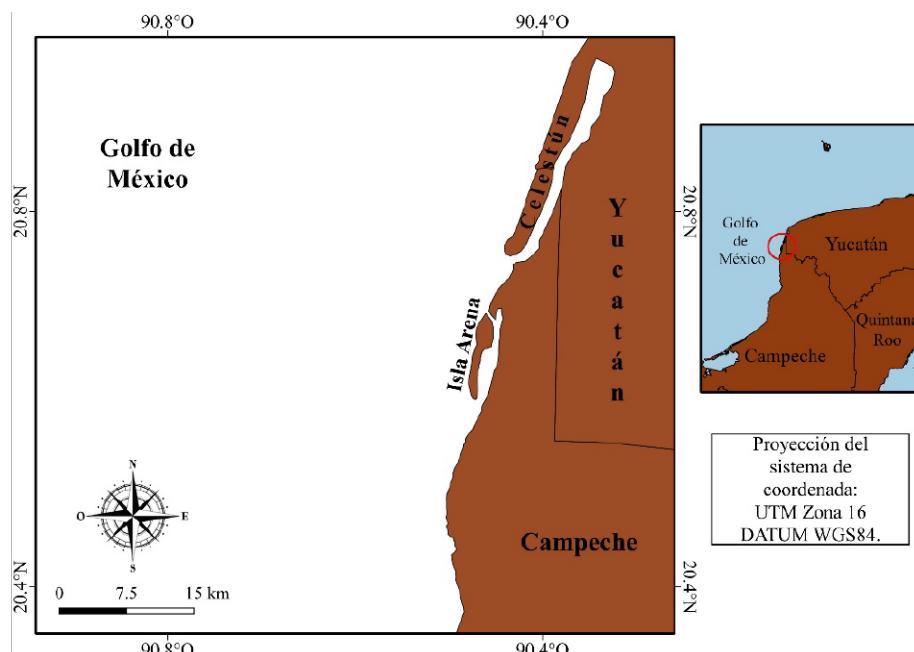


Figura 1. Demarcación del área de estudio en Isla Arena, Campeche.

**Tabla 1.** Datos individuales de cada rastreo.

Nombre de la tortuga	Especie	Ruta	Tiempo total de rastreo
Adriana	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	25/07/2013 - 18/09/2013
Gertrudis	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	19/06/2011 - 10/01/2012
Marina	<i>Chelonia mydas</i>	Cayo Arcas -Campeche	11/08/2011 - 15/10/2011
Nacha	<i>Chelonia mydas</i>	Arrecife Alacranes -oeste de Yucatán	9/07/2011 - 9/10/2011
Sofía	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	04/08/2013 - 21/09/2013
Vicky	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Campeche - Noroeste de Yucatán	15/07/2007 - 22/02/2008
176010	<i>Chelonia mydas</i>	Norte de Campeche - Veracruz	31/01/2019 - 19/06/2019
Tortuga 1	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Quintana Roo.	18/07/2016 - 11/04/2018
176011	<i>Chelonia mydas</i>	Campeche-Yucatán	17/02/2019 - 14/03/2019
158068	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Quintana Roo	31/05/2016 - 11/05/2017
158070	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas -Quintana Roo	23/06/2016 - 24/01/2017
158080	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Yucatán	21/07/2016 - 28/12/2016

(es decir, cuando el individuo está en la superficie del mar), que es cuando comienza a transmitir los datos de ubicación del individuo vía satelital. El derrotero de cada tortuga fue sometido a un proceso de depuración para trazar la ruta migratoria y clasificar cada conjunto de puntos en tres etapas: alimentación, migración e interanidación (tabla 2); considerando la amplitud del ángulo que forman los puntos entre sí durante el trayecto, la velocidad con la que se desplazaron de un punto a otro, y el tiempo que permanecen en el sitio, es decir, se reconoce que las tortugas marinas permanecen el mayor tiempo en sus sitios de alimentación y sólo migran cuando es su época reproductiva (Uribe-Martínez *et al.*, 2021; Iverson *et al.*, 2020).

Ámbito hogareño e intensidad de uso de espacio

Para las etapas de alimentación e interanidación, utilizando el programa estadístico R Studio (R Studio Team, 2018) con el paquete *adehabitatHR* (Calenge, 2006), se determinó el ámbito hogareño, (AH_i), i) mediante el método probabilístico no paramétrico Kernel (Worthon, 1989), el cual analiza la distribución de un organismo con base en la distribución de sus puntos (Hooge, 2001), y se generan isolíneas de un valor KUD definido, que en este caso fue del 50 % y 75 %

Con la información del ámbito hogareño, se calculó la intensidad de uso del espacio (IUE) mediante la representación en una rejilla del área de

Tabla 2. Categorización de etapas que realiza una tortuga marina en un rastreo satelital.

Etapa	Carácterísticas	Abreviatura
Alimentación/residencia	Movimientos espacialmente restringidos después de la migración.	ALM
Interanidación	Áreas donde los movimientos son espacialmente restringidos cercanos a sus playas de anidación.	IA
Migración	Movimiento dirigido, desplazamientos largos.	MIG



estudio compuesta de 170 hexágonos de 5 km² de diámetro cada uno, con un área de 21 km², la cual fue empleada para estimar la extensión del área utilizada en cada etapa. La decisión de utilizar hexágonos se debe a que son convenientes para representar conectividad y zonas de residencia y que pueden ajustarse para evaluar espacialmente grandes áreas, así como combinaciones de fuentes de datos de resolución múltiple (Birch *et al.*, 2007)

Este cálculo se realizó de acuerdo con lo propuesto por Cuevas *et al.* (2018) por medio de la siguiente ecuación:

$$IUE_{etapa} = \sum_{i=1}^n (AH_i)$$

donde **n** es el número total de individuos y **AH_i** es el área que ocupa cada ámbito hogareño por cada individuo **i** en un hexágono dado. Los valores obtenidos para todos los hexágonos se clasificaron con el algoritmo de Jenks (North, 2009) para maximizar las diferencias entre rangos de clases y obtener cuatro niveles uso: 1) mayor, 2) regular, 3) menor y 4) sin uso (tabla 3).

Cuantificación de embarcaciones e identificación de zonas de interacción potencial

Para cuantificar la concentración de embarcaciones en la zona marina de Isla Arena, se realizó un análisis visual de imágenes satelitales Sentinel-2 de la misión Copernicus, las cuales tiene una resolución de 10 m y una órbita polar que pasa por la zona de estudio cada 15 días, correspondientes a enero del 2017 y hasta diciembre del 2019 obtenidas del portal Earth Explorer del Servicio Geológico de

los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) (USGS, 2020).

Se emplearon 144 imágenes satelitales las cuales fueron agrupadas en tres temporadas, de cuatro meses cada una, además de un análisis anual. Estas temporadas se definieron de acuerdo con Cuevas *et al.* (2018), que consideran la dinámica de embarcaciones por el esfuerzo pesquero en una división anual de tres a cuatro meses: temporada 1 de enero a abril; temporada 2 de mayo a agosto; y temporada 3 de septiembre a diciembre. Estas temporadas se establecieron de esta manera ya que obedecen a la temporada en la que se utilizan diferentes artes de pesca, no obedece a las temporadas climáticas porque las pesquerías no necesariamente se rigen por las temporadas climáticas.

Del conjunto de imágenes obtenidas, sólo se exportaron las bandas 2 (azul), 3 (verde) y 4 (roja), al programa QGIS (Qgis, 2015) donde se realizó una búsqueda exhaustiva de embarcaciones menores, y para cada temporada se creó un archivo vectorial del tipo Esri shapefile, agrupando el número total de embarcaciones encontradas. Los datos de tipo punto generados en estos archivos vectoriales se incorporaron para el cálculo de concentración de puntos en una rejilla hexagonal de 5km de diámetro cada unidad.

Con la información de la concentración de embarcaciones por temporada, en conjunto con los valores de la intensidad de uso de espacio, se cuantificó la interacción potencial en el área de estudio mediante la siguiente ecuación:

$$IP_{temp} = (IUE_{etapa} * Emb_{temp})$$

Tabla 3. Rangos de clases de niveles de uso.

Niveles de uso	Mayor	Regular	Menor	Sin uso
Intensidad de uso de espacio	1-0.6	0.6-0.3	0.3-0.1	0.1-0
Interacción potencial	0.5-0.3	0.3-0.1	0.1-0.05	0.05-0



donde IP_{temp} es la interacción potencial por temporada, IUE_{etapa} es la intensidad de uso del espacio por etapa (donde etapa puede ser alimentación, interanidación o migración), y Emb_{temp} es el número de embarcaciones detectadas por temporada para

temporada ($temp$) 1, 2 o 3. Los valores resultantes fueron clasificados por el método de Jenks (North, 2009) para maximizar las diferencias entre clases y obtener cuatro niveles de interacción potencial: 1) mayor, 2) regular, 3) menor y 4) sin uso (tabla 3).

Resultados

Áreas de intensidad de uso de espacio de tortugas marinas y conteo de embarcaciones

La intensidad del uso de espacio (IUE) para la etapa de alimentación fue “mayor” al norte de Isla Arena, región adyacente a Celestún (figura 2A); mientras que, al sur de Isla Arena a cinco kilómetros de su costa, se observó una concentración que va de “menor” a “mayor”.

Para la etapa de interanidación (figura 2B), se presentó un uso de espacio “mayor” a lo largo de la línea de costa desde el oeste de Celestún hasta el sur de Isla Arena, además de que en la periferia de Isla Arena se observaron unidades de uso que van de “regular” a “mayor”. Tanto para la etapa de alimentación como de interanidación, el límite hasta donde se extiende la IUE es de 15 km de distancia desde la costa de Isla Arena, hacia el interior del golfo de México.

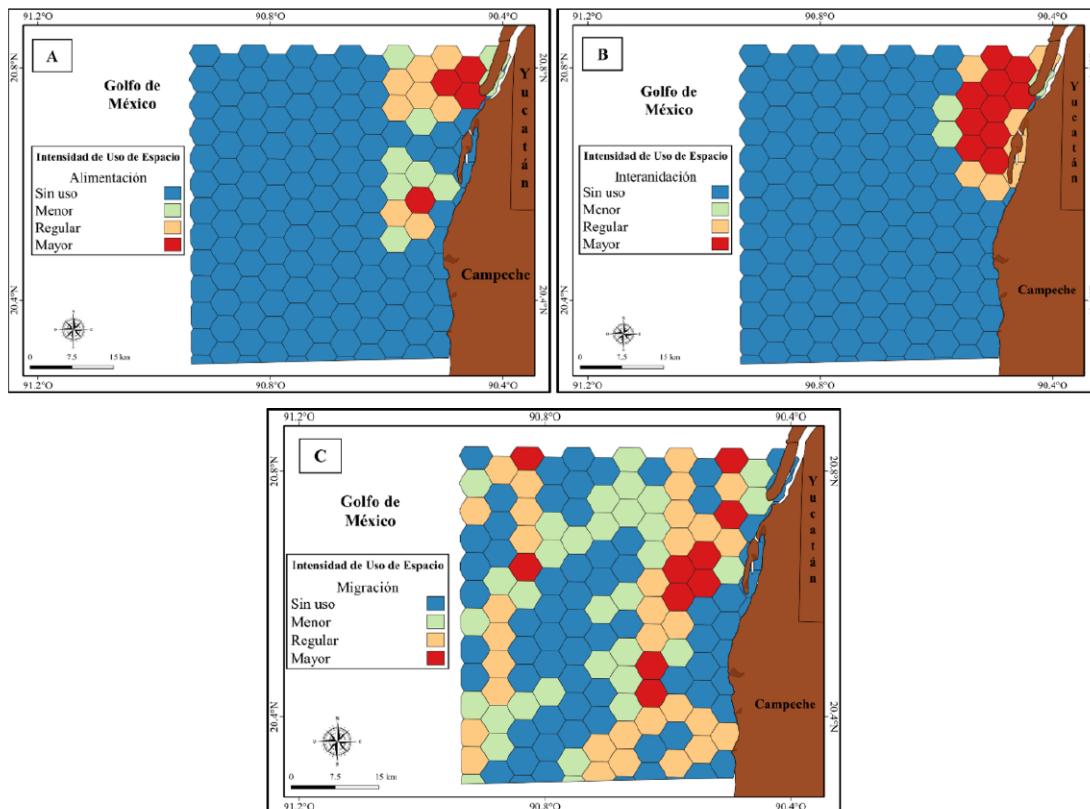


Figura 2. Intensidad de Uso de Espacio (IUE) para tortugas carey, lora y verde tortugas marinas en Isla Arena, Campeche durante las etapas de: a) alimentación, b) interanidación y c) migración.



Por último, para la etapa de la migración (figura 2C) la zona de estudio está cubierta por un mosaico de valores que van de intensidades de uso de “menor” a “mayor, con una extensión de IUE de 40 km de distancia de la línea costera de Isla Arena hacia el interior del golfo de México. Tanto al sur oeste como al norte de Isla Arena, a cinco kilómetros de su costa, se presentó un uso de espacio que va de “regular” a “mayor”.

En cuanto a la cuantificación de embarcaciones en Isla Arena, se contabilizaron un total de 256 durante las tres temporadas (figura 3D). Para este análisis la mayor concentración de embarcaciones se observó al norte del área de estudio, con hexágonos que van de 4 a 9, seguido del oeste de Isla Arena con un total de 3 a 9 por hexágono. Así mismo, se observó un conjunto de hexágonos con valores de 6 a 9 embarcaciones a una distancia de aproximadamente 45 km de la costa de Isla Arena.

En el análisis por temporadas, durante la temporada 1 (enero a abril) se contabilizaron 111 embarcaciones, siendo la que mayor cantidad registró entre temporadas (figura 3A). Se observan hexágonos que van de 2 a 7 embarcaciones al oeste, sur y norte de Isla Arena, así como al sur de Celestún. A lo largo de la zona de estudio se presenta una distribución de hexágonos con valores de 1 a 4 embarcaciones.

Por otro lado, la menor cantidad de embarcaciones se observó durante la temporada 2, con un total de 50 (mayo a agosto) (figura 3B). Si bien en las inmediaciones de Isla Arena no se encontraron embarcaciones, sin embargo, a ocho kilómetros de su costa, hacia el sur y noroeste se presentaron hexágonos de 3 a 6 embarcaciones, particularmente al sur de Celestún donde se observó una concentración de hexágonos que van de 1 a 2 embarcaciones. Cabe resaltar un conjunto de hexágonos al oeste,

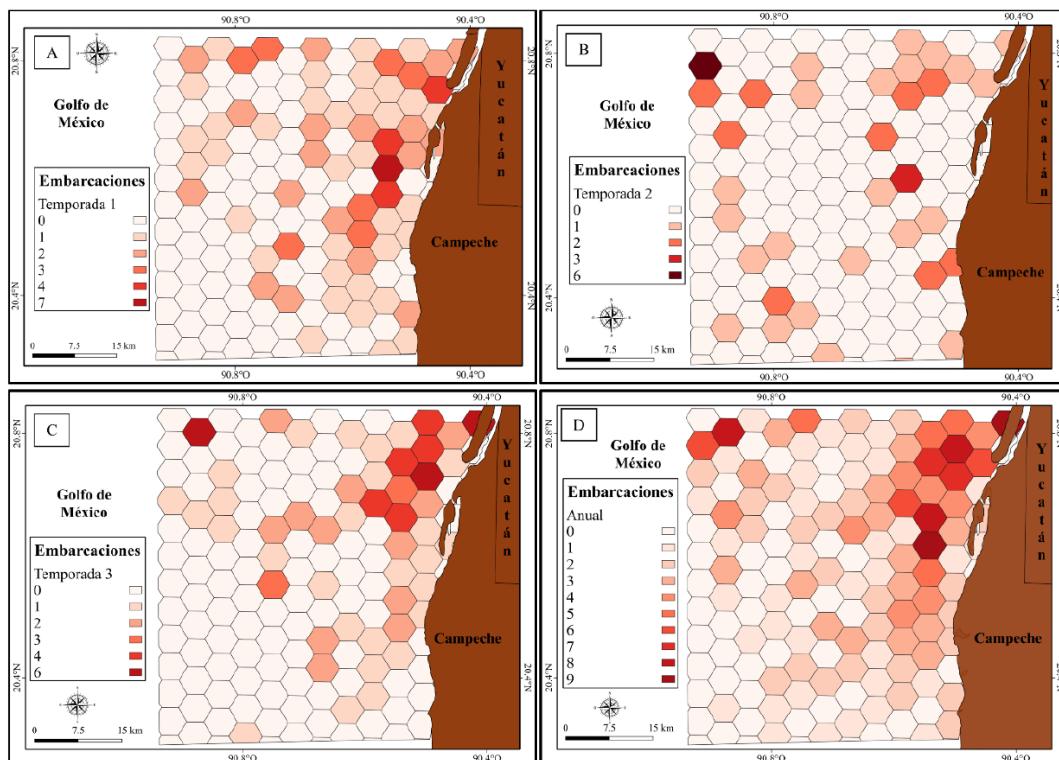


Figura 3. Concentración de embarcaciones en Isla Arena. a) temporada 1 (enero a abril), b) temporada 2 (mayo a agosto), c) temporada 3 (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).



que van de 2 a 6 embarcaciones a 45 km de la costa de Isla Arena.

