

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. 4 (1) 2022



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. Edgar F. Mendoza Franco

Editores Asociados / Associate Editors

Dra. Claudia M. Agraz Hernández
Dr. Rodolfo Enrique del Río Rodríguez
Dr. Ricardo Dzul Caamal
Dr. Maurilio Lara Flores
Dr. Gregorio Posada Vanega
Dra. Evelia Rivera Arriaga
Dr. Yassir Edén Torres Rojas
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. Luis Amado Ayala Pérez UAM-Xochimilco, México	Dr. Antonio Luna González CIIDIR-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	Dr. 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

- Variables que inducen opresión costera, caso de estudio:
Ciudad del Carmen, Campeche, México**
Variables that induce coastal squeeze, case study:
Ciudad del Carmen, Campeche, Mexico **5**
Debora L. Ramírez Vargas, B. Edith Vega Serratos y Gregorio Posada Vanegas
- El desarrollo de la pesca ribereña y el turismo comunitario
en un área natural protegida: una revisión cualitativa del sistema
socio-ecológico de Isla Arena, Campeche 2003-2021**
The development of small scale fishery and community tourism
in a protected natural area: a qualitative review of socio-ecological
system from Isla Arena, Campeche 2003-2021 **23**
*Angelina del Carmen Peña-Puch, Evelia Rivera-Arriaga,
Martin G. Memije Canepa y Zulma D. Dzul de La Cruz*
- El rol de la mujer en la pesca artesanal y la sustentabilidad
en Celestún, México**
The role of women in small-scale fisheries and sustainability
in Celestún, Mexico **41**
Jessica Beatriz Monroy Pensado y Carmen Pedroza Gutiérrez
- Diversidad y función de la macrofauna del suelo: información
clave para el estudio de la sustentabilidad
de sistemas socio-ecológicos tropicales**
Diversity and function of soil macrofauna: key information for
studying the sustainability of tropical social-ecological systems **51**
Carlos E. Paz-Ríos, Atahualpa Sosa-López y Yassir E. Torres-Rojas

Variabilidad temporal de crustáceos parásitos de peces y su importancia para el manejo de los recursos costeros ante el cambio climático antropogénico

Temporal variability of crustacean parasites of fish and its importance for coastal resource management to anthropogenic climate change

Ana Luisa May-Tec y Edgar Fernando Mendoza-Franco

63

Impacto de los plaguicidas organoclorados (POC) en las vías de activación inmunológica de la Abeja melífera (*Apis mellifera*)

Organochlorine pesticides (OCP) impact on the immunological activation pathways of the honey bee (*Apis mellifera*)

Juan Pablo Ek-Huchim, Elizabeth López-Torres, Maurilio Lara-Flores, Rodolfo del Río-Rodríguez y Ricardo Dzul-Caamal

79

Ramírez Vargas, D.L., Vega Serratos, B.E., Posada Vanegas, G., 2022. Variables que inducen opresión costera, caso de estudio: Ciudad del Carmen, Campeche, México. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 4(1): 5-22. doi 10.26359/52462.0122



Variables que inducen opresión costera, caso de estudio: Ciudad del Carmen, Campeche, México

Variables that induce coastal squeeze, case study: Ciudad del Carmen, Campeche, Mexico

Debora L. Ramírez Vargas, B. Edith Vega Serratos y Gregorio Posada Vanegas*

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche. Campus VI, Av. Héroe de Nacozari 480. C.P. 24029.
San Francisco de Campeche, Campeche, México.

* autor de correspondencia: dlramire@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0122

Recibido 02/mayo/2022. Aceptado 14/julio/2022

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Edgar Mendoza Franco

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



Resumen

El término opresión costera describe un proceso dinámico en donde el aumento del nivel medio del mar y factores concomitantes (*e.g.*, aumento de tormentas, subsidencia de la costa) desplazan los hábitats costeros hacia tierra. La presencia de estructuras duras de origen antropogénico a lo largo de las costas también puede crear márgenes artificiales estáticos entre la tierra y el mar, restringiendo los hábitats costeros a una zona estrecha. El aumento del nivel del suelo con respecto a la planicie costera, que puede ser causado por un flujo hidrosedimentario interrumpido, también puede formar barreras naturales adicionales. En particular, la costa de México es vulnerable al aumento del nivel del mar, sin embargo, otros procesos más rápidos podrían estar induciendo la opresión costera en mayor medida, como la subsidencia, fenómenos hidrometeorológicos extremos, cambios en el uso del suelo y la erosión derivada de la retención de sedimentos en las cuencas costeras superiores. El objetivo de este estudio es analizar la opresión costera a lo largo de la costa de Ciudad del Carmen, Campeche, México, mediante la identificación de sus variables determinantes sustentadas en revisión bibliográfica y análisis de bases de datos de acceso libre. Los procesos analizados corresponden a los cambios de uso de suelo, la incidencia de tormentas y la presencia de estructuras duras, entre otros factores, que han aumentado rápidamente en el área de estudio en los últimos años y han provocado la pérdida de ecosistemas costeros. En última instancia, con este trabajo se pretende generar una metodología que pueda medir cuantitativamente los efectos de la opresión costera en diferentes zonas costeras. La metodología resultante sirve como herramienta para la toma de decisiones y para la gestión sostenible de las costas.

Palabras clave: zona costera, cambio de uso de suelo, incidencia de tormentas, Golfo de México, Campeche.

Abstract

Coastal squeeze describes a dynamic process in which sea level rise and concomitant variables (*e.g.*, increased storms, coastal subsidence) shift coastal habitats to land. The presence of hard structures of anthropogenic origin along the coasts can also create static artificial margins between land and sea, restricting coastal habitats to a narrow area. Ground level rise with respect to the coastal plain, which can be caused by an interrupted hydro-sedimentary flow, can also form added natural barriers. In particular, the coast of Mexico is vulnerable to sea level rise, however, other faster processes could be inducing coastal oppression/squeeze to a greater extent, such as subsidence, extreme hydrometeorological phenomena, changes in land use and erosion derived from sediment retention in the upper coastal basins. The aim of this study is analyzed coastal oppression along the coast for Ciudad del Carmen, Campeche, Mexico, by finding its determining variables based on a literature review and analysis of open access databases. The processes analyzed correspond to changes in land use, the incidence of storms and the presence of hard structures, among other factors, which have increased rapidly in the study area in recent years and have caused the loss of coastal ecosystems. Ultimately, this work aims to generate a method that can quantitatively measure the effects of coastal oppression in different coastal areas. The resulting method serves as a tool for decision-making and sustainable coastal management.

Keywords: coastal zone, land use change, incidence of storms, Gulf of Mexico, Campeche.



Introducción

Es importante mencionar que los efectos del cambio climático en los niveles del mar y en los ecosistemas costeros se reconocen a nivel mundial y se cubren ampliamente en la literatura (Huerto y Mariano, 2017; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2014; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2011; Schlepner, 2008; Ortiz Pérez y Méndez Linares, 1999), estos estudios se realizan principalmente en países del norte de Europa, donde se esperan mayores impactos del aumento del nivel del mar (Fox-Kemper *et al.*, 2021). Sin duda, las costas de México y, en especial, el golfo de México son vulnerables al cambio climático y al consiguiente aumento del nivel del mar. Sin embargo, la opresión costera en esta región puede estar aún más influenciada por procesos que ocurren a un ritmo más rápido, por ejemplo, el

crecimiento urbano desordenado, la erosión resultante de la retención de sedimentos en las cuencas costeras superiores o del efecto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

La opresión costera se ha definido como un proceso en el que el incremento del nivel medio del mar (INMM) en interacción con otros factores como la infraestructura rígida, provocan la pérdida de espacio en ambas direcciones: tierra y mar, y donde los ecosistemas ya no tienen las condiciones necesarias para mantener sus funciones naturales y en consecuencia reducen los bienes y servicios que proveen a las zonas costeras (Silva, *et al.*, 2020) (tabla 1). Los ecosistemas costeros naturalmente son capaces de desplazarse tierra adentro con el objetivo de adaptarse y sobrevivir a múltiples procesos

Tabla 1. Definiciones previas del fenómeno de opresión costera (Silva *et al.*, 2020).