En la temporada 3, el número total de embarcaciones fue de 95 (septiembre a diciembre) (figura 3C). La mayor concentración de hexágonos con valores de 1 a 6 se presentó al norte y oeste de Isla Arena, al igual que al sur de Celestún. Así mismo, en la periferia de Isla Arena se observaron hexágonos 1 a 4 embarcaciones. Del mismo modo, destaca al oeste a 50 km de la costa de Isla Arena un conjunto de hexágonos de 5 a 7 embarcaciones.

Zonas de interacción potencial entre embarcaciones y tortugas marinas

El análisis de la interacción potencial (IP) de embarcaciones con los sitios de mayor intensidad de uso de espacio (IUE) de tortugas marinas se realizó

conforme a la(s) temporada(s) en las que se conoce que pueden coincidir para cada etapa. Es por ello que para la etapa de alimentación se contrastó con las 3 temporadas de embarcaciones, ya que su alimentación es durante todo el año.

Tanto la temporada 1 como la 3 fueron las que mayor IP representaron en la zona de estudio. Para la primera, presentó hexágonos de una IP que va de “regular” a “mayor” a 5 kilómetros al sur y norte de Isla Arena, en la región adyacente a Celestún (figura 4A). Del mismo modo, al oeste de Isla Arena se presentó una IP que va de “menor” a “regular”.

En lo que respecta a la temporada 3 (figura 4C), la IP va de “mayor” a “regular” al norte de Isla Arena, en la región adyacente a Celestún, mientras que al sur y oeste de Isla Arena es “menor” a “sin impacto”.

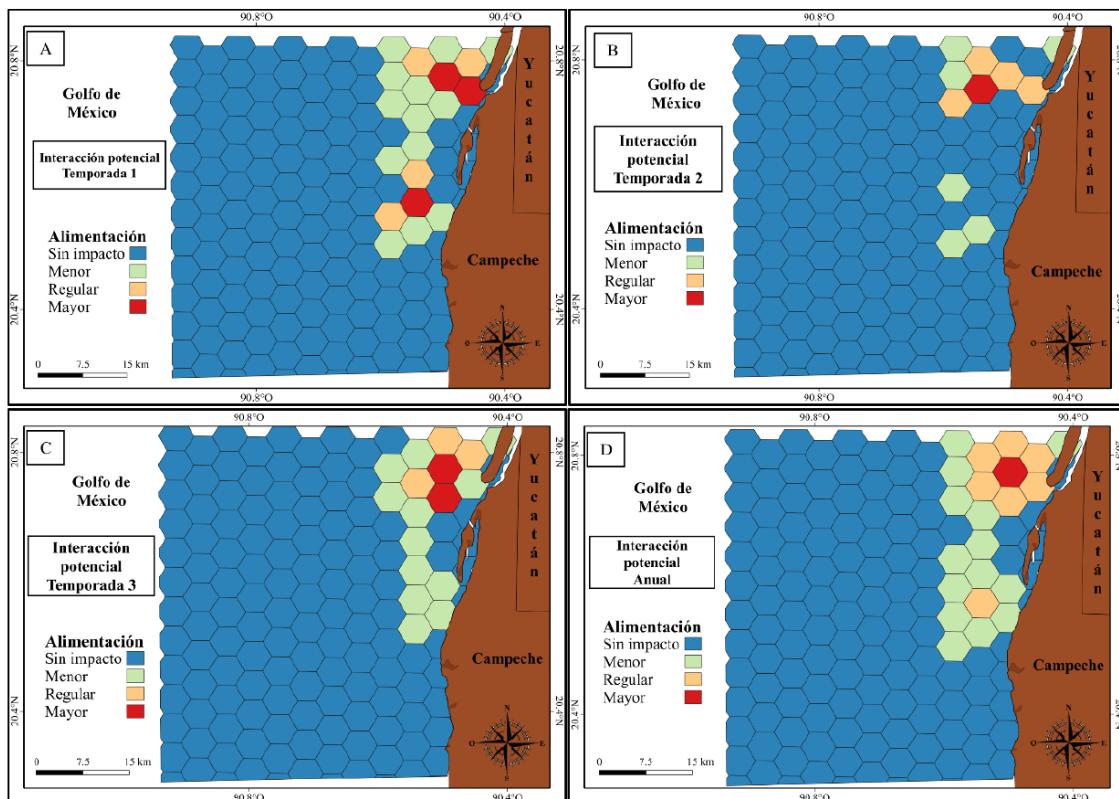


Figura 4. Interacción potencial en Isla Arena en etapa de alimentación. a) temporada 1 (enero a abril), b) temporada 2 (mayo a agosto), c) temporada 3 (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).



En contraste, la temporada 2 fue la que menor IP representó de todas las temporadas (figura 4B), con hexágonos de “sin impacto” en la periferia de Isla Arena, y al norte, sin embargo, al norte en la región adyacente a Celestún el IP va de “regular” a “mayor”.

En el análisis anual (las 3 temporadas) (figura 4 D), la mayor IP se presentó al norte de Isla Arena, con hexágonos que van de “regular” a “mayor”, mientras que el oeste y sur va de “menor” a “regular”.

Para la etapa de migración, se conoce que las tortugas marinas migran antes y después de su época reproductiva al dirigirse a sus playas de anidación, que en la mayoría de las especies abordadas en este trabajo van de mayo a agosto, por lo que se contrastó con las temporadas 2 y 3.

En la temporada 2 (figura 5A) la zona de estudio está cubierta en su mayoría por hexágonos con IP que va de “sin impacto” a “menor”, particularmente al norte de Isla Arena donde se presentó una concentración de estos valores. Sólo un hexágono de IP “mayor” se observó a 10 km del sur de Isla Arena, mientras que al noroeste la IP es “regular”.

La temporada 3 (figura 5B), fue la que mayor IP presentó, con un hexágono de “mayor” al norte, en la zona adyacente a Celestún, mientras que al oeste va de “regular” a “mayor”. La mayor parte de la zona de estudio está cubierta por hexágonos que van de “sin impacto” a “menor”.

En el análisis anual (temporada 2 y 3) (figura 5 C), hexágonos con “mayor” IP se presentaron al oeste y norte de Isla Arena, seguido de “regular”. Del mismo modo, se observó una gran cobertura en el espacio marino de la zona de estudio que está cubierta mayoritariamente por polígonos de “menor” a “sin impacto””.

Para la etapa de interanidación, sólo se contrastó con la temporada 2 (figura 6A), ya que, como se mencionó antes, la mayoría de las especies de esta investigación anida de mayo a agosto. En esta temporada, se presentaron hexágonos con una IP de “regular” a “mayor” al norte y noroeste de Isla Arena, en la región adyacente a Celestún. Para el sur y oeste de Isla Arena, no se observó una IP con embarcaciones.

Discusión

En Campeche, el aumento de embarcaciones menores ha incrementado la sobre pesca, lo que ha desencadenado afectaciones para la fauna de acompañamiento (Ramírez-Rodríguez, 2015), o especies residentes en estos espacios, como es el caso de las tortugas marinas debido al potencial de colisiones, captura incidental y alteración del comportamiento. Galaviz-López (2014) reconoce que las tortugas marinas comparten zonas geográficas con pesquerías artesanales, e interactúan con ellas al momento en que realizan sus jornadas de pesca, ya sea de forma directa o indirecta.

Mendez *et al.* (2013) reportan que, en la península de Yucatán, las flotas artesanales operan cerca de las costas a isobatas menores a los 100 m en busca de especies comerciales, lo que incrementa la vul-

nerabilidad de los ámbitos hogareños y la captura incidental de tortugas durante la etapa migratoria. En esta investigación, las zonas alimentación de las tortugas marinas se encuentran relativamente cerca de la costa, patrón similar en otras regiones de México como es el caso de lo reportado por Martínez-Estevez *et al.* (2021) en el golfo de California, donde la mayoría de las áreas de alimentación de tortugas marinas coincidían con áreas de pesca, debido a sus preferencias de hábitat y presas. De igual manera Hazel *et al.* (2007), encontraron grandes números de embarcaciones adyacentes a los hábitats de alimentación de tortugas marinas en aguas poco profundas (~20 m), las altas velocidades a las que se desplazan estas embarcaciones representan un riesgo de colisión para las tortugas marinas de-

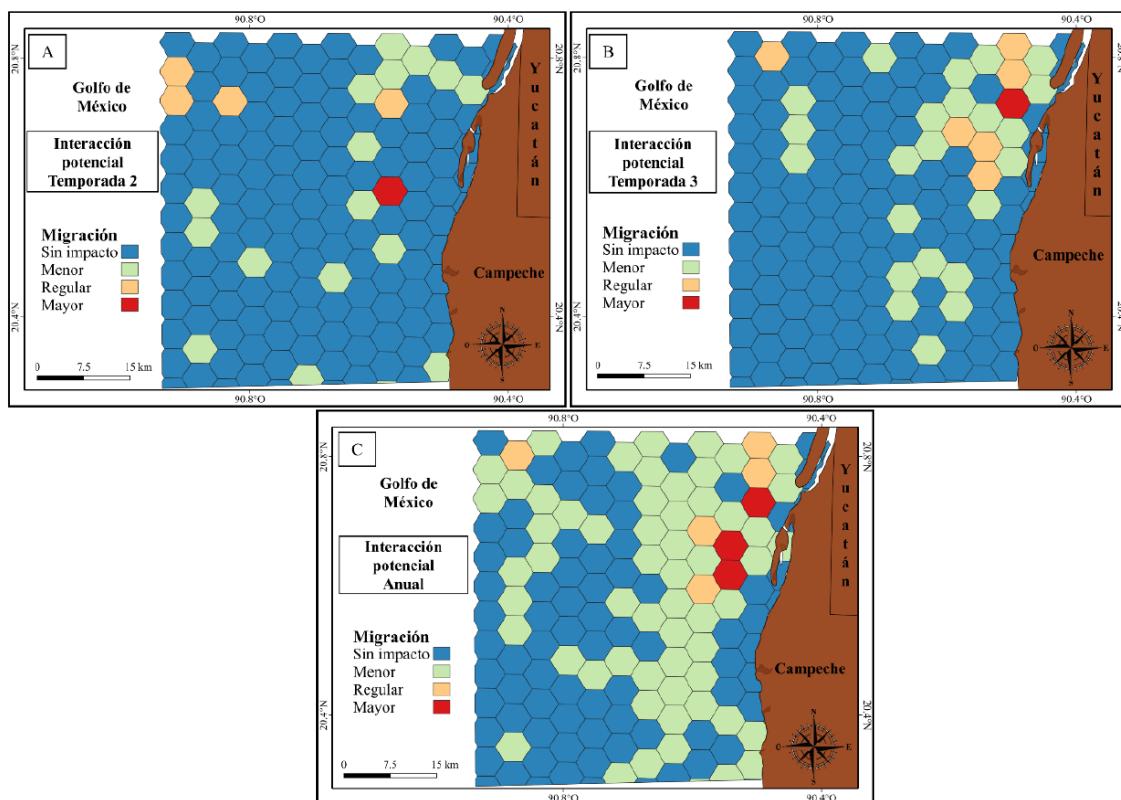


Figura 5. Interacción potencial en Isla Arena en etapa de migración. a) temporada 2 (mayo a agosto), b) temporada 3 (septiembre a diciembre), c) anual (temporadas 2 y 3 del 2017-2019).

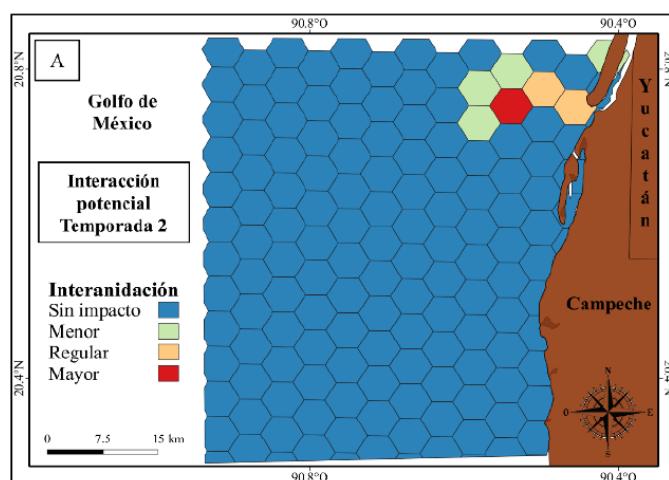


Figura 6. Interacción potencial en Isla Arena en etapa de interanidación. a) temporada 2 (mayo a agosto del 2017 al 2019).



bido al poco tiempo de respuesta que tienen para evitar colisionar con ellas.

Esta investigación es la primera en la región que identifica el patrón de embarcaciones menores y cómo se superponen con el hábitat de las tortugas marinas. No se caracterizó ni la actividad que llevaban a cabo o la especie objetivo que buscaban en su jornada de pesca, aun así, sí se cuenta con información de que ciertas artes de pesca reportadas en Isla Arena (Cuevas *et al.*, 2018) son consideradas como las que mayor afectación causan a las poblaciones de tortugas marinas (Hsiang-Wen, 2015), por lo que el uso compartido del espacio marino durante alguna actividad antrópica en zonas de distribución de tortugas marinas puede representar un riesgo para su protección y conservación.

Un ejemplo de este tipo de actividades antrópicas es la pesca ribereña, principalmente realizada en embarcaciones menores, la cual en esta región se lleva a cabo en mayor medida de septiembre a diciembre, época en la que se aprovecha la mancha de peces que se acercan a la orilla (Guzmán-Hernández *et al.*, 2014), así como en la época de nortes (noviembre a febrero) y lluvias (junio a octubre) donde se realiza la pesca de especies de mayor valor comercial (Vega-Cendejas 2004).

Los resultados obtenidos en este trabajo tiene un comportamiento similar a la dinámica de pesca antes descrita, particularmente con la temporada 3 (septiembre a diciembre), la cual corresponde a la época de lluvias y la temporada 1 (enero a abril) que corresponde a la época de nortes; es durante estas dos temporadas, principalmente la 3, donde se presentó tanto una mayor concentración de embarcaciones, como de las que mayor interacción potencial representó para las etapas de alimentación y migración.

Por otro lado, en esta región no sólo se extrae escama como único recurso. Un ejemplo de ello, y cuya temporalidad de máximo esfuerzo es contrastante con las temporadas de mayor interacción

potencial, es lo reportado por Wakida-Kusunoki *et al.* (2016), quienes reportaron a Isla Arena y Celestún como localidades donde la pesca de camarón se realiza durante todo el año, principalmente de octubre a enero, pero con máximos esfuerzos pesqueros en marzo y diciembre.

Por el contrario, pero en esta misma línea de recursos diferentes a la pesca de escama, el pepino de mar acuerdo con Espinoza-Tenorio *et al.* (2012) y López-Rocha *et al.* (2020), se realiza de manera intensa entre abril y mayo con registros de hasta 290 embarcaciones de fibra de vidrio con motor afuera de la borda para su extracción por buceo. Esto es contrario a los resultados de esta investigación, ya que mientras en esta época los autores mencionan una gran cantidad de embarcaciones, estos meses representan la temporada 2, la cual fue de las que menor cantidad de embarcaciones e interacción potencial se observó. Sin embargo, cabe destacar que, si bien el arte de pesca para la captura de pepino de mar no representa una amenaza para las tortugas, el tráfico de embarcaciones en la zona aumenta el riesgo de colisión y cambios de comportamiento.

Como se mencionó antes, existe un precedente en la península de Yucatán donde se identificaron puntos de atención (hotspots) de potencial captura incidental realizado por Cuevas *et al.* (2018) quienes reportan que en la región oeste, de febrero a julio, existe una mayor captura incidental con una abrupta disminución de agosto a enero, periodo en el que coincide con la pesca de pulpo. Esto también es contrario a los resultados de esta investigación, ya que mientras ellos reportan una disminución de agosto a enero de la captura incidental, los resultados de esta investigación afirman que es durante este tiempo cuando mayor interacción potencial hay en la zona. Esto mismo es reafirmado por Cabrera *et al.* (2012), quienes coinciden en que durante la pesca de pulpo es cuando las embarcaciones artesanales son las más numerosas y dispersas.



Conclusión

La zona marina de Isla Arena es un hábitat crítico para las diferentes especies de tortugas marinas que se distribuyen en el sur del golfo de México, ya que, al sur oeste y norte de Isla Arena, particularmente en el área próxima a Celestún, se observó que utilizan este espacio para múltiples actividades esenciales de su vida acuática, como la alimentación, migración e interanidación.

La dinámica de embarcaciones que se observó en Isla Arena sucede en mayor medida al norte, oeste y sur, de enero a abril y de septiembre a diciembre, lo cual representa una interacción potencial de actividades antrópicas con las diferentes especies de tortugas marinas que confluyen en esta región.

Esta investigación ayuda a complementar información en materia de identificación y evaluación de zonas de interacción potencial en la península

de Yucatán por estresores como la presencia de embarcaciones. Se sugiere que, además del esfuerzo pesquero que imprime un riesgo potencial, se continúe el monitoreo y caracterización de la actividad acuática, ya que la sola presencia de las embarcaciones representa un estresor más para zonas de agregación importantes, como el noroeste de la península de Yucatán.

Se espera que estos resultados sean incorporados en los planes de manejo y conservación de las áreas naturales protegidas asociadas a estos ecosistemas, considerando no solo a los individuos de tortugas que ahí habitan, sino a todo el ecosistema asociado. Además, que esta información llegue a ser del conocimiento público, el cual es pieza fundamental para la conservación de las tortugas marinas.

Agradecimientos

Este proyecto contó con el apoyo de Wildlife Computers para la donación de transmisores satelitales, al igual que el apoyo brindado por PRONATURA Península de Yucatán mediante el Programa de Conservación de Tortugas Marinas y de la Dirección

del Santuario Playa Rancho Nuevo de la CONANP quienes recibieron apoyo de Petrofac para el estudio de hembras post-anidantes. Así mismo, a la Universidad Autónoma Metropolitana por las facilidades otorgadas para esta investigación.

Referencias

- Birch, C. P., Oom, S. P., & Beecham, J. A. 2007. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological modelling*, 206(3-4): 347-359.
- Braun-McNeill, J., Sasso, C.R., Epperly, S.P., Rivero, C. 2008. Feasibility of using sea surface temperature imagery to mitigate cheloniid sea turtle-fishery interactions off the coast of northeastern USA. *Endangered Species Research*, 5(2-3): 257-266.
- Cabrera, M.A., Ramos-Miranda, J., Salas, S., Flores-Hernández, D., Sosa-López, A. 2012. Análisis de la estructura poblacional del pulpo rojo (*Octopus maya*) en la península de Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 64: 480-485.
- Calenge, C. 2006. The package “adehabitat” for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological modelling* 3-4 (197): 516-519.
- Cuevas, E., Guzmán-Hernández, V., Uribe-Martínez, A., Raymundo-Sánchez, A., Herrera-Pavón, R. (2018). Identification of potential sea turtle bycatch hotspots using a spatially explicit approach in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Chelonian conservation and biology*, 17(1), 78-93.
- Eckert, K., Azanza-Ricardo, J., Barrientos-Muñoz, K.G., Barrios-Garrido, H., Berkel, J., Bevan, E., Campbell, C.L., Charles, K.E., Cuevas-Flores, E., Daniel, C., Diez, C.E., Doyle, E., Dunbar, S.G., Eckert, A., Eckert, S.A., Martín-Viaña, Y.F., García-Cruz, M., Godfrey,



- D., Guada, H., Guy-Stapleton, C., Horrocks, J.A., Lagueux, C.J., Levenson, J.J., López-Castro, M.C., Moncada-Gavilán, F., Gerhartz-Muro, J.L., Montiel-Villalobos, M.G., Morrall, C., Ramírez-Gallego, C., Rguez-Baron, J.M., Rojas-Cañizales, D., Schut, K., Searle, L., Stapleton, S., Uribe-Martínez, A., Wibbels, T., Wildermann, N., Robinson, N.J. (2020). Sea turtles of the Caribbean. En Mast, R.B., Hutchinson, B.J., Villegas, P.E. (Eds.) *The State of the World Sea Turtles*. California, U.S.A. Oceanic Society. 14-32pp.
- Espinosa-Tenorio, A., Pech, D., Ramos, J., Peña-Puch, A. 2012. Una radiografía antes de decidir: el reto del aprovechamiento sustentable del pepino de mar en Campeche. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 4: 57-62.
- Galaviz-López, J.M. 2014. Un modelo geoestadístico para evaluar la interacción entre tortuga marina y las pesquerías artesanales frente a las playas de anidación en Guerrero y Oaxaca, México. (Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior Ensenada). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior Ensenada, Baja California. 112p.
- Galeana, P. 2014. Análisis de resiliencia socio-ecológica de la pesquería del pepino de mar en Isla Arena, Campeche. (Avances de investigación de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur, Campeche). 3-4pp.
- Gaona, O., Barragán, A.R. 2016. Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación. Soluciones ambientales ITZENI. Ciudad de México, México: CONANP. 240 p.
- Guzmán-Hernández, V., Escanero- Figueroa, G., Márquez-Millan, R. 2014. Programa tortuguero en el Centro Regional de Investigación Pesquera de Ciudad del Carmen, Campeche: retrospectiva, avances y perspectivas. En Márquez-Millán, R. y Garduño-Dionate, M. (Eds.) *Tortugas marinas*. México. Instituto Nacional de Pesca. 55-67pp.
- Hazel, J., Hamann, M., Lawler, I.R. 2013. Home range of immature green turtles tracked at an offshore tropical reef using automated passive acoustic technology. *Marine Biology*, 160(3): 617-27. doi:10.1007/s00227-012-2117-0.
- Hernández-Félix, L., Molina-Rosales, D., Agraz-Hernández, C. 2017. Servicios ecosistémicos y estrategias de conservación en el manglar de Isla Arena. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14(3): 427-449.
- Hooge, P. N., Eichenlaub, W M., Solomon, E. K. (2001). Using GIS to analyze animal movements in the marine environment. *Spatial Processes and Management of Marine Populations. Alaska Sea Grant College Program, Anchorage Alaska*, 37-51
- Hsiang-Wen, H. 2015. Conservation Hotspots for the turtles on the high seas of the Atlantic Ocean. *Plos One*, 10: 1-20.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Estructura económica de Campeche en síntesis. p.2.
- Iverson, A.R., Benscoter, A.M., Fujisaki, I., Lamont, M.M., Hart, K.M. 2020. Migration corridors and threats in the Gulf do Mexico and Florida straits for loggerhead sea turtles. *Frontiers in Marine Science*, 7(208), 1-12.
- Lamont, M.M., Putman, N.F., Fujisaki, I., Hart, K.M. 2015. Spatial requirements of different life-stages of the loggerhead turtle (*Caretta caretta*) from a distinct population segment in the northern Gulf of Mexico. *Herpetology Conservation Biology*, 10: 26-43. doi: 10.1186/s40317-015-0089-9.
- Liceaga-Correa, M.A., Uribe-Martínez, U., Cuevas, E. 2020. Vulnerabilidad ecológica de tortugas marinas ante múltiples amenazas y derrames de petróleo de gran escala en el Golfo de México. En Aguirre-Macedo, M.L., Pérez-Brunius, P., y Saldaña-Ruiz, L.E. (Eds.). Vulnerabilidad ecológica del golfo de México ante derrames de gran escala. Regiones, especies y ecosistemas vulnerables ante derrames de gran escala en el golfo de México (9-25). Ensenada, CICESE. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4527457>.
- Liceaga-Correa, M.A., Uribe-Martínez, U., Cuevas, E. 2022. Ecological vulnerability of adult female marine turtles as indicators of opportunities for regional socioecosystems management in the southern Gulf of Mexico. *Sustainability*, 14(184): 1-25.
- López-Rocha, A.J., Pedroza-Gutiérrez, C., Vidal-Hernández, L.E., Gamboa-Álvarez, M.A., Velázquez-Abunader, I., Romero-Gallardo, S., Arteaga-Muñoz, J. (2020). La pesquería de pepino de mar en Yucatán: Auge, declive y perspectivas a futuro. En Pérez-Morales, A., Aké-Castillo, J.A., y Pot-Delgado, C.A. (Eds.) *Investigaciones marinas en el golfo de México y Mar Caribe mexicano* México. Universidad de Colima. 508-535p.
- Lovich, J.E., Ennen, J.R., Agha, M., Gibbons, J.W. (2018). Where have all the turtle gone, and why does it matter? *BioScience*, 68(10), 771-781.
- Martínez-Estevez, L., Amador, J.P., Amador, F.C., Zilliacus, K.M., Pacheco, A.M., Seminoff, J.A., Lucero, J., Ocegueda, K., Tershy, B.R., Croll, D.A. (2021). Spatial ecology of hawksbill sea turtles (*Eretmochelys imbricata*) in foraging habitats of the Gulf of California, Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 27: e01540. doi:org/10.1016/j.gecco.2021.e01540
- Méndez, D., Cuevas, E., Navarro, J., González-Garza, B.I., Guzmán-Hernández, V. (2013). Satellite tracking of green turtles' females *Chelonia mydas* and the evaluation of their home ranges in the north coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48: 497-509.
- North, M.A. 2009. A method for implementing a statistically significant number of data classes in the Jenks algorithm. En Sixth International Conference, IEEE. Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 35-35pp.
- Ramírez-Rodríguez, M. 2015. La pesquería de camarón en Campeche: Desarrollo histórico y perspectiva. *Ciencia Pesquera*, 23(1): 73-87.



- R Studio Team. 2018. R Studio: integrated Development for R (1.4.1106). Computer program. R Studio, Inc. USA, Boston.
- Schmid, J.R., y Barichivich, W.J. (2005). Developmental biology and ecology of the Kemp's ridley sea turtle, *Lepidochelys kempii*, in the eastern Gulf of Mexico. *Chelonian Conservation and Biology*, 4(4), 828-834.
- Uribe-Martínez, A., Liceaga-Correa, M., Cuevas, E. (2017). Idoneidad ambiental de las tortugas marinas en el Golfo de México: visión futura en el océano más caliente. En Botello, A.V., Villanueva, S., Gutiérrez, J., Rojas-Galaviz, J.L. (Eds) Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio-climático. Campeche, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 379-414pp.
- Uribe-Martínez, A., Liceaga-Correa, M.A., Cuevas, E. (2021). Critical in-water habitats for post-nesting sea turtles from the southern Gulf of Mexico. *Journal Marine Science Engineering*, 9 (793): 1-24.
- United States Geological Services. (2020). Earth explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vega-Cendejas, M.E. (2004). Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Celestún, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 75: 193-206.
- Wakida-Kusunoki, A.T., Rojas-González, R.I., Toro-Ramírez, A., Medina-Quijano, H. A., Cruz-Sánchez, J.L., Santaña-Moreno, L.D., Carrillo-Nolasco, I. 2016. Caracterización de la pesca de camarón en la zona costera de Campeche y Yucatán. *Ciencia Pesquera*, 24: 3-13.
- Worton, B. J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70(1):164-168.



Becerril-Cortés, D., Monroy Dosta, M.C., García-López, J., Solano-Rendón, R., Mata-Sotres, J.A. 2023. Panorama actual de la pesca ribereña en la desembocadura del río Actopan, Chachalacas, Veracruz (periodo 2014-2023). *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático* 5(1): 41-50. doi 10.26359/52462.0323



Panorama actual de la pesca ribereña en la desembocadura del río Actopan, Chachalacas, Veracruz (periodo 2014-2023)

Current panorama of coastal fishing at the mouth of the Actopan River, Chachalacas, Veracruz (2014-2023 period)

*Daniel Becerril-Cortés¹, María del Carmen Monroy Dosta¹, Jayro García-López²,
Regina Solano-Rendón² y José Antonio Mata-Sotres^{1*}*

¹Laboratorio de Análisis Químico de Alimento Vivo,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

²Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

* autor de correspondencia: jmata@correo.xoc.uam.mx

doi 10.26359/52462.0323

Recibido 22/mayo/2023. Aceptado 2/septiembre/2023

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

En la actualidad, las actividades humanas como el turismo, los asentamientos humanos, las actividades agropecuarias e industriales han generado una alteración de las comunidades biológicas asociadas a la zona costera, en particular, las comunidades de peces. Las zonas costeras del estado de Veracruz en el golfo de México, se caracterizan por su alta biodiversidad, e incluyen una gran variedad de recursos pesqueros, ocupando el cuarto lugar en la producción pesquera nacional. Sin embargo, no existen registros recientes sobre la ictiofauna de la zona de Chachalacas, Veracruz. En el presente estudio, se realizaron 12 muestreos desde el mes de febrero de 2014 hasta marzo de 2023 en la desembocadura del río Actopan, tanto en la zona marina como en la zona de agua salobre. Se registraron 19 especies, destacando el jurel blanco (*Caranx latus*), el robalo (*Centropomus undecimalis*), la corvina ocelada (*Sciaenops ocellatus*) y la lisa (*Mugil liza*), como especies frecuentes en todos los períodos de muestreo. Siendo la lisa, la única especie que ha mantenido relativamente constante en cuanto a abundancia de organismos capturados, contrastando con el jurel blanco que ha reducido su abundancia en la zona. Además, en relación al CPUE se observa un decrecimiento constante conforme han pasado los años. Los resultados del presente estudio ayudarán a sentar las bases para diseñar planes de manejo de los recursos pesqueros de la zona de Chachalacas, Veracruz.

Palabras clave: Ictiofauna, Biodiversidad, Pesca, Veracruz, CPUE

Abstract

Currently, human activities such as tourism, human settlements, agricultural and industrial activities have generated an alteration of the biological communities associated with the coastal zone, particularly fish communities. The coastal zones of the State of Veracruz in the Gulf of Mexico are characterized by their high biodiversity and include a great variety of fishery resources, occupying fourth place in national fish production. However, there are no recent records on the ichthyofauna of the area of Chachalacas, Veracruz. In the present study, 12 samplings were carried out from February 2014 to March 2023 at the mouth of the Actopan River in both the marine and brackish water zones. Twenty species were recorded, highlighting the white jack mackerel (*Caranx latus*), snook (*Centropomus undecimalis*), ocellated croaker (*Sciaenops ocellatus*) and mullet (*Mugil liza*), as frequent species, in all sampling periods, being the latter. The mullet is the only species that has remained relatively constant in terms of the abundance of organisms caught, in contrast to the white jack mackerel, which has reduced its abundance in the area. In addition, in relation to the CPUE, there is a constant decrease over the years. The results of this study will help lay the groundwork for designing management plans for fishery resources in the area of Chachalacas, Veracruz.

Key words: Ichthyofauna, Biodiversity, Fishing, Veracruz, CPUE



Introducción

Veracruz es el segundo estado de la república mexicana con la mayor diversidad de especies de vertebrados, plantas vasculares y artrópodos (SEMARNAT, 2023). Esta gran biodiversidad está relacionada directamente con la gran variedad de hábitats presentes, existiendo así una gran heterogeneidad de suelos y climas que generan diversas condiciones ambientales (Benítez-Badillo *et al.*, 2010). Las zonas costeras del Estado de Veracruz en el Golfo de México se caracterizan por su alta biodiversidad, e incluyen una gran variedad de recursos pesqueros, ocupando el cuarto lugar en la producción pesquera nacional (SEMARNAT, 2023). El litoral Veracruzano posee una riqueza hidrológica debido a su extensión de 745 km, además de contar con 12 desembocaduras de los principales ríos del golfo de México y diversos cuerpos de agua dulce (Romero-Hernández *et al.*, 2014; Reyna-González *et al.*, 2019). Por lo que es fácil entender que dichos ambientes den lugar a una importante actividad pesquera multiespecífica, con sistemas de captura en su mayoría de tipo artesanal (colecta manual, redes de enmalle, chinchorros, atarrayas, trampas y líneas de mano) (INAPESCA, 2017), de tal manera que la pesca representa un sector económico importante para el estado de Veracruz, no solo por la

captura de especies marinas, sino también por la obtención de peces de agua dulce y salobre (Portillo-Peralta *et al.*, 2022). Sin embargo; la zona costera se encuentra altamente contaminada, caso específico es la barra de Chachalacas, Veracruz, en donde desemboca el río Actopan; el cual es afectado por las descargas de desechos agroindustriales, turísticos y de casa habitación, que afectan a los peces nativos, lo cual representa un gran riesgo de seguridad alimentaria y de tipo económico para la población local ya que el río Actopan sirve como medio de sustento para los habitantes aledaños, que realizan captura para consumo propio y para la venta al turismo (Ortiz-Lozano *et al.*, 2006).

Por otra parte, existen numerosos estudios sobre las especies que conforman la pesquería de zonas como Alvarado, Tuxpan y Mandinga entre otros (Reyna-González *et al.*, 2019), sin embargo, no existen registros recientes para la zona de Chachalacas, Veracruz. Por lo que este estudio es una contribución al conocimiento sobre el estado actual de la pesquería en la desembocadura del río Actopan, como una herramienta importante para la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos acuáticos que son utilizados por la gente que habita la zona costera de Veracruz.

Metodología

Los muestreos se realizaron durante los meses de febrero y junio de 2014, marzo y octubre de 2015, febrero y mayo de 2016, abril y octubre de 2017, febrero y mayo 2018, junio 2022 y marzo 2023 en la desembocadura del río Actopan, localizada en la playa de Chachalacas, en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz. Ubicada en la zona centro del estado, aproximadamente a una distancia de la capital del estado de 76 km, en las coordenadas 19° 24' latitud norte y 96° 18' longitud oeste a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar (figura 1) (SECTUR, 2023).

La técnica de pesca que se utilizó fue mediante “calado”, utilizando una red de pesca con una luz de malla de 10 cm, una altura de 4 metros y una longitud de 250 metros. En cada uno de los muestreos se realizaron 4 lanzamientos de red en las zonas más representativas para la pesca local de la desembocadura del río Actopan, es decir la zona de costa (marina) y zona de desembocadura (agua salobre).

Una vez capturados los organismos, se mantuvieron en contenedores para su posterior identificación en el laboratorio. La clasificación de los or-



Figura 1. Localización de la zona de estudio (fuente Google Earth, 2023).

ganismos se llevó a cabo mediante el uso de claves taxonómicas a partir de sus principales características morfológicas (Angulo *et al.*, 2021).

Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula para calcular la abundancia relativa de las especies en el área de captura (Martín-García *et al.*, 2022):

$$AR = NT / TP *100$$

En donde, AR es la abundancia relativa de las especies (%); NT es el número total de especies en el área; y TP es la suma total de las poblaciones de todas las especies en el área.