Definiciones previas de opresión costera		
Definición	Perspectiva/ Ecosistema	Principales Causas
Las barreras antropogénicas impiden que los humedales migren hacia tierra, y las pendientes pronunciadas que bordean los humedales limitan o detienen por completo la migración de los humedales (Brinson <i>et al.</i> , 1995).	Humedales.	Infraestructura rígida.
Relacionado con la inclinación o la opresión costera, proceso por el cual el perfil de la línea de costa no retrocede ni avanza (Soulsby <i>et al.</i> , 1999).	Perfil de línea de costa transversal.	Incremento del nivel medio del mar.
Las funciones naturales de los ecosistemas costeros se pierden o inundan progresivamente, oprimidos entre las defensas costeras y el aumento del nivel del mar (DEFRA, 2003).	Hábitats costeros.	Incremento del nivel medio del mar. Infraestructura rígida.
Es el proceso en el que el incremento del nivel del mar y otros factores, como el aumento de las tormentas, empujan los ecosistemas costeros hacia tierra (Doody, 2004 y 2013).	Hábitats costeros.	Incremento del nivel medio del mar.
Los ecosistemas costeros se reducen progresivamente en área y pierden funcionalidad cuando quedan atrapados entre el incremento del nivel del mar y defensas marítimas fijas o terreno elevado (English Nature 2003). En este caso hay una pérdida del terreno intermareal (Black and Veach 2006), y hábitats (Pontee 2011). Sin embargo, la opresión costera no se refiere a las pérdidas debidas a procesos naturales (Pontee 2013). En muchos ambientes estuarinos, inundaciones e infraestructura rígida de protección costera, limitan a los ecosistemas produciendo pérdidas en su hábitat intermareal (English Nature, 2006).	Hábitats intermareales.	Incremento del nivel medio del mar. Infraestructura rígida.
El aumento del nivel del mar junto con el blindaje de la costa crea una “opresión costera” que genera pérdida de hábitats en ambas direcciones de las playas, reduciéndolas al no tener el espacio para retirarse o hundirse (Martin, 2014).	Playas.	Incremento del nivel medio del mar. Infraestructura rígida.



(e.g. ecológicos, geológicos, geomorfológicos, climáticos, socioeconómicos y hasta legislativos (Silva *et al.*, 2019). Sin embargo, cuando las actividades antrópicas en la zona costera crean una barrera estática que impide el desplazamiento natural de los ecosistemas costeros hacia tierra, ocurre una opresión hasta el punto crítico de la desaparición de hábitats (Silva *et al.*, 2020; Pontee, 2013; Doody, 2004 y 2013; English, 2006; DEFRA, 2003 y 2005) (figura 1).

Uno de los efectos de la opresión costera al reducir el espacio en ambos sentidos (tierra y mar) sobre los ecosistemas ubicados en la zona intermareal es la disminución de su salud, integridad y resiliencia, propiciando su desaparición. Los humedales, las playas y las dunas se encuentran entre los ecosistemas más amenazados por la opresión costera a pesar del valor reconocido de estos ecosistemas.

La pérdida de estos ecosistemas es una preocupación apremiante, ya que proporcionan una amplia gama de bienes y servicios ecosistémicos, incluidos el secuestro de carbono, la purificación del agua, la protección costera, la regulación de inundaciones y el apoyo a la biodiversidad. En los últimos años, varios estudios han demostrado que las dunas costeras contribuyen a la prestación de servicios ecosistémicos como la protección contra inundaciones, la recreación, la prevención de la salinización y la protección del agua potable. Además, las características de los ecosistemas pueden ser utilizadas para proponer soluciones basadas en la naturaleza para abordar numerosos desafíos ambientales, sociales y económicos (Lithgow *et al.*, 2019).

Doody en el 2004, consideró que la opresión costera se debía únicamente al cambio climático y al aumento del nivel medio del mar. Sin embargo,

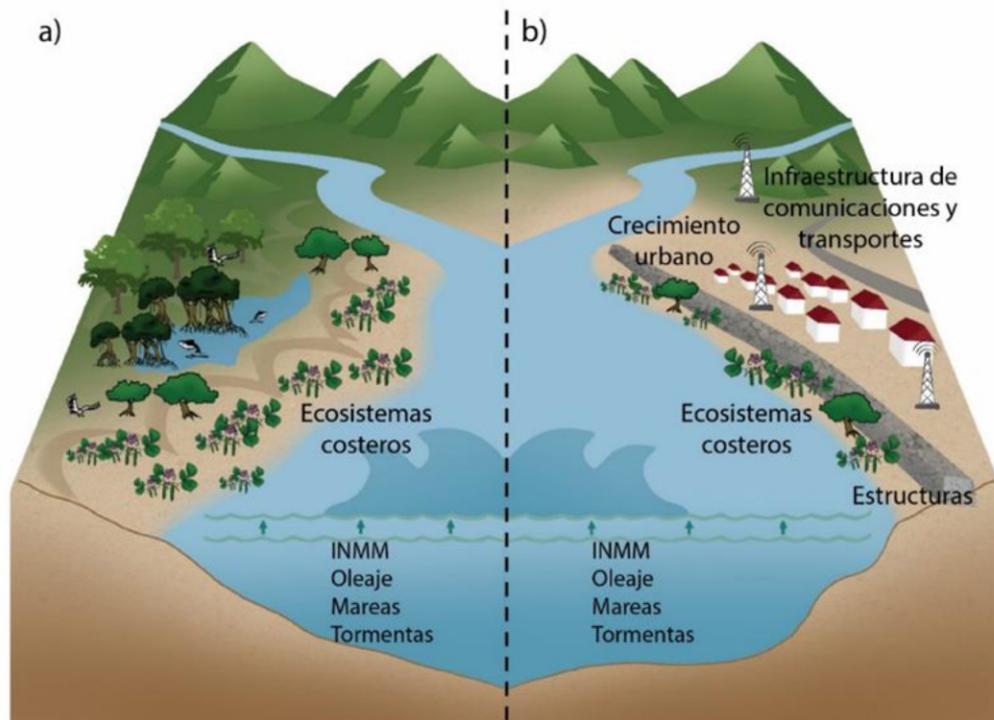


Figura 1. Esquema del proceso de opresión costera: a) Los ecosistemas costeros son capaces de desplazarse tierra adentro sin la presencia de barreras rígidas producto de las actividades antrópicas. b) Los ecosistemas no son capaces de desplazarse tierra adentro debido a la presencia de barreras rígidas producto de las actividades antrópicas. (Fuente: modificado de Fries. (2013).



en su publicación del 2013, observó que la construcción de obras de protección costera contribuía a la erosión e intensificaba los efectos de la opresión costera (Doody, 2013). En este proceso se reconoció que las modificaciones implementadas por la mano del hombre producían un estrechamiento de la zona intermareal. Posteriormente, se identifican otros elementos que generan opresión costera como los cambios en el uso del suelo o en la duración e intensidad de las tormentas (Doody, 2013; Pontee, 2013). El estudio de la opresión costera requiere abordar diferentes perspectivas para comprender las causas y consecuencias de este proceso

costero, de tal manera que el objetivo del presente trabajo es generar una herramienta que describa detalladamente el fenómeno de opresión costera y sus factores detonantes. Adicionalmente la herramienta resultante, pretende sugerir estrategias para evaluar la distribución y el impacto de este fenómeno y, por lo tanto, respaldar las acciones de gestión para enfrentarlo y mantener el balance de la zona y ecosistemas costeros. La metodología resultante es aplicada a Ciudad del Carmen en el estado de Campeche debido a la importancia económica que aquí se desarrolla y por los ecosistemas costeros que la conforman.