Además, para calcular la abundancia relativa, se dividió el número total de organismos de todas las

especies en el área por la suma total de todas las poblaciones de especies en el área, multiplicado por 100.

Mientras que para calcular la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se aplicó la siguiente fórmula (Quirijns *et al.*, 2008):

$$CPUE = C / E*D$$

Donde, C es la captura en número de organismos; E es el esfuerzo en número de horas de captura por evento de muestreo; y D días de muestreo.

Resultados

En la tabla 1 se pueden observar las especies encontradas en los muestreos, únicamente el jurel blanco (*Caranx latus*), el róbalo (*Centropomus undecimalis*), la corvina ocelada (*Sciaenops ocellatus*) y la lisa (*Mugil liza*) han estado presentes a lo largo de todos los eventos de pesca. En donde la lisa se ha mantenido relativamente constante, contrastando con el jurel blanco que ha reducido su presencia en

la zona de una manera considerable. Contrastando con especies que han aumentado su presencia en los últimos años de muestreo como la sardina de escama fina (*Brevoortia guntieri*). En relación con el total de organismo encontrados (tabla 1), se puede observar una clara tendencia a disminuir conforme han pasado los años.

**Tabla 1.** Especies muestreadas.

Especie	Fecha de muestreo											
	feb/14	jun/14	mar/15	oct/15	feb/16	may/16	abr/17	oct/17	feb/18	may/18	jun/22	mar/23
Jurel blanco (<i>Caranx latus</i>)	50	104	42	10	31	14	12	9	10	3	7	4
Róbalo (<i>Centropomus undecimalis</i>)	5	12	6	13	22	3	12	6	5	2	8	2
Cuchumite (<i>Centropomus parallelus</i>)	0	3	0	4	0	0	2	6	0	0	0	1
Croca (<i>Leiostomus xanthurus</i>)	1	0	0	2	0	2	5	7	2	1	3	0
Jorobado de penacho (<i>Selene vomer</i>)	13	4	10	14	22	7	0	0	4	9	7	2
Mojarra blanca (<i>Gerres cinereus</i>)	7	11	15	4	7	11	5	5	9	3	0	0
Mojarra plateada (<i>Eucinostomus argenteus</i>)	22	15	12	25	20	13	8	16	7	25	0	5
Mojarra rayada (<i>Eugerres plumieri</i>)	4	16	9	0	3	0	14	12	7	8	5	5
Sardina lacha (<i>Brevoortia patronus</i>)	3	0	1	0	0	2	0	4	3	2	0	0
Sardina de escama fina (<i>Brevoortia guntieri</i>)	11	7	16	12	0	2	0	0	7	11	5	25
Sardinita Coli-roja (<i>Astyianax fasciatus</i>)	1	0	3	1	2	0	0	0	2	1	3	0
Pámpano amarillo (<i>Trachinotus carolinus</i>)	4	10	3	0	12	8	19	3	4	1	0	0
Pámpano (<i>Trachinotus</i> sp)	0	1	0	0	5	2	4	0	0	3	0	0
Ratón (<i>Polydactylus octonemus</i>)	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0
Ronco rayado (<i>Bairdiella ronchus</i>)	1	3	2	0	0	0	1	0	0	4	2	0
Palometa (<i>Peprilus paru</i>)	0	0	1	0	0	1	2	1	0	0	0	0
Pollito (<i>Bairdiella chrysoura</i>)	0	3	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0
Corvina ocelada (<i>Sciaenops ocellatus</i>)	4	2	7	8	3	2	5	2	1	5	2	0
Lisa (<i>Mugil liza</i>)	25	12	27	27	13	36	23	26	31	27	34	18
Total	151	203	155	120	143	106	114	98	92	105	76	62

Con respecto a la abundancia relativa de las especies (tabla 2), si consideramos los valores promedio de cada especie a lo largo de los años, la lisa presenta los valores promedio más altos (23.78 %), seguido por el jurel blanco (16.98 %) y la mojarra plateada (*Eucinostomus argenteus*) con un 11.63 %. Contrastando con especies como el ratón (*Polydactylus octonemus*), la palometa (*Peprilus paru*) y el pollito (*Bairdiella chrysoura*) cuya abundancia son las menores con valores cercanos al 1 % (0.26 %, 0.36 % y 1.56 % respectivamente).

En relación a la Captura por unidad de Esfuerzo (CPUE), tanto por especie (tabla 3) como en el promedio general anual (figura 2), se puede observar una clara tendencia a la baja conforme han pasado los años. En donde en los muestreos iniciales (jun/14) se pueden observar valores de 51 org/h, seguidos de una reducción constante conforme han pasado los años, encontrándose valores en los últimos muestreos (mar/23) de 16 org/h.



Tabla 2. Abundancia relativa.

Especie	Abundancia relativa												
	feb/14	jun/14	mar/15	oct/15	feb/16	may/16	abr/17	oct/17	feb/18	may/18	jun/22	mar/23	%Prom
Jurel blanco (<i>Carax latus</i>)	33.11	51.23	27.10	8.33	21.68	13.21	10.53	9.18	10.87	2.86	9.21	6.45	16.98
Róbalo (<i>Centropomus undecimalis</i>)	3.31	5.91	3.87	10.83	15.38	2.83	10.53	6.12	5.43	1.90	10.53	3.23	6.66
Cuchumite (<i>Centropomus parallelus</i>)	0.00	1.48	0.00	3.33	0.00	0.00	1.75	6.12	0.00	0.00	0.00	1.61	1.19
Croca (<i>Leiostomus xanthurus</i>)	0.66	0.00	0.00	1.67	0.00	1.89	4.39	7.14	2.17	0.95	3.95	0.00	1.90
Jorobado de penacho (<i>Selene vomer</i>)	8.61	1.97	6.45	11.67	15.38	6.60	0.00	0.00	4.35	8.57	9.21	3.23	6.34
Mojarra blanca (<i>Gerres cinereus</i>)	4.64	5.42	9.68	3.33	4.90	10.38	4.39	5.10	9.78	2.86	0.00	0.00	5.04
Mojarra plateada (<i>Eucinostomus argenteus</i>)	14.57	7.39	7.74	20.83	13.99	12.26	7.02	16.33	7.61	23.81	0.00	8.06	11.63
Mojarra rayada (<i>Eugerres plumieri</i>)	2.65	7.88	5.81	0.00	2.10	0.00	12.28	12.24	7.61	7.62	6.58	8.06	6.07
Sardina lacha (<i>Brevoortia patronus</i>)	1.99	0.00	0.65	0.00	0.00	1.89	0.00	4.08	3.26	1.90	0.00	0.00	1.15
Sardina de escama fina (<i>Brevoortia guntieri</i>)	7.28	3.45	10.32	10.00	0.00	1.89	0.00	0.00	7.61	10.48	6.58	40.32	8.16
Sardinita Coli-roja (<i>Astyanax fasciatus</i>)	0.66	0.00	1.94	0.83	1.40	0.00	0.00	0.00	2.17	0.95	3.95	0.00	0.99
Pámpano amarillo (<i>Trachinotus carolinus</i>)	2.65	4.93	1.94	0.00	8.39	7.55	16.67	3.06	4.35	0.95	0.00	0.00	4.21
Pámpano (<i>Trachinotus</i> sp)	0.00	0.49	0.00	0.00	3.50	1.89	3.51	0.00	0.00	2.86	0.00	0.00	1.02
Ratón (<i>Polydactylus octonemus</i>)	0.00	0.00	0.65	0.00	1.40	0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
Ronco rayado (<i>Bairdiella ronchus</i>)	0.66	1.48	1.29	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	3.81	2.63	0.00	0.90
Palometa (<i>Peprilus paru</i>)	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.94	1.75	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
Pollito (<i>Bairdiella chrysoura</i>)	0.00	1.48	0.00	0.00	0.70	2.83	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
Corvina ocelada (<i>Sciaenops ocellatus</i>)	2.65	0.99	4.52	6.67	2.10	1.89	4.39	2.04	1.09	4.76	2.63	0.00	2.81
Lisa (<i>Mugil liza</i>)	16.56	5.91	17.42	22.50	9.09	33.96	20.18	26.53	33.70	25.71	44.74	29.03	23.78

**Tabla 3.** Capturas por unidad de esfuerzo – CPUEs.

Especie	CPUE											
	feb/14	jun/14	mar/15	oct/15	feb/16	may/16	abr/17	oct/17	feb/18	may/18	jun/22	mar/23
Jurel blanco (<i>Caranx latus</i>)	13	26	11	3	8	4	3	2	3	1	2	1
Róbalo (<i>Centropomus undecimalis</i>)	1	3	2	3	6	1	3	2	1	1	2	1
<i>Cuchumite</i> (<i>Centropomus parallelus</i>)	0	1	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0
Croca (<i>Leiostomus xanthurus</i>)	0	0	0	1	0	1	1	2	1	0	1	0
Jorobado de penacho (<i>Selene vomer</i>)	3	1	3	4	6	2	0	0	1	2	2	1
Mojarra blanca (<i>Gerres cinereus</i>)	2	3	4	1	2	3	1	1	2	1	0	0
Mojarra plateada (<i>Eucinostomus argenteus</i>)	6	4	3	6	5	3	2	4	2	6	0	1
Mojarra rayada (<i>Eugerres plumieri</i>)	1	4	2	0	1	0	4	3	2	2	1	1
Sardina lacha (<i>Brevoortia patronus</i>)	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
Sardina de escama fina (<i>Brevoortia guntieri</i>)	3	2	4	3	0	1	0	0	2	3	1	6
Sardinita Coli-roja (<i>Astyianax fasciatus</i>)	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
Pámpano amarillo (<i>Trachinotus carolinus</i>)	1	3	1	0	3	2	5	1	1	0	0	0
Pámpano (<i>Trachinotus</i> sp)	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0
Ratón (<i>Polydactylus octonemus</i>)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ronco rayado (<i>Bairdiella ronchus</i>)	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Palometa (<i>Pepilus paru</i>)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Pollito (<i>Bairdiella chrysoura</i>)	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Corvina ocelada (<i>Sciaenops ocellatus</i>)	1	1	2	2	1	1	1	1	0	1	1	0
Lisa (<i>Mugil liza</i>)	6	3	7	7	3	9	6	7	8	7	9	5

Discusion

La pesca en el estado de Veracruz, es una de las actividades económicas más distintivas y tradicionales de la zona costera (Aldana-Aranda *et al.*, 2013). La actividad pesquera, además de representar una fuente importante de ingresos para muchas familias, también abona a la seguridad alimentaria de muchas regiones de nuestro país. Sin embargo, los ecosistemas dulceacuícolas y estuarinos de la zona costera, son los ecosistemas más impactados al ser los primeros en recibir los efectos de la influencia humana, interfiriendo en los ciclos reproductivos o de desove (SIAP, 2018), provocando que sean los más amenazados en cuanto a su ictiofauna (Gán-

dara *et al.*, 2012). Lo anterior se ve reflejado en los resultados de este estudio donde se pudo establecer que la pesca en el río Actopan, Chachalacas, Veracruz durante el periodo de estudio, ha sido sustentada por 19 especies de peces, donde las más representativas por su frecuencia de captura son el jurel blanco (*C. latus*), róbalo (*C. undecimalis*), la mojarra plateada (*E. argenteus*), la corvina ocelada (*S. ocellatus*) y la lisa (*M. liza*). Cabe mencionar que, si bien son escasos los estudios de la ictiofauna estuarina para el área de estudio, peces como el jorobado de penacho (*Selene vomer*) y la mojarra rayada (*Eugerres plumieri*) ya habían sido reportados

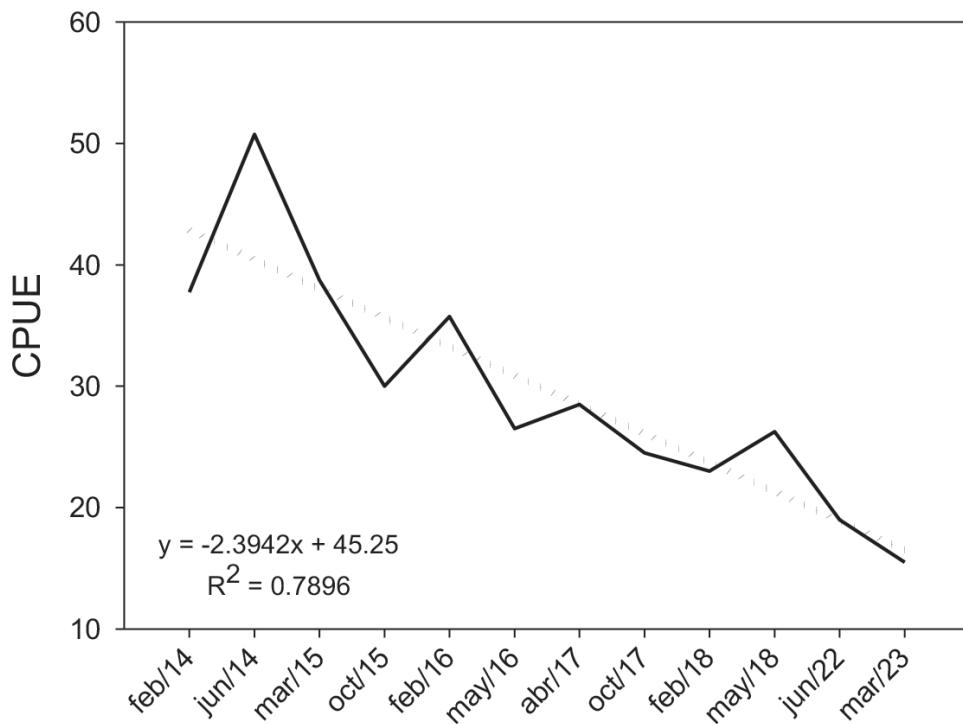


Figura 2. Captura por unidad de esfuerzo.

como parte de la pesquería estuarina de Veracruz. Sin embargo, no se han podido encontrar ejemplares previamente reportados como el bagre de boca chica (*Ariopsis felis*), el sargo chopo (*Archosargus probatocephalus*) (Juárez-Eusebio et al, 2006; López y Ramírez, 2020).

Las variaciones observadas en cuanto el número de organismos capturados por especie a lo largo de los años de estudio, puede deberse a que las comunidades biológicas de peces varían temporal y espacialmente como resultado de las diferencias en la estructura del hábitat, el tamaño o elevación del río y la disponibilidad de recursos, tal como lo señalan Ayala-Pérez et al. (2012). Sin embargo, estos patrones se ven alterados o destruidos por la influencia humana, con repercusiones negativas en la biodiversidad nativa. La Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SEDARPA) del estado, en el 2023 emitió un reporte donde confirma que el río Actopan se encuentra contaminado con sosa cáustica y vinaza, como derivados de la producción

de la caña de azúcar que son vertidos al cuerpo natural, lo que hace que en distintos períodos del año sea tan elevada la contaminación que propicia mortandad masiva de los peces como lo han reportado los pescadores (Gómez, 2023), lo anterior reafirma los datos obtenidos en este estudio con relación al número de individuos colectados por especie, en donde se puede observar una clara disminución en los últimos años, como es el caso del jurel blanco que en junio de 2014 se colectaron 104 mientras que para marzo del 2023 únicamente se colectaron cuatro ejemplares.

Los datos de captura y esfuerzo de las pesquerías comerciales pueden ser una importante fuente de información sobre las tendencias en la biomasa de las poblaciones silvestres. Se utilizan series temporales de tasa de CPUE, para calibrar las evaluaciones de poblaciones que respaldan la ordenación basada en la ciencia (Biseau, 1998; Maunder y Punt, 2004). Además, los datos de CPUE contribuyen a un terreno común en las discusiones entre pesca-



dores, administradores de pesquerías y científicos pesqueros sobre el estado de la población (Quirijns, *et al.*, 2008). Por lo tanto, a partir de los datos obtenidos por CPUE tanto por especie como en el promedio general anual, se puede observar una clara disminución en los últimos años. En donde en los muestreos iniciales (jun/14) se pueden observar valores de hasta 51 org/h mientras que para los últimos muestreos (mar/23) una CPUE de tan solo 16 org/h. Por lo que, a partir de los datos obtenidos se puede observar una clara sobre explotación al recurso pesquero de la zona. Lo que además se refleja en que la actividad pesquera es poco redituable económicamente, y es escasa como fuente de ali-

mentación para las propias familias de pescadores.

Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que se necesitan medidas urgentes para poder tener un manejo sustentable del recurso pesquero en la zona de Chachalacas. En consecuencia, se tienen varios retos que atender como el lograr recuperar las pesquerías sobreexplotadas, limitar la contaminación de los cuerpos naturales asociados a la costa, mejorar la calidad de vida de los pescadores, apoyo de la comunidad científica para el estudio de zonas poco exploradas, todo con el fin de lograr una pesca sustentable como lo señalan Lluch-Cota *et al.* (2006).

Referencias

- Aldana-Aranda, D., Enríquez-Díaz, M., Elías, V. (2013). Manejo de los recursos pesqueros de la cuenca del Golfo de México y del mar Caribe. Universidad Veracruzana, México
- Angulo, A., Ramírez-Coghi, A., López, M. (2021). Claves para la identificación de los peces de las aguas continentales e insulares de Costa Rica. Parte I: Familias. *UNED Research Journal*, 13: e3145. <http://doi.org/10.22458/rurj.v13i1.3145>
- Ayala-Pérez, L.A., Terán-González, G.J., Flores-Hernández, D., Ramos-Miranda, J., Sosa-López, A. (2012). Variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(1): 63-78. DOI: 10.3856/vol40-issue1-fulltext-7
- Biseau, A. (1998). Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments. *Aquat. Living Resour.* 11: 119–136.
- Benítez-Badillo, G., Hernández-Huerta, A., Equihua-Zamora, M., Pulido-Salas, M.T.P., Ibáñez-Bernal, S., Miranda-Martín, L. (2010). Biodiversidad. In Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Vol. 1. Patrimonio Natural, G. Benítez-Badillo y C. Welsh-Rodríguez (coords.). Gobierno del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz para la Commemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Universidad Veracruzana México, D. F. p. 171-202.
- Gándara, C.G., de la Cruz, F.V., Pérez, J.D.J.S., Barradas, C.D. (2012). Lista de los peces de Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3): 675-689.
- Gómez, E. (2023, junio 6). Mortandad de peces en río de Veracruz. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2023/06/06/politica/mortandad-de-peces-en-rio-de-veracruz/>
- Instituto Nacional de Pesca, INAPESCA. La Pesca Ribereña de Escama Marina en el Litoral Veracruzano (2017). <https://www.gob.mx/inapesca/es/articulos/la-pesca-ribereña-de-escama-marina-en-el-litoral-veracruzano?idiom=es>
- Juárez-Eusebio, A., Rojas-Galaviz, J.L., Mora-Pérez, C., Mora-Pérez, C., Zárate Lomelí, D., 2006. Los Peces. Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología, AC Xalapa, México, 327-340.
- López, R.C., Ramírez, A.R. (2020). Composición de la comunidad de peces en el estuario ciego laguna El Llano, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(1): 13.
- Lluch-Cota, D.B., Hernández Vázquez, S., Balart Páez, E.F., Beltrán Morales, L.F., Del Monte Luna, P., González Becerril, A., Lluch Cota, S.E., Navarrete del Proó, A.F., Ponce Díaz, G., Salinas Zavala, C.A., López Martínez J., Ortega García S. (2006), Desarrollo sustentable de la pesca en México: Orientaciones estratégicas, México, Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste/Senado de la República
- Martín-García, S., Rodriguez-Recio, M., Peragón, I., Bueno, I., Virgós, E. (2022). Comparing relative abundance models from different indices, a study case on the red fox. *Ecological Indicators*, 137: 108778.
- Maunder, M.N., Punt, A.E. (2004). Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. Res.*, 70: 141–159.
- Ortiz-Lozano, L Arceo-Briseño A. Ganados-Barba, D., Salas-Monreal, I., Jiménez-Badillo, M.L. (2010). Zona Costera. Universidad Autónoma de Veracruz. 1-26pp.
- Portillo-Peralta, J.I., Marín-Muñiz, J.L., Celis-Pérez, M.C., Zamora-Castro, S.A. (2022). Diagnóstico sobre el funcionamiento y la apropiación social de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en



- pastorías, Actopan, Veracruz, México *Journal of Basic Sciences*, 8 (23): 162-169.
- Quirijns, F.J., Poos, J., Rijnsdorp, A.D. (2008). Standardizing commercial CPUE data in monitoring stock dynamics: accounting for targeting behaviour in mixed fisheries. *Fisheries Research*, 89(1): 1-8.
- Reyna-González, P.C., Romero-Hernández, E., Lorenzo-Rosas, J.A. (2019). Comportamiento espacial de la pesca artesanal en el litoral de Veracruz, México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 54(2): 180-193. Epub 19 de agosto de 2019. <https://dx.doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.2.1889>
- Romero-Hernández, E., Díaz-Álvarez, A., Álvarez-López, B., Brahm, C., Pantoja-Yépez, G., Estrada, P., Becerril-Eslava, Y. (2014). Descripción actual de la pesca ribereña en el Estado de Veracruz. VII Foro Científico de Pesca Ribereña. SAGARPA, 151-152.
- Secretaría de Turismo de México, SECTUR. (2023). Úrsulo Galván. Veracruz. <https://veracruz.mx/destino.php?Municipio=191>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. (2023). Biodiversidad. Compendio Estadísticas Ambientales 2008. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14_04_biodiversidad/4_1.html
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2018). La freza: ¿Conoces su significado? gob.mx. <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-freza-conoces-su-significado?idiom=es>

Navarro-Flores, J., May-Tec, A.L.. 2023. Particularidades en el conocimiento de la biología del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus* del golfo de México. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 5(1): 51-50. doi 10.26359/52462.0423



Particularidades en el conocimiento de la biología del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus* del golfo de México

Particularities in the knowledge of the biology of the genus *Sphoeroides* and *Lagocephalus* from the Gulf of Mexico

Jaime Navarro-Flores y Ana Luisa May-Tec*

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche

* autor de correspondencia: jnavarro@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0423

Recibido 27/junio/2023. Aceptado 20/octubre/2023

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

El orden Tetraodontiforme alberga a los peces globo, conocidos científicamente bajo los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, que se encuentran entre las criaturas marinas más fascinantes y enigmáticas. Habitán las aguas marinas, estuarinas e incluso los cuerpos de agua dulce de las regiones tropicales. Actualmente este orden está representado por 105 géneros y 435 especies. Los peces globo tienen la fascinante habilidad de aumentar de tamaño su cuerpo mediante la ingesta de agua o aire, con la finalidad de evitar ser depredados. Los peces globo tienen un ciclo de reproducción anual con picos de desoves durante los meses más cálidos, considerando la temperatura y salinidad como condición óptima. El género *Sphoeroides* y *Lagocephalus* son considerados omnívoros con preferencia por una dieta carnívora. Lo que los convierte en peces ricos en proteínas de alta calidad, ácidos grasos $\Omega 3$. Además de contener minerales y vitaminas esenciales. Sin embargo, estos peces presentan neurotoxinas; como la tetrodotoxina (TTX) que a menudo es mortal para el humano cuando la consume. Pero, estas toxinas tienen potencial farmacéutico, debido a la capacidad de bloqueo de los canales de sodio se usa para tratar el dolor en pacientes con cáncer terminal o como analgésico e incluso para controlar las adicciones por opioides. En contraste, la acuacultura para estas especies, particularmente para *Lagocephalus laevigatus* se presenta como una gran oportunidad, ya que el cultivo de estas especies bajo condiciones controladas se puede evitar toxicidad que presenta en su intestino, lo que lo podría hacer más atractivo para el consumo humano, además se contribuye a la conservación de la especie y a la seguridad alimentaria en la demanda de proteína.

Palabras clave: peces globo, Tetraodontiforme, Tetrodotoxina, Tetraodontidae

Abstract

The order Tetraodontiforme has the puffer fish, known scientifically under the genera *Sphoeroides* and *Lagocephalus*, they are among the most fascinating and enigmatic marine creatures. They inhabit marine, estuarine, and even freshwater bodies of tropical regions. Currently this order is represented by 105 genera and 435 species. Pufferfish have the fascinating ability to increase their body size by ingesting water or air, to avoid being preyed on. Pufferfish have an annual reproductive cycle with spawning peaks during the warmer months, considering temperature and salinity as optimal conditions. The genus *Sphoeroides* and *Lagocephalus* are considered omnivorous with a preference for a carnivorous diet. What makes them fish rich in high quality protein, fatty acids $\Omega 3$. In addition to containing essential minerals and vitamins. However, these fishes have neurotoxin, such as tetrodotoxin (TTX) which is often fatal to humans when consumed. But these toxins have pharmaceutical potential, due to their ability to block sodium channels, they are used to treat pain in patients with terminal cancer or as an analgesic and even to control opioid addictions. In contrast, aquaculture for these species, particularly for *Lagocephalus laevigatus*, is presented as a great opportunity, since the cultivation of these species under controlled conditions can avoid toxicity that it presents in its intestine, which could make it more attractive for consumption human, it also contributes to the conservation of the species and food security in the demand for protein.

Keywords: Puffer fish, Tetraodontiform, Tetrodotoxin, Tetraodontidae



Introducción

La diversidad marina está representada por miles de especies a nivel global y a medida que se realizan estudios son sorprendentes los hallazgos. Esta gran diversidad actualmente es representada por 35 300 especies registradas de teleósteos (Teleostei) (Froese y Pauly, 2023a) que representan aproximadamente el 50% de todas las especies de vertebrados. Dentro del grupo de los teleósteos, el orden Tetraodontiforme es el hogar de los peces globo, científicamente conocidos bajo los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, que son ampliamente reconocidos como algunas de las criaturas marinas más fascinantes, en gran parte debido a su asombrosa habilidad para inflar sus cuerpos. Los peces globo (Familia Tetraodontidae), es representada por 28 géneros con un total de 193 especies, las cuales comúnmente son llamados, botetes, pufferfish, ballonfish, bubblefish, pez sapo y pichón de mar (Fricke *et al.*, 2022). Se distribuyen en los océanos Pacífico, Índico y Atlántico incluido el golfo de México y mar Caribe, en las aguas costeras de las regiones tropicales y marces cálidos, incluidos los arrecifes de coral o las praderas marinas. Aunque la mayoría de los peces globo marinos se encuentran en las regiones costeras, algunos son oceánicos (por ejemplo, *Lagocephalus lagocephalus*) (Del Moral-Flores y Huidobro-Campos, 2023; Santhanam, 2018).

A lo largo de la literatura científica, estos fascinantes organismos se han estudiado desde diversas perspectivas, dando lugar a la generación de conocimiento que engloba estudios de biología y aspectos reproductivos en las especies: *Lagocephalus laevigatus*, *L. sceleratus*, *Sphoeroides greeleyi*, *S. maculatus*, *S. nephelus* y *S. testudineus* (Aydin, 2011; Denadai *et al.*, 2012; Laroche y Davis, 1973; Peniche-Pérez *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2002; Schultz *et al.*, 2002), estudios sobre su ecología en *S. testudineus* (Thiem *et al.*, 2013), han evaluado el cultivo en sistemas semi-cerrado con *S. maculatus* (Merriner y Laroche, 1977; Valenti, 1975), investigaciones con relación a la edad, crecimiento y relaciones longitud-peso en *S. maculatus*, *S. testu-*

dineus y *S. nephelus* (Laroche y Davis, 1973; Pauly, 1991; Poot-López *et al.*, 2017; Tzeek-Tuz, 2013). Además, se ha investigado la asociación trófica, la influencia ambiental, la distribución temporal y el desarrollo de la pesquería en *S. annulatus*, *S. greeleyi*, *S. testudineus* (Fávaro *et al.*, 2009; Guevara *et al.*, 2007; Ojeda-Ruiz *et al.*, 2016). Sin embargo, la gran mayoría de investigaciones sobre los peces globos se centra en su toxicidad; ya que, son considerados peces venenosos, esto por la tetrodotoxina que almacenan en su cuerpo, capaz de causar muertes en personas; las especies que han sido objeto de estos estudios son: *L. lagocephalus*, *L. laevigatus*, *S. dorsalis*, *S. greeleyi*, *S. maculatus*, *S. nephelus*, *S. spengleri* y *S. testudineus* (Burkew y Morton, 1971; Chen *et al.*, 2002; Etheridge *et al.*, 2006; Sabrah *et al.*, 2006; Giusti *et al.*, 2019; Kosker *et al.*, 2019; Landsberg *et al.*, 2006; Nagashima *et al.*, 2012; Núñez-Vázquez *et al.*, 2013; Núñez-Vázquez *et al.*, 2000; Pinto *et al.*, 2019; Saoudi *et al.*, 2008; Thuy *et al.*, 2020).

Por esta razón el objetivo del presente trabajo es la recopilación del conocimiento actual de estas criaturas marinas (*Sphoeroides* y *Lagocephalus*), con presencia en el golfo de México, subrayando su importancia ecológica, económica y médica. En primer lugar, se abordará la biología de los peces globo del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, ilustrando su taxonomía, morfología y comportamiento. A continuación, la anatomía de estos peces será proporcionada con una visión detallada de su fisiología externa. También se examinarán las peculiaridades de la reproducción de estas especies, incluyendo sus ciclos de vida y estrategias reproductivas. Posteriormente, se explorará la relación longitud-peso, que tiene implicaciones significativas para la evaluación del crecimiento y la salud de sus poblaciones. Además, se aborda su ecología y asociación trófica, relacionadas con la interacción con otras especies y su papel en la cadena alimentaria. Desde una perspectiva más antropocéntrica, también se aborda el valor nutricional de los peces globo, enfocándose



en su papel como fuente de alimento para los humanos y en las consideraciones dietéticas que se derivan de su consumo, a pesar de su reputación de

ser venenosos. Se expondrán las toxinas que poseen estos peces y su potencial valor farmacéutico para el desarrollo de medicamentos.

Biología

Taxonomía: Tetraodontidae

Los peces globo presentan una notable diversidad en tamaños, formas y en su forma de vida (Matsumura, 2015). Actualmente el orden Tetraodontiforme Bonaparte, 1831 está conformado por diez familias: Aracanidae Hollard, 1860, Balistidae Rafinesque, 1810, Diodontidae Bonaparte, 1835, Molidae Bonaparte, 1835, Monacanthidae Nardo, 1843, Ostraciidae Rafinesque, 1810, Tetraodontidae Bonaparte, 1831, Triacanthidae Bleeker, 1859, Triacanthodidae Gill, 1862 y Triodontidae Bleeker, 1859, con un total de 105 géneros y 435 especies (Fricke *et al.*, 2022; Froese y Pauly, 2023b).

La familia Tetraodontidae, que abarca un total de 28 géneros y 193 especies distintas, constituye el

44.4 % de todas las especies en el orden Tetraodontiforme. Entre los géneros con presencia en México, *Sphoeroides* y *Lagocephalus* destacan por su relevancia debido a la alta demanda que generan. Cada uno de estos géneros cuenta con especies que habitan tanto en el Océano Pacífico como en el golfo de México (véase la tabla 1).

Anatomía de los peces globo

Los peces pertenecientes al orden Tetraodontiforme al igual que la familia Tetraodontidae se consideran un grupo monofilético, respaldado por pruebas de morfología y otros rasgos observados tanto en sus etapas larvarias como en los adultos (Acero y Polanco, 2006). Reconocidos como la cúspide de

Tabla 1. Especies del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, de la familia Tetraodontidae con presencia en territorio mexicano.

Orden	Familia	Género	Especies	Distribución
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Sphoeroides</i>	<i>annulatus</i>	P
			<i>dorsalis</i>	GM
			<i>greeleyi</i>	GM
			<i>lispus</i>	P
			<i>lobatus</i>	P
			<i>nephelus</i>	GM
			<i>pachygaster</i>	CG
			<i>parvus</i>	GM
			<i>rosenblantti</i>	P
			<i>sechurae</i>	P
			<i>spengleri</i>	GM
			<i>testudineus</i>	GM
		<i>Lagocephalus</i>	<i>trichocephalus</i>	P
			<i>laevigatus</i>	GM
			<i>lagocephalus</i>	CG

P= Océano Pacífico, GM= golfo de México, CG= Circumglobal (Océano Pacífico y Atlántico (golfo de México).



la evolución dentro de los teleósteos, estos peces se caracterizan por la ausencia de estructuras como los huesos parietales, nasales e infraorbitales, y la posible presencia del posttemporal, que, en caso de existir, se encuentra firmemente fusionado al hio-mandibular y los palatinos unidos al cráneo, sus aberturas branquiales carecen de opérculos, sin presencia de aletas pélvicas. Además, su maxila generalmente se encuentra unida o fusionada a la premaxila, y sus escamas suelen adoptar formas modificadas, como espinas, escudos o láminas, se les llama tetraodontidos por que tienen cuatro dientes, dos arriba y dos abajo, utilizan a los caracoles como afilador de sus dientes esto mediante el frotamiento de sus dientes contra la concha del caracol (Del Moral-Flores y Huidobro-Campos, 2023; Mallard-Colmenero *et al.*, 1981; Nelson, 2006; Nelson *et al.*, 2016; Santhanam, 2018).

Los miembros de esta familia tienen la capacidad de aumentar su tamaño corporal al ingerir aire o agua como una estrategia defensiva y antidepredatoria, o incluso para intimidar a sus enemigos, como se ilustra en la figura 1 (Mallard-Colmenero *et al.*, 1981; Helfman *et al.*, 2009; Stump *et al.*, 2018). No obstante, cuando el pez se siente seguro, expulsa el aire o agua y vuelve a su apariencia original.

Las especies de estos géneros presentan un cuerpo plateado o pigmentado, dorso oscuro y a menudo con patrones de reticulaciones o manchas vermiculadas claras. Ocasionalmente en los costados presentan puntos negros redondeados, tienen un vientre pálido de color amarillo a blanco, aletas pálidas. La mayoría de los peces globo son demersal, algunas especies son pelágicas. Suelen ser solitarios, aunque algunas especies se juntan especialmente con fines de apareamiento (Mallard-Colmenero *et al.*, 1981; Santhanam, 2018).