Materiales y métodos

Zona de estudio

El estado de Campeche está ubicado en el suroeste de México (20.86° y 17.8° N, -89.1° y -92.45° W) en la península de Yucatán (figura 2). Limita

con el golfo de México y los estados de Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, así como con los países de Belice y República de Guatemala. El estado ocupa el 2.9 % del área total de México ($57\,500\text{ km}^2$) y

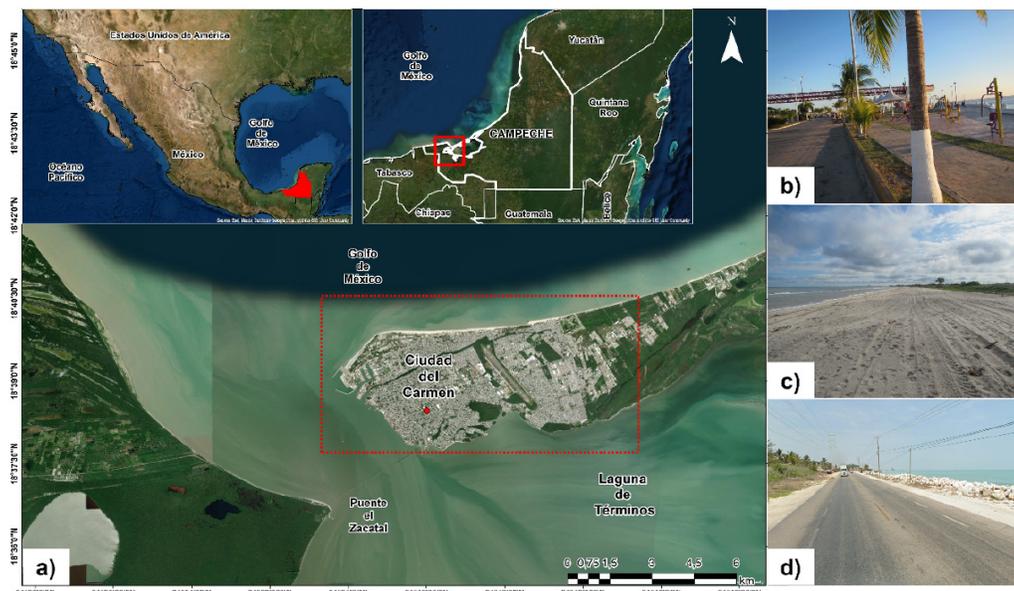


Figura 2. Ciudad del Carmen: a) Localización de la zona de estudio; b) Malecón, c) Ancho de playa y, d) Infraestructura (líneas de luz eléctrica). Fuente de la imagen satelital: Esri, Maxar, Earthstar Geographics and the GIS User Community. Disponible en <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08feb2a9>, Fotografías y mosaico de generación propia.



tiene 928 363 habitantes (INEGI, 2020). Su clima cálido y más de 520 km de costa han hecho de este estado un destino turístico popular (Posada *et al.*, 2013). Debido a las características geomorfológicas de la zona, los suelos tienen orígenes marinos y sedimentarios y están compuestos principalmente de carbonato de calcio. La plataforma continental es amplia, se extiende de 33 a 55 km hacia el mar, con profundidades de 70 a 220 m (Nava-Fuentes *et al.*, 2018). Los sedimentos de la playa tienen composiciones calcáreas y margosas con tamaños que van del limo a la grava (Villalobos-Zapata y Mendoza-Vega, 2010).

Ciudad del Carmen es la segunda ciudad más grande del estado de Campeche con un total de 191 238 habitantes (INEGI, 2020). Se encuentra delimitada por el golfo de México y la laguna de Términos (18°38'18''N, 91°50'07''O). La principal actividad económica es la relacionada con la industria del petróleo, en orden de aporte económico le sigue el turismo y la pesca. Dadas sus características naturales, la mayor parte de la superficie de la ciudad sufre inundaciones periódicas, en particular en su porción colindante con la Laguna de Términos y los diversos cuerpos de agua que existen (Padilla y García, 2015).

Por su localización geográfica y condiciones favorables a la navegación, desde finales de los años setentas del siglo pasado, Ciudad del Carmen y el puerto ubicado en ella fueron seleccionados para fungir como la principal base de apoyo logístico a las actividades de exploración, perforación, desarrollo de infraestructura marina y producción de hidrocarburos de Petróleos Mexicanos en la región

de la sonda de Campeche y dentro de ella principalmente de la Región Marina Suroeste de México (API Puerto Isla del Carmen) (Padilla *et al.*, 2015b).

Una de las características principales de Ciudad del Carmen es su hidrodinámica compleja regida por la aportación de agua continental mediante ríos, la dinámica de mareas y por procesos de evaporación-precipitación. El rango entre la pleamar y la bajamar medias en Ciudad del Carmen es de 0.43 m, y el promedio de la pleamar máxima es de 0.40 y -0.70 m (Kuc *et al.*, 2015).

Identificación de variables que inducen opresión costera

Se identificaron variables que inducen opresión costera con base en la revisión de artículos científicos que han evaluado el proceso de opresión en el área de estudio. Los factores que causan opresión costera se confirmaron en imágenes satelitales de *Google Earth*. Primero, todos los factores se dividieron en naturales o antropogénicos, luego, los factores se dividieron en aquellos relacionados con la tierra o el agua. Según la literatura, las variables naturales más importantes que afectan la opresión costera son el aumento del nivel medio del mar, el oleaje, las marea de tormenta, las tormentas y la erosión. Las variables antropogénicas más importantes son los cambios en el uso del suelo, la densidad de población y el desarrollo de infraestructura. La tabla 2 presenta las variables que son determinantes clave de la opresión costera en el área de estudio. La metodología para evaluar estas variables en el área de estudio se describe con mayor detalle a continuación.

Tabla 2. Variables que inducen opresión costera.

Variables Naturales		Variables antrópicas			
Variable	Unidad	Variable	Unidad		
Mar	Incremento del Nivel Medio del Mar	metros (m)	Estructuras de protección costera	metros cuadrados (m ²)	
	Marea de Tormenta	metros (m)	Tierra	Cambio de uso de suelo	metros cuadrados (m ²)
	Oleaje	metros (m)		Densidad de población	habitantes/metros cuadrados
	Tormentas	eventos por año	Desarrollo de infraestructura	metros cuadrados (m ²)	
	Evolución de la línea de costa	metros (m)			



Para determinar las variables que inducen opresión costera fueron determinantes las características geomorfológicas de la zona costera en estudio y de la cantidad de información disponible para su evaluación dentro de bases de datos de uso libre (por ejemplo: el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) (CONABIO, 2017); los tabulados de población que ofrece el Instituto de Estadística y Geografía (INEGI), en el apartado de Densidad de población por entidad federativa (INEGI, 2020); Manifestaciones de Impacto Ambiental dentro de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2022) El método para cuantificar la opresión costera debe reflejar el grado de los efectos ecológicos y socioeconómicos resultantes en el área de estudio, por lo tanto, la determinación de las variables que detonan el proceso es de suma importancia para proponer una adecuada metodología y cuantificación del proceso.