Los peces globo al igual que otro grupo de peces teleósteos tienen sus depredadores, pero estos varían según su zona de distribución. Algunos son los peces lagartos del género *Synodus* spp. de la familia Synodontidae, camarón mantis (Stomatopoda), tiburones tigre (*Galeocerdo cuvier*), tiburón limón

(*Negaprion brevirostris*), serpientes marinas (Enhydrina spp.), bagres (*Arius* spp.), cobia (*Rachycentron canadum*), atún (*Katsuwonus pelamis*), pulpo (*Octopus vulgaris*), pez vela (*Istiophorus platypterus*) e inclusive diversas aves marinas son depredadoras de las diferentes especies de pez globo, sin considerar al mismo humano (Helfman *et al.*, 2009; Santhanam, 2018; Ulman *et al.*, 2021).

Reproducción

La información disponible sobre los aspectos reproductivos en los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, de las siguientes especies *S. dorsalis*, *S. greeleyi*, *S. nephelus*, *S. parvus*, *S. spengleri*, *S. testudineus*, y *L. laevigatus*, con presencia en el golfo de México es nula, solo se dispone de información sobre *S. nephelus* en la región de la península de Yucatán. De acuerdo con los resultados obtenidos por Peniche-Pérez *et al.* (2019), esta especie mantiene una proporción sexual 1:1 durante todo un ciclo anual. Su periodo reproductivo abarca los meses de agosto a mayo, presentando los picos de desove de febrero y marzo (antes del periodo de secas) y con un periodo de inactividad reproductiva en junio y julio (previo al inicio de la estación de lluvias). La talla de primera madurez sexual en hembras para esta especie es de 14.93 cm de longitud total.

Existe información sobre las especies anteriormente mencionadas, pero para una región diferente, al del golfo de México. En Paraná, Brasil, *S. testudineus* se reproduce de septiembre a enero; esta especie es considerada desovadora por lotes. El mismo periodo reproductivo aplica para *S. greeleyi* (Rocha *et al.*, 2002; Schultz *et al.*, 2002).

En Caraguatatuba, Brasil se tiene registrada información de reproducción sobre la especie *Lagocephalus laevigatus*, sin embargo, en dicha zona estuarina solo capturaron ejemplares juveniles con un rango de tallas de 4.8 a 15.4 cm de longitud total; por lo que se deduce que a dicha zona la utilizan como área de refugio de depredadores; pero se estima que su periodo de reproducción abarca el periodo de agosto a noviembre (Denadai *et al.*, 2012).

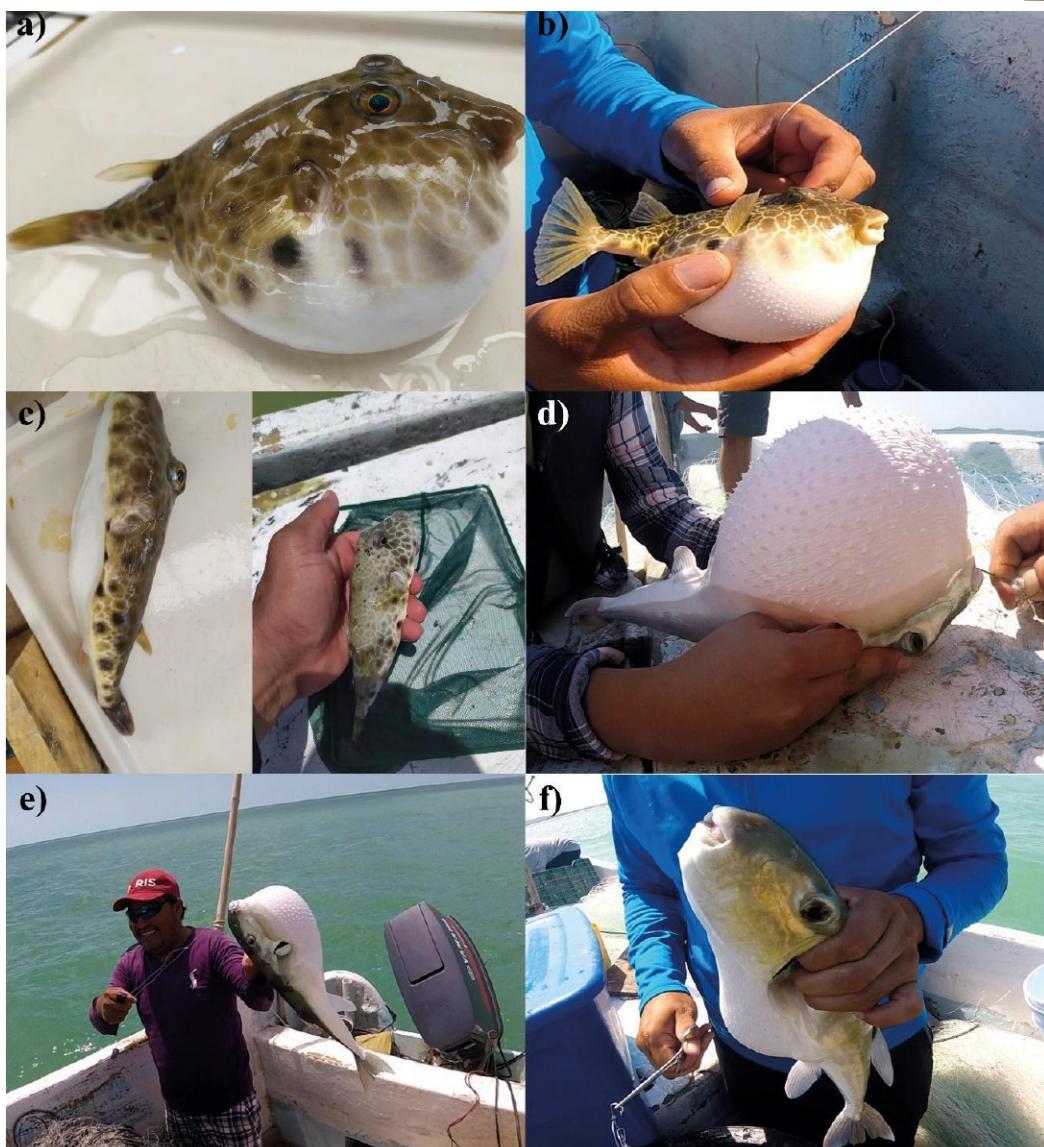


Figura 1. Apariencia del pez globo del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*: a y b) *Sphoeroides testudinatus* con distensión abdominal por ingestión de aire o agua. c) *S. testudinatus* sin distensión abdominal. d) Ejemplar *Lagocephalus laevigatus*, al momento de salir del agua presenta distensión abdominal, resaltando las espínulas de en su abdomen. e) Apreciación del tamaño real de un ejemplar de *L. laevigatus*. f) Apariencia del ejemplar *L. laevigatus* sin distensión abdominal.

Los peces de la familia Tetraodontidae presentan un par de góndolas con forma simétrica, su color va cambiando de acuerdo con el estadio de maduración gonadal en el que se encuentren. Las góndolas de las hembras y machos se diferencian fácilmente, ya que las de los machos son de forma triangular y sin lumen, y la de las hembras su forma es redonda y con un lumen central. Con la nula

información disponible, se puede deducir, que la reproducción generalmente ocurre de primavera a verano, la eclosión tiene una duración aproximada de una semana (Mallard-Colmenero *et al.*, 1981). *Sphoeroides* y *Lagocephalus* al igual que otros peces globo, tienen un ciclo de reproducción anual. En el golfo de México, el pico de la temporada de reproducción ocurre durante los meses más cálidos, que



coinciden con las mayores abundancias de alimento y condiciones óptimas de temperatura y salinidad (Tzeek-Tuz, 2013).

Como estrategia de apareamiento, se sabe que la mayoría de los peces globo tienen un comportamiento de apareamiento complejo. A menudo, los machos atraen a las hembras a través de una exhibición ritual que puede incluir la inflación de su cuerpo, cambios de color, patrones de natación únicos y diseños arquitectónicos de los nidos; como lo hace el pez globo japonés (*Torquigener albomaculosus*) (Clement *et al.*, 2020; Kaiser, 2020). Los miembros de *Sphoeroides* y *Lagocephalus* son ovíparos y las hembras suelen desovar más de una

vez en un mismo evento reproductivo al año. La fecundidad varía entre las especies y se correlaciona con el tamaño del cuerpo de la hembra. En *Lagocephalus* los huevos son pelágicos, lo que favorece la dispersión y colonización de nuevos hábitats. Sin embargo, *S. annulatus* los huevos son bentónicos, después de la fertilización (activación) de sus huevos estos presentan una capa adherente translúcida, lo que permite la adherencia a sustratos específicos y evitar que las corrientes los lleven a sitios no deseados durante su desarrollo embrionario (Fujita y Honma, 1991; Rodríguez-Ibarra *et al.*, 2010; Martínez-Brown *et al.*, 2019).

Relación longitud-peso

La información disponible sobre las diferentes especies de peces globo se concentra en la tabla 2. La especie *L. Lagocephalus* no cuenta con información reportada en relación con la longitud-peso. Los va-

lores de *b* cerca de 3 presentes en la tabla 2, generalmente indican que se trata de un pez de forma esférica (Amador-del Ángel *et al.*, 2015; Froese, 2006).

Ecología y asociación trófica

Los peces globo del género *Sphoeroides* son conocidos por habitar áreas costeras poco profundas, estuarios y manglares, generalmente se localizan a profundidades que van desde los 0 hasta 48 m, y se le asocia con fondos blandos y con vegetación como *Thalassia testudinum* en la zona del Atlántico (Froese y Pauly, 2022). Son generalmente bentónicos, lo que significa que pasan la mayor parte de su tiempo cerca del lecho marino (Peniche-Pérez *et al.*, 2019). *Lagocephalus* a diferencia de sus congéneres, tienden a ser más oceánicos y pelágicos, se le captura a profundidades de hasta 180 m, pero tiende a estar cercano a la costa sobre fondos de lodo o arena. Es una especie que forma pequeñas agrupaciones. En cambio, *L. Lagocephalus* habita a profundidades de hasta 476 m; capturándolos usualmente a 100 m de profundidad (Froese y Pauly, 2022; Del Moral-Flores y Huidobro-Campos, 2023).

En términos de su asociación trófica, los peces globo son generalmente omnívoros con una preferencia por una dieta carnívora (Colmenero *et al.*, 1982; Chi-Espinola y Vega-Cendejas, 2013; Vasconcelos-Filho *et al.*, 1998; Denadai *et al.*, 2012). Tienen una amplia gama de dietas debido a su distribución global en una variedad de hábitats, pero tienden a alimentarse principalmente de invertebrados bentónicos (cangrejos, camarones, almejas, mejillones, caracoles y gusanos poliquetos) esto porque tienen fuertes mandíbulas poderosas que les permiten romper las conchas duras de estos invertebrados. También se alimentan de pequeños peces, generalmente los que son lo suficientemente pequeños como para ser tragados enteros. Ocionalmente se han observado a peces globo consumiendo algas y otras formas de vegetación marina, aunque esto parece ser menos común (Jong, 2016). Como



Tabla 2. Datos disponibles de la relación longitud-peso de las especies del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, con presencia en el golfo de México.

Especie	Longitud (cm)			Peso (g)			a	b	valor r^2	Crecimiento	Ubicación	Autor
	n	Min	Max	Min	Max							
<i>S. testudineus</i>	-	-	-	-	-	0.082	2.87	-	A-	Florida, USA	Pauly, 1991	
<i>S. pachygaster</i>	379	9.5	45.5	26.4	1974	0.242	0.97	0.996	A-	Mar Mediterráneo	Ragonese <i>et al.</i> , 1997	
<i>S. testudineus</i>	474	1.8	28	6.12	344	0.099	2.68	0.952	A-	Yucatán, México	Vega-Cendeja <i>et al.</i> , 2011	
<i>S. spengleri</i>	99	4	11	4.68	35.43	0.208	2.12	0.887	A-			
<i>S. testudineus</i>	461	4.09	26.5	1.7	430	0.059	2.96	0.976	A-	Yucatán, México	Tzeek-Tuz <i>et al.</i> , 2012	
<i>L. laevigatus</i>	118	3.4	16.8	1.08	72.91	0.027	2.82	0.978	A-	Brasil	Díaz <i>et al.</i> , 2014	
<i>L. laevigatus</i>	376	24.3	62.8	198.5	3061.7	0.039	2.73	0.922	A-	Venezuela	Tagliafico <i>et al.</i> , 2015	
<i>S. testudineus</i>	12	9	25.4	16.2	273.4	0.045	2.68	0.965	A-	Campeche, México	Amador-del Ángel <i>et al.</i> , 2015	
<i>S. nephelus</i>	20	7	26.5	6.4	281.6	0.035	2.74	0.975	A-			
<i>S. nephelus</i>	384	14	29.8	52	530	0.025	2.92	0.958	A-	Yucatán, México	Poot-López <i>et al.</i> , 2017	

Todas las diferentes especies del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, en sus diferentes zonas de muestreos y países presentan el tipo de crecimiento alométrico negativo (A-), lo que indica que primero aumentan su tamaño en longitud y posteriormente en volumen (peso), lo que concuerda con la forma ovalada o esférica de los peces globo.

dieta específica está varía de acuerdo con la especie y la ubicación, ya que algunos peces globo pueden tener una preferencia particular por ciertos tipos de

moluscos y crustáceos (Chi-Espínola y Vega-Cendejas, 2013).

Valor nutricional

El valor nutricional de estos peces puede variar significativamente dependiendo de la especie y su dieta. En general, son una fuente rica en proteínas de alta calidad, ácidos grasos omega-3 y también contienen una serie de minerales (calcio,

fósforo, magnesio, yodo, hierro y zinc) y vitaminas esenciales (A, B, C, D, E y K) (Halver y Hardy, 2002; Li *et al.*, 2014; Nurjanah *et al.*, 2015; Nurullahoglu y Ulusoy, 2013; Santa *et al.*, 2015).

Toxinas y su valor farmacéutico

Sin embargo, debido a la presencia de toxinas en algunos tejidos o órganos de estos peces, como el hígado y las gónadas, deben ser evitadas para el consumo humano o en su caso debe ser manejada con cuidado. Por ejemplo, los chefs que preparan

sashimi de “fugu” (*Takifugu rubripes*) en Japón deben estar especialmente formados y certificados debido al alto riesgo por envenenamiento (Sathanam, 2018).



Las toxinas presentes en los peces globo, incluyendo *Sphoeroides* y *Lagocephalus* los hace uno de los vertebrados más venenosos del mundo, debido a las sustancias potentes y a menudo mortales. La más conocida es la tetrodotoxina (TTX), una neuromodulina que bloquea los canales de sodio (Na) de las células nerviosas, inhibiendo la transmisión del impulso nervioso y, por ende, causando parálisis y posiblemente la muerte (Halstead, 2018; Katikou *et al.*, 2022; Pinto *et al.*, 2019; Santhanam, 2018).

Otros efectos por intoxicación pueden ser:

- Entumecimiento y hormigueo alrededor de la boca, que luego se puede extender al resto del cuerpo.
- A medida que avanza la intoxicación, puede ocurrir parálisis. Esto puede afectar el habla, la movilidad y eventualmente la respiración.
- También se pueden presentar trastornos gastrointestinales, como náuseas, vómitos y diarrea.
- En casos graves, la tetrodotoxina puede causar arritmias cardíacas, lo que puede resultar en paro cardíaco.

Algunas especies pueden contener suficiente toxina en su cuerpo para matar a varias docenas de personas, aunque esta varía dependiendo de la especie y de factores ambientales (Etheridge *et al.*, 2006). Es importante mencionar que la toxina de

estos peces no se produce por ellos mismos, sino que es producida por bacterias simbióticas (vía endógena) o que se acumulan exógenamente a través de su dieta (Biessy *et al.*, 2019).

A pesar de su peligro estas toxinas han demostrado tener un potencial farmacéutico significativo debido a sus propiedades únicas de bloqueo de los canales de sodio. Aunque la TTX es extremadamente tóxica y potencialmente letal, se está estudiando su uso en una variedad de aplicaciones médicas, incluyendo el tratamiento del dolor; se investiga como un posible analgésico para ciertas condiciones de dolor crónico como en pacientes con cáncer terminal y migrañas (Bucciarelli *et al.*, 2021; Santhanam, 2018). La TTX se ha utilizado como un anestésico local (Kohane *et al.*, 2003). Además, se puede usar para prevenir o retrasar los efectos graves de otras toxinas peligrosas, como la aconitina (Ono *et al.*, 2013). Igualmente, la TTX se ha sugerido que puede ser útil en el tratamiento de abstinencia de opiáceos o adiciones con las drogas (Shi *et al.*, 2009).

El potencial médico de la TTX es prometedor, pero el uso de esta toxina en la medicina es aún un área de investigación activa para el desarrollo de tratamientos médicos y farmacológicos innovadores, por el peligro que esta misma representa.

Acuacultura

La acuacultura, la crianza de peces y otros organismos acuáticos en condiciones controladas, se ha vuelto cada vez más importante en las últimas décadas como medio para satisfacer la demanda global de pescado (FAO, 2020). La acuacultura de peces globo, incluyendo los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, no es común en comparación con otros tipos de peces, debido a una serie de factores que incluyen la toxicidad de algunas especies y el tamaño del mercado es limitado. Sin embargo, en algunas regiones, especialmente en Asia, donde especies de peces globo son consideradas un man-

jar, se ha experimentado con su cultivo en especies del género *Fugu* (*Takifugu rubripes*), obteniéndose en sus tejidos poca o ninguna toxicidad, lo que los convierte en una actividad económica atractiva y de bajo riesgo en la comercialización de este producto para el consumo humano (Hamasaki *et al.*, 2017; Noguchi y Arakawa, 2008; Noguchi *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2016). Para más información sobre su cultivo en jaulas marinas y en sistemas de recirculación acuícola, puede consultar a Jia *et al.* (2018).