A continuación, se describen las variables determinadas para influir en la opresión costera en el área de estudio. Estas variables se consideraron a partir de la revisión bibliográfica realizada y que reflejan las variables que inducen la opresión costera (tabla 1). La identificación de estas variables es uno de los pasos más importantes en este proceso, ya que todas las zonas costeras son únicas en su dinámica hidrosedimentaria y procesos físicos.

Las variables naturales más determinantes de la opresión costera son las siguientes:

- **Incremento del nivel medio del mar:** De acuerdo con la revisión bibliográfica, se consideran varios escenarios para el aumento del nivel del mar (8 cm para 2030, 13.5 cm para 2050 y 33 cm para 2100) (Fox-Kemper *et al.*, 2021).
- **Oleaje:** Se consideran las condiciones normales de oleaje versus las de marejadas ciclónicas para determinar su relación con otras variables. Los datos obtenidos de Ruiz, *et al.* (2009); indicaron que las olas tienen una altura de 0.65 a 1.0 m y se acercan a la costa cada 7 a 10 segundos.
- **Frecuencia e intensidad de las tormentas:** Una búsqueda bibliográfica identificó todos los eventos hidrometeorológicos extremos registrados en el área y sus efectos socioeconómicos asociados (NOAA, 2011). El compilado de información fue organizado en tablas y gráficas que detallan sus características principales como su tipo e intensidad.
- **Evolución de la línea de costa:** Para conocer la evolución de la línea de costa, dependiendo de la calidad y disponibilidad de uso libre de la imagen satelital dentro del programa *Google Earth*, se realizaron análisis comprendidos entre el periodo de 2005 a 2015. Las imágenes satelitales se obtuvieron de la aplicación *Google Earth Pro*, con la ayuda de su herramienta de Imágenes históricas, posteriormente se procedió a la digitalización de cada una de las imágenes en el software *ArcMap* 10.8. Finalmente se aplicó la metodología Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versión 5 (Himmelstoss *et al.*, 2021). DSAS estima estadísticas de tasas de cambio para vectores de tiempo en líneas de costa. Dichos vectores son líneas perpendiculares, trazadas de forma equidistante entre sí, a criterio del usuario, dependiendo de la escala de trabajo a partir de una línea base. Las perpendiculares deben cruzar a las líneas de costa que se desea describir y son generadas por el programa DSAS (Thieler *et al.*, 2017).
- **Marea de tormenta:** La zona de estudio al considerarse zonas de baja elevación se encuentra expuesta ante el fenómeno de marea de tormenta ya que con un aumento de pocos decímetros pueden inundarse grandes extensiones de terreno, además al combinarse con marea alta y una gran precipitación el área inundable debido al desbordamiento de los ríos o arroyos se magnificará (Posada *et al.*, 2013). Por lo que se tomó la caracterización de Isla del Carmen para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años publicado en el Atlas de Peligros Naturales para el estado de Campeche.



Las variables antrópicas más determinantes de la opresión costera son las siguientes:

- **Cambio de uso de suelo:** Tomando la serie de datos publicada por el Instituto de Estadística y Geografía (INEGI) (2021) en el Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional), que contiene información del Uso del Suelo y Vegetación obtenida a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación con imágenes geomedianas de la constelación satelital Landsat seleccionadas con año base 2018; procesadas en Cubo de Datos Geográficos. Esta interpretación está apoyada con trabajos de campo. Son conjuntos de datos que contienen la ubicación, distribución y extensión de diferentes comunidades vegetales y usos agrícolas con sus respectivas variantes en tipos de vegetación, cultivos, e información ecológica relevante. Dicha información geográfica digital contiene datos estructurados en forma vectorial codificados de acuerdo con el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV para la Escala 1:250 000 aplicables a las diferentes unidades ecológicas (comunidades vegetales y usos antrópicos) contenidos en el conjunto de datos (INEGI, 2021). Para generar un mapa de representación de uso de suelo de Ciudad del Carmen, se realizó una identificación de los usos de suelo más predominantes como el tipo de selva, agricultura, asentamientos humanos, sin vegetación y manglares.
- **Densidad de población:** Dentro de los tabulados de población que ofrece el Instituto de Estadística y Geografía (INEGI), en el apartado de Densidad de Población por entidad federativa, serie de años censales de 1990 a 2020 (https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?px=Poblacion_07&bd=Poblacion) se consultó la densidad de población para nuestro caso de estudio (INEGI, 2020). En una siguiente actualización de estudio, se pretende cuantificar la tasa de crecimiento de la población en la región costera.
- **Desarrollo de infraestructura:** Se analizaron las Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA) que detallan las obras a realizar en la zona costera (SEMARNAT, 2022). Después de identificar las obras, se elaboró una base de datos para identificar los impactos potenciales, según se enumeran en las MIA, además de las modificaciones de los sitios costeros, la inversión requerida y los objetivos de las obras.
- Las variables asociadas con las tormentas y la evolución de la línea de costa se consideraron como las principales variables que inducirían la opresión costera en el área de estudio. El cambio climático y el aumento asociado del nivel medio del mar son otros factores importantes que afectan a las costas de todo el mundo. Sin embargo, en la zona de estudio, los factores que más impactaron la pérdida de ecosistemas parecían estar operando a corto plazo, como las tormentas y el desarrollo de infraestructura a lo largo de la costa (Ramírez *et al.*, 2019).

Resultados y discusión

De acuerdo con las variables identificadas y sus impactos en el área de estudio, se destacaron las formas en que estas diferentes variables podrían usarse para cuantificar la opresión costera como parte de los primeros pasos en la formulación de una metodología cuantitativa.

Las variables identificadas incluyeron procesos naturales como el transporte de sedimentos y la dirección del transporte de sedimentos, así como la distribución de la vegetación local. Sin embargo, las variables antropogénicas fueron las más representativas, incluyendo el desarrollo de nuevos asen-



tamientos, caminos e infraestructura, es decir los cambios que las variables naturales generan fueron aprovechados por las variables antrópicas para generar desarrollo de infraestructura y el crecimiento poblacional y así desencadenar el fenómeno de opresión costera en la zona de estudio. (figura 3).

Los resultados indicaron que los eventos de tormentas por año, que es un factor natural, es la variable con mayor influencia en la opresión costera. Mientras tanto, el cambio de uso del suelo es la

variable antropogénica más impactante. A continuación, se enumeran las variables identificadas y los datos a incluir en el modelo cuantitativo que se pretende generar en la siguiente actualización del fenómeno de opresión costera.

Las variables naturales más determinantes de la opresión costera son las siguientes:

- **Incremento del nivel del mar:** 8 cm para 2030, 13.5 cm para 2050 y 33 cm para 2100 (Fox-Kemper *et al.*, 2021).

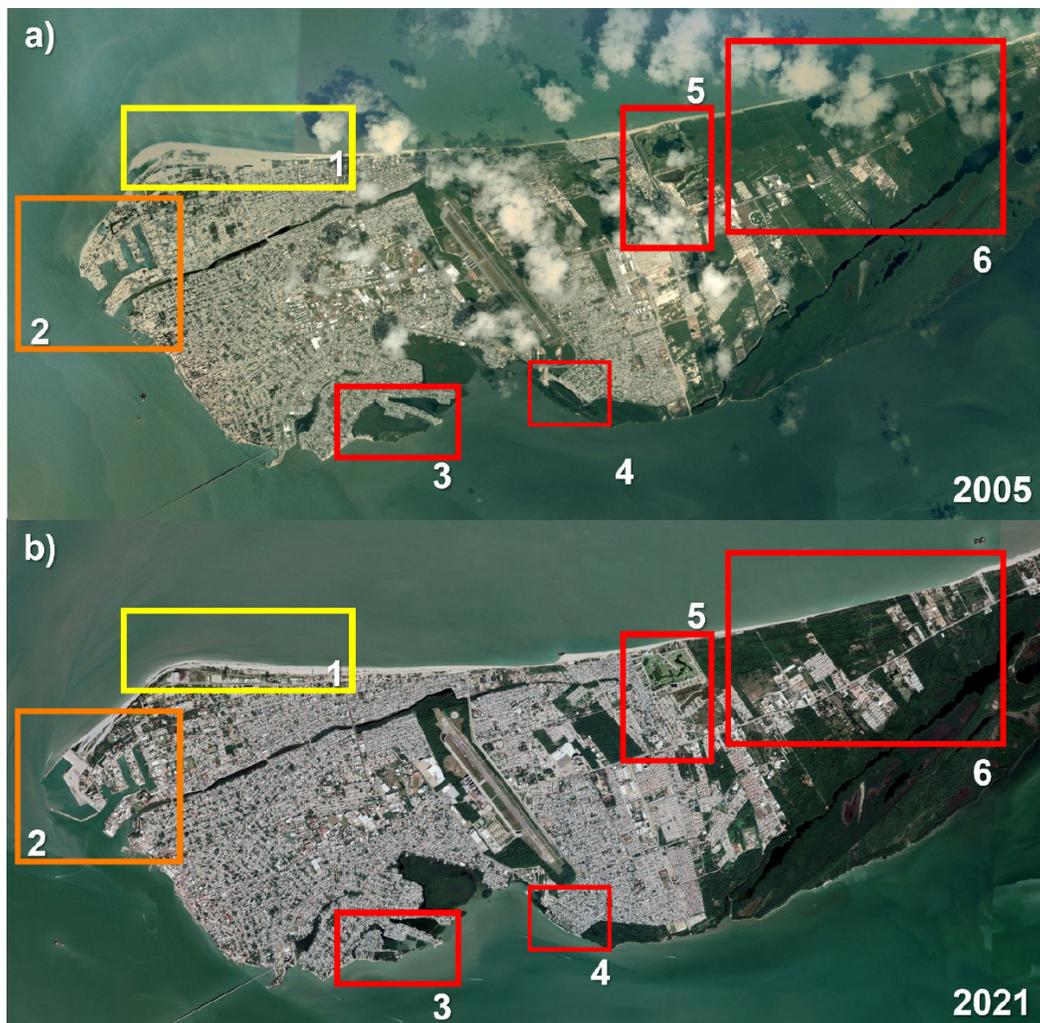


Figura 3. Cambios naturales y antrópicos en Ciudad del Carmen, Campeche que inducen opresión costera comparando a) año 2005 versus b) año 2021: 1. El transporte sedimentario modificado (dirección); 2. Desarrollo de infraestructura como el puerto pesquero de la ciudad; 3, 4 y 6. Desarrollo de asentamientos humanos sobre vegetación de selva o humedal, la mayoría de las veces sin un plan de ordenamiento territorial; 5. Terrenos destinados para recreación como restaurantes, campos de golf o playas de acceso privado.



- **Oleaje:** Altura de las olas entre 0.65 a 1.0 m y periodo de 7 a 10 segundos.
- **Frecuencia e intensidad de las tormentas:** Desde 1961, se producía una tormenta extraordinaria en la zona cada 7 años. Sin embargo, desde el paso del huracán Isidoro en 2002, ninguna tormenta adicional ha afectado la zona. Esto puede deberse a los fenómenos de El Niño y La Niña (figura 4).
- **Evolución de la línea de costa:** Los resultados sugieren que la mayor parte del área de estudio tiene playas estables con tasas que oscilan entre 20 y 40 m/año. Sin embargo, algunas playas mostraron evidencia de interrupción de la dinámica hidrosedimentaria (tabla 3).

De manera general, algunos de los desplazamientos hacia tierra (denotados como evolución) se deben a los efectos de la temporada estacional conocida como “nortes” que va de noviembre a febrero, por lo que el desplazamiento de la línea de

costa es cíclico y responde a las diferentes temporadas meteorológicas que ocurren en el estado de Campeche.

- Ciudad del Carmen presenta un retroceso de línea de costa de más de 100 m mientras que tiene un avance hacia mar de 80 m lo cual se puede observar en la figura 5 en el transecto 32.
- **Marea de tormenta:** En la figura 6 se presenta la caracterización de marea de tormenta para la parte norte de la Isla del Carmen en función del periodo de retorno, esta fue obtenida al simular numéricamente los huracanes que han pasado, al menos a 200 km de distancia del estado de Campeche, (Posada *et al.*, 2013).

Las variables antrópicas más determinantes de la opresión costera son las siguientes:

- **Cambio de uso de suelo:** Para la zona de Ciudad del Carmen se identificaron los usos de suelo del tipo selva, agricultura, asentamientos

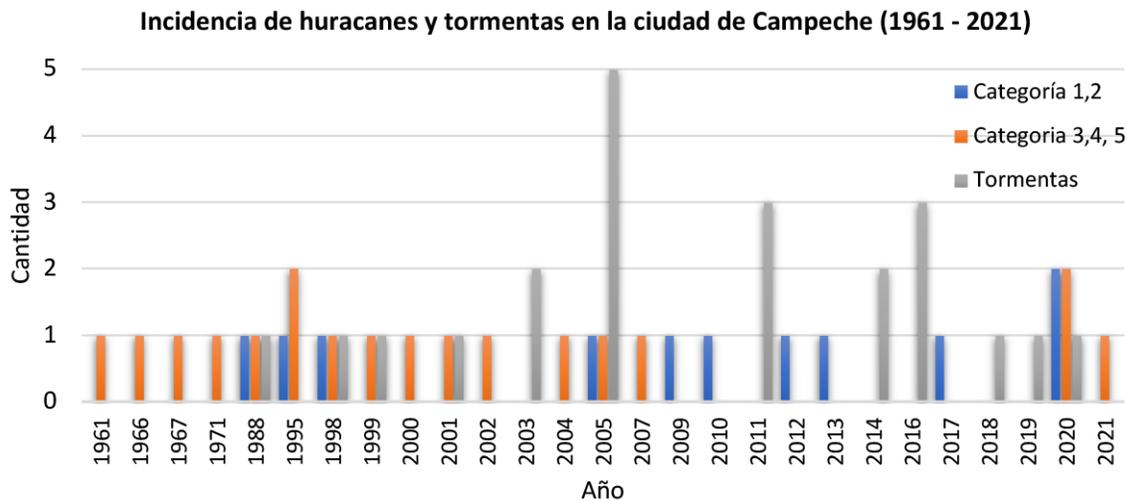


Figura 3. Incidencia de eventos extremos para la costa de Campeche.