Actualmente se están desarrollando y perfeccionando métodos para el cultivo de peces globo. Las estrategias incluyen el uso de jaulas flotantes, estanques y sistemas de recirculación acuícola (SRA o RAS) (Wang *et al.*, 2016).

El crecimiento y la reproducción son aspectos fundamentales por considerar para el cultivo de peces globo. La comprensión de la biología reproductiva, los ciclos de vida y los requerimientos de alimentación de estas especies es esencial para su cultivo exitoso (Zanuy y Carrillo, 1993). Por otra parte, en México existen los registros de reproducción y cultivos del pez globo *Sphoeroides annulatus*, conocido localmente como botete diana, especie que se distribuye en el litoral del océano Pacífico, la cual cuenta con el desarrollo de la biotecnología para la producción masiva de juveniles, el control de su reproducción y cultivo larvario (Abdo *et al.*, 2013).

La acuacultura de peces globo presenta tanto desafíos como oportunidades. Existe demanda de peces globo en el mercado, especialmente internacional en diversas partes de Asia, sin embargo, la toxicidad de estos peces puede representar un riesgo para la salud si no se manejan y preparan adecuadamente. No obstante, con la garantía de cero toxicidad a través de su cultivo mediante la acuacultura, los peces globo podrían representar una oportunidad económica significativa a nivel local e internacional. Finalmente, la acuacultura de peces globo tiene implicaciones tanto para la conservación como para la seguridad alimentaria. Al aliviar la presión sobre las poblaciones silvestres, la acuacultura puede contribuir a la conservación de estas especies, además de contribuir con la seguridad alimentaria (Béné *et al.*, 2016).

Parasitos

Las infecciones parasitarias en los peces son de gran importancia y los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus* no son la excepción. Debido al interés en el cultivo de estos géneros, es importante considerar la presencia de los parásitos que albergan, los cuales pueden ser significativos para su cultivo. Fajer-Ávila *et al.* (2008) reportan altas mortalidades de *Sphoeroides annulatus* en cultivos del Pacífico Mexicano ocasionado por el ectoparásito *Pseudochondracanthus diceraus* (tabla 3).

De las especies de parásitos reportadas para *Sphoeroides*, podemos encontrar especies tanto de importancia económica (*Heterobothrium ecuadori*, *Heterobothrium lamothei*, *Pseudochondracanthus diceraus*, *Neobenedenia melleni* y *Neobenedenia* sp.) como de importancia zoonótica (*Huffmanela* sp.,) (Gallegos *et al.*, 1993) (tabla 3). Es importante resaltar la presencia del copépodo *Pseudochondracanthus diceraus* en distintas especies de *Sphoeroides* en el Pacífico y golfo de México. El comportamiento de este copépodo en ambas localidades sugiere una posible translocación de parásitos asociado a una distribución natural de los hospederos o como consecuencias de actividades antropogénicas “introducción de hospederos” (Goedknegt *et al.*, 2016).

Para el género *Lagocephalus* se conoce muy poco acerca de su parasitofauna. Sin embargo, se ha reportado que puede albergar especies de crustáceos parásitos, los cuales son de importancia en la acuicultura como *Argulus* sp. Por lo tanto, conocer la presencia y el comportamiento de estos parásitos puede ayudar a mitigar las posibles pérdidas económicas a causa de las enfermedades o en casos severos la mortalidad de peces debido a parasitosis en el cultivo de *Lagocephalus* y *Sphoeroides* spp.



Tabla 3. Especies de parásitos reportadas para los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus* en el Pacífico y golfo de México.

Hospedero	Grupo de parásito	Parásito	Distribución	Referencia
<i>Sphoeroides annulatus</i>	Monogeneos	<i>Heterobothrium ecuadori</i>		
		<i>Neobenedenia melleni</i>		
		<i>Neobenedenia</i> sp.		
		<i>Homalometron longisinosum</i>		
		<i>Bianium plicatum</i>		
	Digeneos	<i>Lintonium vibex</i>	P	Moravec y Fajer-Avila, 2000, Fajer-Ávila <i>et al.</i> , 2004; Fajer-Ávila <i>et al.</i> , 2008
		<i>Phyllodistomum mirandai</i>		
		<i>Trichodina</i> spp.		
	Nematodos	<i>Huffmanela mexicana</i>		
	Copépodos	<i>Lepeophtheirus simplex</i>		
		<i>Pseudochondracanthus diceratus</i>		
<i>Sphoeroides testudineus</i>	Monogeneos	<i>Heterobothrium lamothei</i>		
		<i>Apharyngostrigaea</i> sp.		
		<i>Stephanostomum</i> sp.		
		<i>Sclerodistomum spoeoroidis</i>		
		<i>Cryptogonimidae</i> gen. sp.		
	Digeneos	<i>Heterophyidae</i> gen. sp.		
		<i>Xystretrum solidum</i>		Vidal-Martínez y Mendoza-Franco, 2008; Pech <i>et al.</i> , 2009; Martínez-Aquino <i>et al.</i> , 2020
		<i>Spiroxys</i> sp.		
	Nematodos	<i>Pseudoterranova</i> sp.		
		<i>Cucullanidae</i> gen. sp	GM	
		<i>Hysterothylacium</i> sp.		
<i>S. nepheclus</i>	Acantocefalos	<i>Contracaecum</i> sp.		
		<i>Acanthocephala</i> gen. sp.		
		<i>Trypanorhyncha</i> gen. sp.		
	Cestodos			
<i>S. parvus</i>	Copépodos	<i>Pseudochondracanthus diceraus</i>		
<i>S. spengleri</i>				May-Tec <i>et al.</i> , 2022
<i>Lagocephalus laevigatus</i>	Copépodos	<i>Caligus haemulonis</i>		
		<i>Taeniacanthus lagocephali</i>		

P= Océano Pacífico, GM= golfo de México



Conclusiones y perspectivas

El estudio de la biología reproductiva de *Spherooides* y *Lagocephalus* en el golfo de México todavía presenta vacíos importantes para el entendimiento de estas especies. Sin embargo, el conocimiento que se tiene en la actualidad contribuye significativamente en la información general sobre estos peces. Promoviendo y creando la necesidad para el desarrollo de futuras líneas de investigaciones.

A pesar de la poca información que se tiene hasta el momento. Se considera que el género *Lagocephalus* presenta mayor oportunidad para el desarrollo de la acuacultura en el sureste del país, debido a que este género presenta un mayor tamaño en comparación con las especies del género *Spherooides* (figura 1) con presencia en el golfo de México. En primera instancia se considera a *Lagocephalus laevigatus* por ser una especie que se encuentra cercana a la costa y tener mayor presencia en el litoral, en contraste con *Lagocephalus lagocephalus* que es considerada una especie más oceánica, con capturas muy espo-

rádicas en la región del golfo de México. Además, estas dos especies son de mayor tamaño.

Sin duda la acuacultura de los peces globo de ambos géneros *Spherooides* y *Lagocephalus* es un campo prometedor, pero aún se necesitan investigaciones para superar los desafíos y maximizar el potencial de esta industria. Con el enfoque y la inversión adecuada, la acuacultura de peces globo puede convertirse en una parte valiosa de nuestra respuesta a la creciente demanda de pescado.

En conjunto, esta revisión proporciona una visión integral de la biología, ecología, dieta, valor nutricional, toxinas y su potencial farmacéutico de los peces del género *Lagocephalus* y *Spherooides* en el golfo de México. Se espera que este artículo fomente el interés y la investigación en estas especies, contribuyendo así al conocimiento científico y al desarrollo de posibles aplicaciones farmacéuticas y a su cultivo.

Referencias

- Abdo, De la P.M., Rodríguez-Ibarra, L.E., García-Aguilar, N., Velasco-Blanco, G., Ibarra-Castro, L., 2013. Biotechnology for the mass production of juvenile bullseye puffer fish *Spherooides annulatus*: Hormonal induction and larval rearing. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 48(3): 409–420. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572013000300001>
- Acero, A., Polanco, A., 2006. Peces del orden Tetraodontiformes de Colombia. *Biota colombiana*, 7(1): 155-164.
- Amador-del Ángel, L.E., Guevara-Carrión, E., Brito, R., Wakida-Kusunoki, A.T., 2015. Length-weight relationships of fish species associated with the mangrove forest in the southwestern Terminos Lagoon, Campeche (Mexico). *J. Appl. Ichthyol.* 31: 228–230. <https://doi.org/10.1111/jai.12490>
- Aydin, M., 2011. Growth, reproduction and diet of pufferfish (*Lagocephalus sceleratus* Gmelin, 1789) from Turkey's Mediterranean Sea coast. *Turk. J. Fish Aquat. Sci.* 11:589–596.
- Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E.H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Thilsted, S.H., Troell, M., Williams, M., 2016. Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Dev.* 79, 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>
- Bleeker, P., 1859. Negende bijdrage tot de kennis der vischfauna van Banka. *Natuurkundig Tijdschrift voor Nederlandsch Indië*, 18: 359–378. [26 May, ref. 16984].
- Biessy, L., Boundy, M.J., Smith, K.F., Harwood, D.T., Hawes, I., Wood, S.A., 2019. Tetrodotoxin in marine bivalves and edible gastropods: A mini-review. *Chemosphere*, 236, 124404. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124404>
- Bonaparte, C.L., 1831. Saggio di una distribuzione metodica degli animali vertebrati, (1831), Roma, 78 pp. Saggio d'unadist ribuzione . vertebrati a sangue freddo, (1832), Roma, 86 pp. also in *Giornale Arcadico di Scienze Lettere ed Arti*, 52 (1831), 155–189. Saggio di una distribuzione metodica deglianimali vertebrati (1832), 89–123. [pagination in all 4 works differs. We give those in 'Giornale Arcadico' 52, often cited but perhaps not earliest] [ref. 4978].
- Bonaparte, C.L., 1835. Prodromus systematis ichthyologiae. *Nuovi Annali delle Scienze naturali Bologna* (Ser. 1), 2



- (4), 181–196, 272–277. [As a separate *Prodromus systematis ichthyologiae*, 21 pp., distributed 1835 Journal evidently dates to 1840] [ref. 32242].
- Bucciarelli, G.M., Lechner, M., Fontes, A., Kats, L.B., Eischen, H.L., Shaffer, H.B. 2021. From poison to promise: The evolution of tetrodotoxin and its potential as a therapeutic. *Toxins*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/toxins13080517>
- Burkew, M.A., Morton, R.A., 1971. The toxicity of Florida gulf puffers, genus *Sphoeroides**. *Toxicon*, 9, 205–210.
- Chen, T., Hsieh, Y., Tsai, Y., Shiao, C., Hwang, D., 2002. Identification of Species and Measurement of Tetrodotoxin in Dried Dressed Fillets of the Puffer Fish, *Lagocephalus lunaris*. *J. F. P.* 65, 1670–1673. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-65.10.1670>
- Chi-Espinola, A.A., Vega-Cednejas, M.E. 2013. Hábitos alimenticios de *Sphoeroides testudineus* (Perciformes: Tetraodontidae) en el sistema lagunar de Ría Lagartos, Yucatán, México. *Rev. Biol. Trop.* 61: 849–858.
- Clement, L., Campbell, C., Hasibi, A., Zare-Behtash, H., Valyrakis, M., 2020. Scour-resilient bio-inspired designs: The male Japanese puffer fish nest. EGU General Assembly 2020.
- Del Moral-Flores, L.F., Huidobro-Campos, L., 2023. First records and expansion of the geographic distribution of the oceanic puffer, *Lagocephalus lagocephalus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae), in the Gulf of Mexico. *Cienc. Mar.* 49. <https://doi.org/10.7773/cm.y2023.3327>
- Denadai, M.R., Santos, F.B., Bessa, E., Bernardes, L.P., Túrra, A., 2012. Population biology and diet of the puffer fish *Lagocephalus laevigatus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) in Caraguatatuba Bay, south-eastern Brazil. *J. Mar. Biolog. Assoc. U.K.* 92: 407–412. <https://doi.org/10.1017/S0025315411001299>
- Dias, J.F., Fernandez, W.S., Schmidt, T., 2014. Relación longitud-peso de 73 especies de peces capturados en la plataforma continental interna del sudeste de Brasil. *Lat. Am. J. Aquat.* 42: 127–136.
- Etheridge, S., Deeds, J., Hall, S., White, K., Flewelling, L., Abbott, J., Landsberg, J., Conrad, S., Bodager, D., Jackow, G., 2006. Detection methods and their limitations: PSP toxins in the southern puffer fish *Sphoeroides nephelus* responsible for human poisoning events in Florida in 2004. *Afr. J. Mar. Sci.* 28: 383–387. <https://doi.org/10.2989/18142320609504183>
- FAO., 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Fajer-Ávila, E.J., Martínez-Rodríguez, I., Abdo de la Parra, M.I., Álvarez-Lajonchere, L., Betancourt-Lozano, M., 2008. Effectiveness of freshwater treatment against *Lepophtheirus simplex* (Copepoda: Caligidae) and *Neobenedenia* sp. (Monogenea: Capsalidae), skin parasites of bullseye puffer fish, *Sphoeroides annulatus* reared in tanks. *Aquaculture* 284: 277–280.
- Fajer-Ávila, E.J., Roque, A., Aguilar, G., Duncan, N., 2004. Patterns of Occurrence of the Platyhelminth Parasites of the Wild Bullseye Puffer (*Sphoeroides annulatus*) off Sinaloa, Mexico. *J. Parasitol.* 90: 415–418.
- Fávaro, L.F., Celton de Oliveira, E., de Oliveira Brunow, A.V., Fenerich Verani, N., 2009. Environmental influences on the spatial and temporal distribution of the puffer fish *Sphoeroides greeleyi* and *Sphoeroides testudineus* in a Brazilian subtropical estuary. *Neotrop. Ichthyol.* 7: 275–282.
- Fricke, R., Eschmeyer, W.N., Van der Laan, R., 2022. *Eschmeyer's catalog of fishes: References*. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
- Froese, R., 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Froese, R., Pauly, D., 2023a. *FishBase*. www.Fishbase.Org.
- Froese, R., Pauly, D., Editors., 2023b. *FishBase*. Tetraodontiformes. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=10332> on 2023-10-12
- Fujita, S., Honma, Y., 1991. Induction of ovarian maturation and development of eggs, larvae and juveniles of the puffer, *Takifugu exscurus*, reared in the laboratory. *Japanese J. Ichthyol.* 38, 211–218. <https://doi.org/10.11369/jji1950.38.211>
- Gállego, J., Riera, C., Portus, M., 1993. *Huffmanela* sp. eggs (Nematoda: Trichosomoididae), as a human spurious parasite in a child from Barcelona (Spain). *Folia Parasitol.* 40: 208–210.
- Gill, T.N., 1862. Remarks on the relations of the genera and other groups of Cuban fishes. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 14: 235–242. [ca. June, ref. 1664].
- Giusti, A., Guarducci, M., Stern, N., Davidovich, N., Golani, D., Armani, A., 2019. The importance of distinguishing pufferfish species (*Lagocephalus* spp.) in the Mediterranean Sea for ensuring public health: Evaluation of the genetic databases reliability in supporting species identification. *Fish. Res.* 210: 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.10.003>
- Goedknecht, M.A., Feis, M.E., Wegner, K.M., Luttkhuizen, P.C., Buschbaum, C., Camphuysen, K., van der Meer, J., Thieltges, D.W., 2016. Parasites and marine invasions: Ecological and evolutionary perspectives. *J. Sea Res.* 113: 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.12.003>
- Guevara, E., Sánchez, A.J., Rosas, C., Mascaró, M., Brito, R., 2007. Asociación trofica de botetes en Laguna de Términos Campeche. *Universidad y Ciencia: Trópico Húmedo*, 23, 151–166. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia
- Halstead, B., 2018. Fish Toxins. In Y.H. Hui, D. Kitts, P.S. Stanfield (Eds.), *Foodborne Disease Handbook: Vol. IV (Second Edition)*. CRC Press.
- Halver, J.E., Hardy, R.W., 2002. *Fish Nutrition*, Third ed. Academic Press, California.
- Hamasaki, M., Takeuchi, Y., Yazawa, R., Yoshikawa, S., Kadomura, K., Yamada, T., Miyaki, K., Kikuchi, K., Yoshizaki, G., 2017. Production of Tiger Puffer *Takifugu*