Tabla 3. Evolución de la línea de costa de Ciudad del Carmen, Campeche, México..

Zona de Estudio	Evolución (-)	Evolución (+)	Tasa de evolución (m/año)
Ciudad del Carmen	-105.82	83.78	26.12

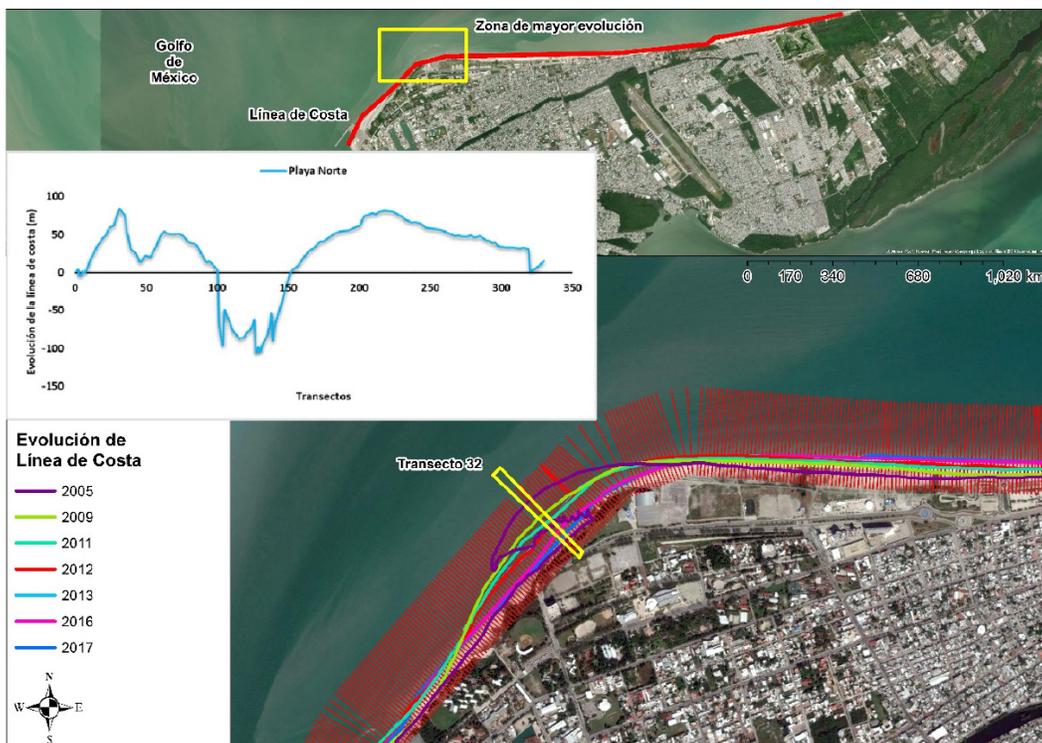


Figura 5. Evolución de la línea de costa en el período del 2005 al 2015 para Ciudad del Carmen, Campeche.

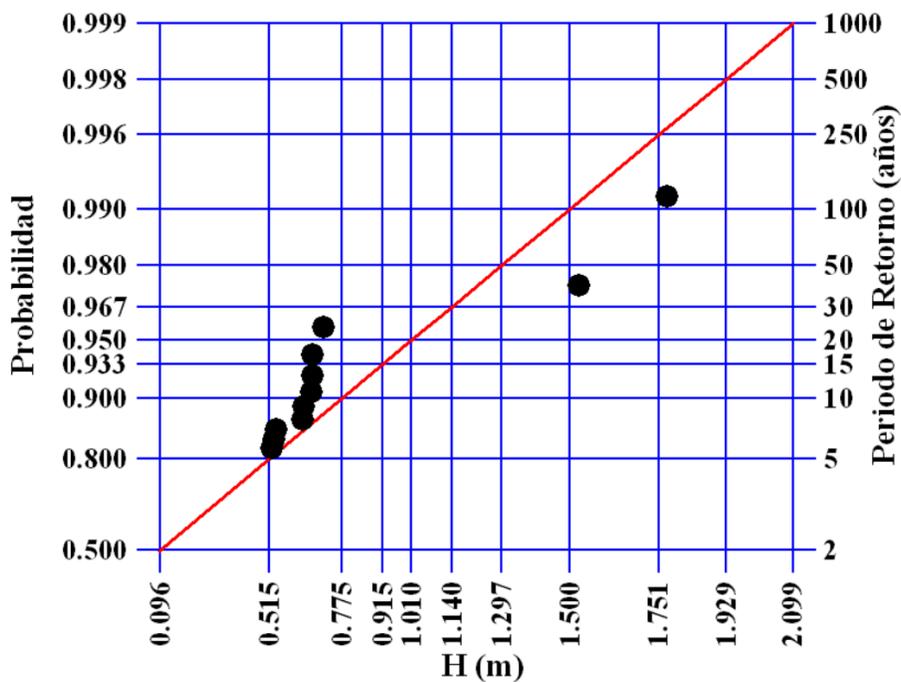


Figura 6. Caracterización de marea de tormenta para la parte norte de la isla del Carmen en función del periodo de retorno, Posada et al 2013.



humanos, sin vegetación y manglares (figura 7).

Los resultados indican un crecimiento para las zonas de asentamientos humanos (1997 con 140 ha al 2013 con 170 ha) y manglares (1997 con 56 ha hasta el 2013 con 88 ha) entre las 25 y 32 hectáreas. Este crecimiento se ve reflejado en la pérdida de hectáreas para la vegetación (1997 con 150 ha al

2013 con 121 ha) y para la agricultura (1997 con 107 ha al 2013 con 79 ha) en el periodo de 1997 al 2013 con aproximadamente 29 y 28 ha respectivamente (tabla 4) (figura 8). Lo anterior se ve reflejado en el crecimiento poblacional y por consiguiente la urbanización de la zona donde la agricultura y la selva han sido modificados por dicha acción.

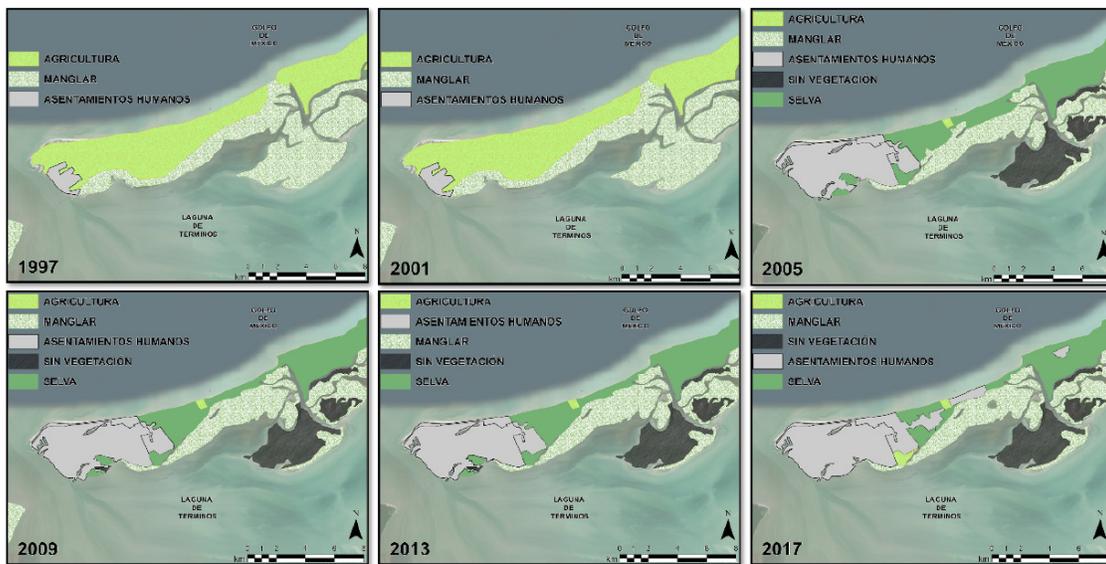


Figura 7. Descripción de los cambios de uso de suelo para Ciudad del Carmen para los años 1997, 2001, 2005, 2009, 2013 y 2017. Fuente: CONABIO (2017), elaboración propia..

Tabla 4. Cambio de uso de suelo en hectáreas y porcentaje para Ciudad del Carmen en el periodo de 1997 al 2017..

Año	Manglar	Agricultura	Asentamientos humanos	Selva	Sin vegetación	Total (Ha)	Manglar	Agricultura	Asentamientos humanos	Selva	Sin vegetación
1997	607.18	2172.686	270.59	0	0	3050.5	20 %	71 %	9 %	0 %	0 %
2001	252.95	0	1989.43	780.87	0	3023.2	8 %	0 %	66 %	26 %	0 %
2005	252.94	0	2368.364	401.97	0	3023.3	8 %	0 %	78 %	13 %	0 %
2009	252.94	0	2377.924	376.05	16.357	3023.3	8 %	0 %	79 %	12 %	1 %
2013	254.33	0	2377.452	373.69	16.357	3021.8	8 %	0 %	79 %	12 %	1 %
2016	225.16	84.407	2600.077	92.256	0	3001.9	8 %	3 %	87 %	3 %	0 %



CAMBIO DE USO DE SUELO DE CIUDAD DEL CARMEN (1997-2017)

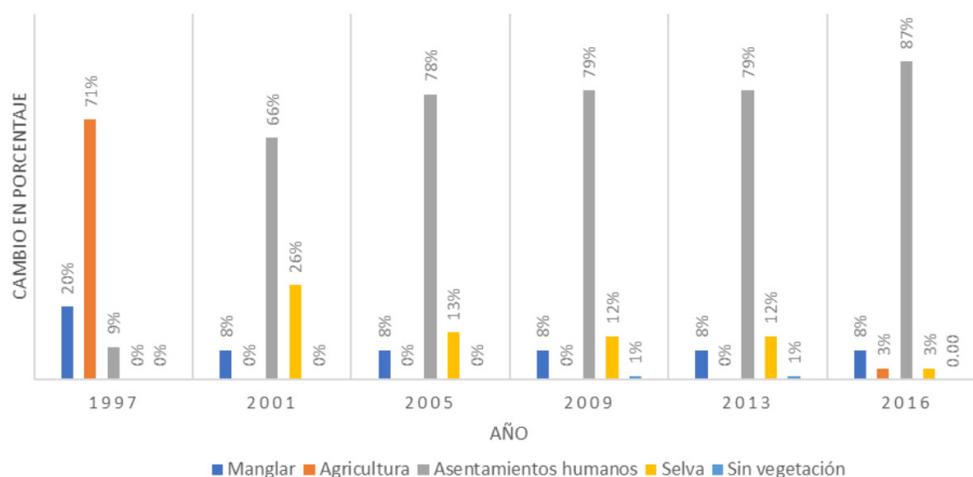


Figura 8. Representación gráfica del cambio de uso de suelo para Ciudad del Carmen en el período de 1997 al 2017.

- **Densidad de población:** La densidad de población para el estado de Campeche es de 16 hab/km² (INEGI, 2020).
- **Desarrollo de infraestructura:** Se identificaron 127 estructuras que impactan el medio ambiente, aunque es probable que la mayoría tengan un alto impacto e induzcan la opresión costera, incluidas las áreas de recreación (tabla 5).

La mayor amenaza que enfrenta el litoral es la opresión costera (Scheleuper, 2008; Defeo *et al.*, 2009; Silva, *et al.*, 2020). Las playas están sujetas al

aumento del nivel del mar, la erosión y el aumento de los desarrollos costeros. La reducción de las playas limita la migración de los ecosistemas costeros tierra adentro (Galbraith *et al.*, 2010; Dugan *et al.*, 2010), lo que contribuye a la degradación de los ecosistemas costeros y a la disminución de la provisión de servicios ecosistémicos, como la protección contra tormentas. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se sugiere utilizar métodos de lógica clásica (Ramírez *et al.*, 2019), multicriterio (Lithgow *et al.*, 2010) y sistemas de información geográfico (Himmelstoss *et*

Tabla 5. Descripción de infraestructura identificada en Ciudad del Carmen, Campeche, México.

Zona de estudio	Casas	Estructuras	Habitantes	Áreas de recreación (m ²)
Ciudad del Carmen	225	1 campo de beisbol	191 238	278 300
		1 puerto de embarcación		
		1 malecón		
		1 local para motos acuáticas		
		1 explanada social		
		40 palapas		
		82 estructuras comerciales		
		1 club deportivo		
		Total = 128		



al., 2021), para cuantificar el efecto que la opresión costera ejerce en la zona de estudio. Estas metodologías se pueden utilizar para determinar la magnitud de la opresión costera en un área determinada y proponer alternativas que preservarían tanto los ecosistemas costeros y las actividades económicas clave. Los beneficios concretos de la aplicación de metodologías diversas radican en su capacidad de aplicación en numerosas zonas costeras y en la implementación de un modelo matemático que posibilite desarrollar una predicción (Ramírez *et al.*, 2018).

Si los niveles del mar aumentan en ausencia de estructuras costeras, la zona intermareal puede moverse tierra adentro sin pérdida o reducciones perjudiciales de los hábitats en esta zona. Sin embargo, cuando existen obras de defensa costera, el movimiento hacia tierra de los ecosistemas es limitado. Por lo tanto, en combinación con el aumento del nivel del mar, los hábitats costeros se verían comprometidos. Un proceso continuo de opresión costera podría conducir potencialmente a la desaparición de los ecosistemas costeros (Black, 2006).

Los principales ecosistemas amenazados por la opresión costera son las dunas y los humedales. La desaparición de estos ecosistemas sería preocupante ya que brindan una amplia variedad de bienes y servicios ecosistémicos como la protección contra huracanes y espacios de reproducción y anidación de diferentes especies. Además de la opresión costera, los ecosistemas del litoral se degradan por numerosas causas naturales y antropogénicas, por ejemplo, la erosión, salinización, sequía, extracción de aguas subterráneas, contaminación por escorrentías agrícolas y urbanas, construcción de fronteras y represas (Torio, 2013).

Las playas y dunas costeras son ecosistemas dinámicos capaces de responder a diferentes factores, en donde las perturbaciones naturales forman parte de la dinámica de estos ecosistemas (Lithgow *et al.*, 2013; Bimal *et al.*, 2016). La capacidad de los ecosistemas costeros para resistir agentes externos de perturbación sin perder sus funciones actuales o potenciales (resistencia) dependerá de numero-

sos factores morfológicos, ecológicos y socioeconómicos (Reggiani *et al.*, 2015). Sin embargo, la presencia de infraestructura en la costa modifica la geomorfología y el funcionamiento costero y, por lo tanto, limita la capacidad de los ecosistemas asociados para responder a las perturbaciones (Pontee, 2013; Martínez *et al.*, 2014;).