- rubripes* offspring from triploid grass puffer *Takifugu nirophobles* Parents. *Mar. Biotechnol.* 19, 579–591. <https://doi.org/10.1007/s10126-017-9777-1>
- Helfman, G.S., Collette, B.B., Facey, D.E., Bowen, B.W., 2009. The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology (2nd ed.). WILEY-BLACKWELL. www.seaphotos.com.
- Hollard, H.L.G.M., 1860. Mémoire sur le squelette des poissons plectognathes étudié au point de vue des caractères qu'il peut fournir pour la classification. *Annales des Sciences Naturelles, Paris (Zoologie)*, Serie 4, 13: 5–46. [ref. 31941].
- Jellyman, P., Booker, D., Crow, S., Bonnett, M., Jellyman, D., 2013. Does one size fit all? An evaluation of length-weight relationships for New Zealand's freshwater fish species. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* 47: 450–468. <https://doi.org/10.1080/00288330.2013.781510>
- Jia, Y., Jing, Q., Xing, Z., Gao, X., Zhai, J., Guan, C., Huang, B., 2018. Effects of two different culture systems on the growth performance and physiological metabolism of tiger pufferfish (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture*, 495: 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.049>
- Jong, E.C., 2016. Fish and shellfish poisoning: toxic syndromes. In C.A. Sanford, P.S. Pottinger, E.C. Jong (Eds.), *Travel and tropical medicine manual*. pp. 451–456.
- Kaiser, M.J., 2020. Pufferfish nest building reveals a skilled architect. *J. Fish Biol.* 97: 1295–1295. <https://doi.org/10.1111/jfb.14584>
- Katikou, P., Gokbulut, C., Kosker, A.R., Campàs, M., Ozogul, F., 2022. An updated review of Tetrodotoxin and its peculiarities. *Mar. Drugs.* 20: 47. <https://doi.org/10.3390/MD202010047>
- Kohane, D.S., Smith, S.E., Louis, D.N., Colombo, G., Ghoroghchian, P., Hunfeld, N.G.M., Berde, C.B., Langer, R., 2003. Prolonged duration local anesthesia from tetrodotoxin-enhanced local anesthetic microspheres. *Pain*, 104: 415–421. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(03\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(03)00049-6)
- Kosker, A.R., Özogul, F., Ayas, D., Durmus, M., Ucar, Y., Regenstein, J.M., Özogul, Y., 2019. Tetrodotoxin levels of three pufferfish species (*Lagocephalus* sp.) caught in the North-Eastern Mediterranean Sea. *Chemosphere*, 219, 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.010>
- Landsberg, J.H., Hall, S., Johannessen, J.N., White, K.D., Conrad, S.M., Abbott, J.P., Flewelling, L.J., Richardson, R.W., Dickey, R.W., Jester, E.L., Etheridge, S.M., Deeds, J.R., Van Dolah, F.M., Leighfield, T.A., Zou, Y., Beaudry, C.G., Benner, R.A., Rogers, P.L., Scott, P.S., Steidinger, K.A., 2006. Saxitoxin puffer fish poisoning in the United States, with the first report of pyrodinium bahamense as the Putative toxin source. *Environ. Health Perspect.* 114, 1502–1507. <https://doi.org/10.1289/ehp.8998>
- Laroche, J.L., Davis, J., 1973. Age, growth, and reproduction of northern puffer, *Sphoeroides maculatus*. *Fish. Bull.* 71, 955–963. <https://scholarworks.wm.edu/vimsarticles/650>
- Li, Y., Liya, W., Ningping, T., 2014. Analysis and evaluation of nutritional composition of farmed male pufferfish (*Takifugu Obscurus*). *SHS Web of Conferences*, 6, 03010. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20140603010>
- Mallard-Colmenero, L., Yáñez-Arancibia, A., Amezcu-Linares, F., 1981. Taxonomía, biología y ecología de los Tetraodontidos de la Laguna Términos, sur del golfo de México (Pisces: Tetraodontidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 1–77.
- Martínez-Aquino, A., García-Teh, J.G., Ceccarelli, F.S., Aguirlar-Aguilar, R., Vidal-Martínez, V.M., Aguirre-Macedo, M.L., 2020. New morphological and molecular data for *Xystretrum solidum* (Gorgoderidae, Gorgoderinae) from *Sphoeroides testudineus* (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) in Mexican waters. *ZooKeys* 925, 141–161. <https://doi.org/10.3897/zookeys.925.49503>
- Martínez-Brown, J.M., Cetzel-Aké, C.A., Ibarra-Castro, L., Sánchez-Cárdenas, R., Maldonado-Amparo, M.A., Rojo-Cebreros, A.H., Sánchez-Téllez, J.L. 2019. Embryonic development of the bullseye puffer *Sphoeroides annulatus* (Tetraodontidae): A morphofunctional approach to ontogenetic steps. *J. Morphol.* 280, 948–967. <https://doi.org/10.1002/jmor.20994>
- Matsuura, K., 2015. Taxonomy and systematics of tetraodontiform fishes: a review focusing primarily on progress in the period from 1980 to 2014. *Ichthyol. Res.* 62, 72–113. <https://doi.org/10.1007/s10228-014-0444-5>
- May-Tec, A.L., Baños-Ojeda, C., Mendoza-Franco, E.F., 2022. Parasitic crustaceans (Branchiura and Copepoda) parasitizing the gills of puffer fish species (Tetraodontidae) from the coast of Campeche, Gulf of Mexico. *ZooKeys* 1089: 73–92. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1089.79999>
- Merriner, J.V., Laroche, J.L., 1977. Fecundity of the northern puffer, *Sphoeroides maculatus*, from Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*, 18: 81–83. <https://doi.org/10.2307/1350368>
- Moravec, F., Fajer-Ávila, E., 2000. *Huffmanela mexicanana*. sp. (Nematoda: Trichosomoididae) from the marine fish *Sphoeroides annulatus* in Mexico. *J. Parasitol.* 86: 1229–1231.
- Nagashima, Y., Matsumoto, T., Kadoyama, K., Ishizaki, S., Taniyama, S., Takatani, T., Aarakiwa, O., Terayama, M., 2012. Tetrodotoxin poisoning due to smooth-backed blowfish *Lagocephalus inermis* and toxicity of *L. inermis* caught off the Kyushu Coast, Japan. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi*, 53(2): 85–90. <https://doi.org/10.3358/shokueishi.53.85>
- Nardo, G.D., 1843. Considerazione sopra alcune nuove famiglie de' Syngnathi e de' Plectognathi, e sui caratteri anatomici che le distinguono. Atti della Quarta Riunione degli Scienziati Italiani, Padova, (for 1842), pp. 244–245. [ref. 31940].
- Nelson, J.S. (2006). Fishes of the World. Fourth Edition.
- Nelson, J.S., Grande, T.C., Wilson, M.V., 2016. Fishes of the World. Fifth Edition. John Wiley & Sons.



- Noguchi, T., Arakawa, O., 2008. Tetrodotoxin – Distribution and accumulation in aquatic organisms, and cases of human intoxication. *Mar. Drugs*, 6, 220–242. <https://doi.org/10.3390/MD6020220>
- Noguchi, T., Arakawa, O., Takatani, T., 2006. TTX accumulation in pufferfish. Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics, 1, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2005.10.006>
- Núñez-Vázquez, E.J., Yotsu-Yamashita, M., Sierra-Beltrán, A.P., Yasumoto, T., Ochoa, J.L., 2000. Toxicities and distribution of tetrodotoxin in the tissues of puffer fish found in the coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Toxicon*, 38: 729–734.
- Núñez-Vázquez, E., Poot Delgado, C.A., Yotsu-Yamashita, M., Domínguez-Solís, G., Hernández-Sandoval, F.E., Bustillos-Guzmán, J.J., 2013. Toxicidad de los botetes silvestres *Sphoeroides* spp., y *Lagocephalus* spp., de las costas de Campeche, México. XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Del Mar.
- Nurjanah, N., Jacoeb, A.M., Marhamah, A.S., Hidayat, T., 2015. Minerals and heavy metals of banana puffer fish from sea of region gebang, cirebon, west java. *J. Agric. Sci. Eng.* 1, 28–33. <http://www.publicscienceframework.org/journal/jase>
- Nurullahoglu, Z.U., Ulusoy, E., 2013. Fatty acid composition of *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) (Osteichthyes: Tetraodontidae). *Marmara Fen. Bilimleri Dergisi*, 4, 184–191. <https://doi.org/10.7240/MJS.2013254097>
- Ojeda-Ruiz, M.Á., Cervantes-Díaz, J.L., Fiol-Ortíz, J., Burnes-Romo, L.A., 2016. Emerging fisheries in subtropical coastal lagoons: *Sphoeroides annulatus* in Magdalena-Almejas Bay, BCS, Mexico (1998-2008). *Ocean Coast. Manage.* 125: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ocemano.2016.02.009>
- Ono, T., Hayashida, M., Tezuka, A., Hayakawa, H., Ohno, Y., 2013. Antagonistic effects of tetrodotoxin on aconitine-induced cardiac toxicic. *J. Nippon Med. Sch.* 80, 350–361. <https://doi.org/10.1272/jnms.80.350>
- Pauly, D., 1991. Growth of the checkered puffer *Sphoeroides testudineus*: postscript to papers by targett and Pauly & Ingles. *Fishbyte, Newsletter of the Network of Tropical Fisheries Scientist*, 9, 19–22.
- Pech, D., Vidal-Martínez, V.M., Aguirre-Macedo, M.L., Gold-Bouchot, G., Herrera-Silveira, J., Zapata-Pérez, O., Marcogliese, D.J., 2009. The checkered puffer (*Sphoeroides testudineus*) and its helminths as bioindicators of chemical pollution in Yucatan coastal lagoons. *Sci. Total Environ.* 407, 2315–2324. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.054>
- Peniche-Pérez, J.C., González-Salas, C., Villegas-Hernández, H., Díaz-Gamboa, R., Aguilar-Perera, A., Guillen-Hernández, S., Poot-López, G.R., 2019. Reproductive biology of the southern pufferfish, *Sphoeroides nephelus* (Actinopterygii: Tetraodontiformes: Tetraodontidae), in the northern coast off the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Ichthyol. Piscat.* 49, 133–146. <https://doi.org/10.3750/AIEP/02516>
- Pinto, E.P., Rodrigues, S.M., Gouveia, N., Timóteo, V., Costa, P.R., 2019. Tetrodotoxin and saxitoxin in two native species of puffer fish, *Sphoeroides marmoratus* and *Lagocephalus lagocephalus*, from NE Atlantic Ocean (Madeira Island, Portugal). *Mar. Environ. Res.* 151: 104780. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104780>
- Poot-López, G., Díaz-Gamboa, R., González-Salas, C., Guillén-Hernández, S., 2017. Length-weight relationships of three fish species collected by recreational fishing in the northern coast of Yucatan Peninsula, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 33: 1249–1250. <https://doi.org/10.1111/jai.13442>
- Rafinesque, C.S., 1810. Indice d'ittiologia siciliana; ossia, catalogo metodico dei nomi latini, italiani, e siciliani dei pesci, che si rinvengono in Sicilia disposti secondo un metodo naturale e seguito da un appendice che contiene la descrizione de alcuni nuovi pesci siciliani. Presso Giovanni del Nobolo, Messina, 70 pp., Pls. 1–2. [author given as Rafinesque Schmaltz, C.S. (this name was used by Rafinesque between 1810 and 1814), we use Rafinesque for simplicity] [ref. 3595]. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.6893>
- Ragonese, S., Jereb, P., Morara, U., 1997. Morphometric relationships of *Sphoeroides pachygaster* (Pisces-Tetraodontidae) of the Strait of Sicily (Mediterranean Sea). *Cah. Biol. Mar.* 38: 283–289.
- Rocha, C., Favaro, L.F., Spach, H.L., 2002. Biología reproductiva de *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus) (Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae) da gamboa do Baguacu, Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 19, 57–63.
- Rodríguez-Ibarra, L.E., Abdo-De La Parra, M.I., Rodríguez-Montes De Oca, G.A., Moreno-Hernández, M.S., Velasco-Blanco, G., García-Aguilar, N., Álvarez-Lajonchère, L.S., 2010. Evaluación de métodos para la eliminación de la capa adherente de los huevos del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Pisces: Tetraodontidae). *Rev Biol Mar Oceanogr.* 45, 147–151. <https://doi.org/10.4067/S0718-1957201000100015>
- Sabrah, M.M., El-Ganainy, A.A., Zaky, M.A., 2006. Biology and toxicity of the pufferfish *Lagocephalus sceleratus* (GMELIN, 1789) from the Gulf of Suez. *Egypt. J. Aquat. Res.* 32: 283–297. <http://hdl.handle.net/1834/1452>
- Santa, K.I., Saritha, K., Gifson, H., Patterson, J., 2015. Quality assessment of fresh and dried puffer fish (*Lagocephalus lunaris*) obtained from Tuticorin, South East Coast of India. *W. J. F. M. S.* 7: 268–277.
- Santhanam, R., 2018. Biology and ecology of toxic pufferfish. CRC Press.
- Saoudi, M., Abdelmouleh, A., Kammoun, W., Ellouze, F., Jamoussi, K., El Feki, A., 2008. Toxicity assessment of the puffer fish *Lagocephalus lagocephalus* from the Tunisian coast. *Comptes Rendus - Biologies*, 331, 611–616. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.05.005>
- Schultz, Y.D., Favaro, L.F., Spach, H.L., 2002. Aspectos reproductivos de *Sphoeroides greeleyi* (Gilbert), Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae, da gamboa do Baguacu, Baía De Paranaguá, Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 19: 65–76.



- Shi, J., Liu, T.T., Wang, X., Epstein, D.H., Zhao, L.Y., Zhang, X.L., Lu, L., 2009. Tetrodotoxin reduces cue-induced drug craving and anxiety in abstinent heroin addicts. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 92: 603–607. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2009.02.013>
- Shipp, R.L. 2002. Tetraodontidae. In K.E. Carpenter (Ed.), *The living marine resources of the western central Atlantic* (Part 2, Vol. 3, pp. 1988–2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Stump, E., Ralph, G.M., Comeros-Raynal, M.T., Matsuura, K., Carpenter, K.E. 2018. Global conservation status of marine pufferfishes (Tetraodontiformes: Tetraodontidae). *Glob. Ecol. Conserv.* 14: e00388. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00388>
- Tagliafico, A., Rago, N., Rangel, M.S. 2015. Length-weight relationships of 22 commercial fish from Margarita Island, Venezuela. *J. Res. Biol.* 5: 1707–1712.
- Thiem, J.D., Hatry, C., Brownscombe, J.W., Cull, F., Shultz, A.D., Danylchuk, A.J., Cooke, S.J., 2013. Evaluation of radio telemetry to study the spatial ecology of checkered puffers (*Sphoeroides testudineus*) in shallow tropical marine systems. *Bull. Mar. Sci.* 89: 559–569. <https://doi.org/10.5343/bms.2012.1052>
- Thuy, L.V., Yamamoto, S., Kawaura, R., Takemura, N., Yamaiki, K., Yasumoto, K., Takada, K., Watabe, S., Sato, S., 2020. Tissue distribution of tetrodotoxin and its analogs in *Lagocephalus* pufferfish collected in Vietnam. *Fish. Sci.* 86: 1101–1110. <https://doi.org/10.1007/s12562-020-01460-y>
- Tzeek-Tuz, J., Bonilla-Gómez, J.L., Badillo-Alemán, M., Chiappa-Carrara, X., 2012. Length-weight relationship and parameters of growth for the checkered puffer *Sphoeroides testudineus* from a karstic tropical coastal lagoon: La Carbonera, Yucatan, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 28: 859–860. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.02032.x>
- Tzeek-Tuz, J.G., 2013. Biología de la reproducción de *Strongylura notata* y *Sphoeroides testudineus*, de la laguna “La Carbonera” en Sisal Yucatan Tesis de Maestría. UNAM.
- Ulman, A., Harris, H.E., Doumpas, N., Deniz Akbora, H., Al Mabruk, S.A., Azzurro, E., Bariche, M., Çiçek, B.A., Deidun, A., Demirel, N., Fogg, A.Q., Katsavenakis, S., Kletou, D., Kleitou, P., Papadopoulou, A., Ben Soussi, J., Hall-Spencer, J.M., Tiralongo, F., Yıldız, T., 2021. Low Pufferfish and Lionfish Predation in Their Native and Invaded Ranges Suggests Human Control Mechanisms May Be Necessary to Control Their Mediterranean Abundances. *Front. Mar. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.670413>
- Valenti. Robert J. (1975). Semi-Closed system culture of the Northern puffer, *Sphoeroides maculatus*. Proceedings of the Annual Meeting - World Mariculture Society, 6(1–4), 479–485. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1975.tb00041.x>
- Vasconcelos-Filho, A.D., Silva, K.D., Acioli, E.D., 1998. Hábitos alimentares de *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei: Tetraodontidae), no canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, 26, 145–157.
- Vega-Cendejas, M.E., de Santillana, M.H., Arceo, D., 2012. Length-weight relationships for selected fish species from a coastal lagoon influenced by freshwater seeps: Yucatan peninsula, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 28: 140–142. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01875.x>
- Vidal-Martínez, V.M., Mendoza-Franco, E.F., 2008. *Heterobothrium lamothei* n. sp. (Monogenea: Diclidophoridae) from the gills of *Sphoeroides testudineus* (Pisces: Tetraodontidae) from the coast of Yucatán, Mexico. *Rev. Mex. Biodivers.* 79, 89–93.
- Wang, Q-L., Zhang, H-T., Ren, Y-Q., Zhou, Q., 2016. Comparison of growth parameters of tiger puffer *Takifugu rubripes* from two culture systems in China. *Aquaculture*, 453, 49–53. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.022>
- Zanuy, S., Carrillo, M., 1993. Técnicas de control de la reproducción en los teleósteos. In F. Castelló (Ed.), *Acuicultura* (pp. 143–156).