La costa examinada de Ciudad del Carmen se encuentra en peligro por el desarrollo de infraestructura, cambios de uso de suelo y construcción de estructuras de protección, que provocan erosión y cambios en la dinámica de transporte de sedimentos. Las actividades futuras en el área de estudio determinarán si los ecosistemas locales se pierden o se conservan. Generar un protocolo para cuantificar la opresión costera es de suma importancia y representa un reto metodológico que implementaría herramientas útiles para los tomadores de decisiones y serviría para identificar las principales variables que influyen en la opresión costera en un sitio en particular. Los primeros pasos hacia la formación de una metodología cuantitativa se destacan en el presente estudio.

La identificación de las variables que inducen opresión costera es quizás uno de los pasos más importantes en la determinación y caracterización de este proceso ya que todas las zonas costeras son únicas en su dinámica hidrosedimentaria y procesos físicos que en ellas se desarrollan.

Dentro de las revisiones bibliográficas realizadas, se considera necesario la integración de otras variables como el fenómeno de la subducción que integra un análisis de las placas tectónicas y la dinámica costera. Otra variable identificada es la pesca, sin embargo, los temas que la conforman necesitan de mayor esfuerzo computacional y social por parte de los actores involucrados en este tema, por ello se sugiere la continuidad de este proyecto, ya que una mejor caracterización y descripción de las variables que inducen el fenómeno de opresión costera generará mejores soluciones y/o medias para el aprovechamiento ingenieril, ecológico, económico y social de las zonas costeras.



Conclusiones

El presente estudio identificó los elementos naturales y antropogénicos con el potencial de inducir opresión costera en el litoral de Ciudad del Carmen. La identificación de estas variables es un aspecto importante para implementar un modelo numérico eficiente para cuantificar los efectos de estas variables en la opresión costera. Este modelo permitiría a los planificadores y tomadores de decisiones a identificar áreas prioritarias para la conservación o amortiguamiento y también determinar

las variables más importantes que atender con el fin de reducir la presión costera en un sitio en particular.

Este estudio sugiere que el litoral examinado está atravesando un proceso de opresión costera como respuesta al incremento de infraestructura urbana. El desplazamiento estimado en la línea de costa atribuido a la opresión costera oscila entre los 190 metros de erosión y los 80 metros de acreción.

Agradecimientos

La primera autora agradece al CONACYT por la aprobación de la estancia Posdoctoral en la convocatoria “Estancias Posdoctorales Por México

Modalidad 1, Académica”. 2021-2022, la cual se desarrolla en el Instituto EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche.

Referencias

- Bimal, P., Harum, R., 2016. Climatic hazards in coastal Bangladesh: non-structural and structural solutions. *Butterworth-Heinemann*. ISBN 978-0-12-805276-1, <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00129-0>
- Black and Veatch, 2006. Coastal squeeze study, Issue 2. Report produced for the Environment Agency, 30pp + appendices.
- Brinson, M.M.; Christian, R.R.; Blum, L.K., 1995. Multiple States in the Sea-Level Induced Transition from Terrestrial Forest to Estuary. *Estuaries*, 1995, 18, 648–659, <https://doi.org/10.2307/1352383>
- CONABIO, 2017. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Registros de ejemplares, versión 2017-12 México. Disponible en: <https://www.snib.mx/ejemplares/docs/CONABIO-SNIB-Version-201712.pdf>
- CONABIO, 2022. Portal de Geoinformación, Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Defeo, O.; McLachlan, A.; Schoeman, D.S.; Schlacher, T.A.; Dugan, J.; Jones, A.; Lastra, M.; Scapini, F., 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2009, 81, 1–12, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.022>
- DEFRA, 2003- Guidance Note on Managed Realignment: Land Purchase, Compensation and Payment for Alternative Beneficial Land Use; DEFRA: London, UK, 2003.
- DEFRA, 2005. Coastal Squeeze Implications for Flood Management the Guidance. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/181444/coastalsqueeze.pdf
- Doody, J. P., 2004. ‘Coastal squeeze’—an historical perspective. *Journal of Coastal Conservation*, 10(1), 129-138, [https://doi.org/10.1652/1400-0350\(2004\)010\[0129:C-SAHP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1652/1400-0350(2004)010[0129:C-SAHP]2.0.CO;2)
- Doody, J. P., 2013., Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, does it tell us anything about the future?, *Ocean & Coastal Management*, 79, 34-41, ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.05.008>
- Dugan, J.E., Defeo, O., Jaramillo, E., Jones, A.R., Lastra, M., Nel, R., Peterson, C.H., Scapini, F., Schlacher, T., Schoeman, D.S., 2010. Give Beach Ecosystems Their Day in the Sun, *Science*, Vol 329, Issue 5996, Page 1146, <https://doi.org/10.1126/science.329.5996.1146-a>



- English Nature, 2003. Conservation of Dynamic Coasts: A Framework for Managing Natura 2000. Living with the Sea LIFE Project; 1857167430; English Nature: Peterborough, UK, 2003. <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/details/314#>
- English Nature, 2006. Coastal Squeeze, Saltmarsh Loss and Special Protection Areas; English Nature Research Report No. 710; Royal Haskoning for English Nature: Peterborough, UK, 2006; p. 55. <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/62014?category=47017>
- Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E.Kopp, G.Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, and Y. Yu., 2021. Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1211–1362, doi:10.1017/9781009157896.011., https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter09.pdf
- Fries, A., 2013. Integration and Application Network, University of Maryland Center for Environmental Science, <https://ian.umces.edu/media-library/coastal-wetlands-resilience-to-climate-change-comparison/>
- Galbraith, H., Jones, R., Park, R., Clough, J., Herrod-Julius, S., Harrington, B., & Page, G., 2002. Global Climate Change and Sea Level Rise: Potential Losses of Intertidal Habitat for Shorebirds. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, 25(2), 173–183. <http://www.jstor.org/stable/1522092>
- Himmelstoss, E.A., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., and Farris, A.S., 2021. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1091, Pag 104 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>
- Huerto Delgado, R., & Mariano Romero, C., 2017. Estudio del nivel del mar, erosión y subsidencia en la planicie costera sur del Golfo de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Proyecto HC1708.1, <http://hdl.handle.net/20.500.12013/2006>
- INEGI, 2020. Censo de Población y Vivienda (2020). Panorama sociodemográfico de Campeche: Censo de Población y Vivienda 2020: CPV / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. -- México: INEGI, c2021. 43 p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197759.pdf
- INEGI, 2021, Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000, <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Kuc, A.G, Posada, G., Vega, B.E., 2015, Evaluación Hidrodinámica en la Laguna de Términos, p 145-166. En: Ramos Miranda J., y G.J. Villalobos Zapata (editores). Aspectos socioambientales de la región de la laguna de Términos, Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. 210 p. ISBN 978-607-8444-12-0. <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/Aspectos%20Socioambientales%20de%20la%20Regio%CC%81n%20de%20la%20Laguna%20de%20Te%CC%81rminos%20.pdf&tipo=paginas>
- Lithgow, D., Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J. B., Silva, R., & Ramírez-Vargas, D. L., 2019. Exploring the co-occurrence between coastal squeeze and coastal tourism in a changing climate and its consequences, *Tourism Management*, 74, 43-54, ISSN 0261-5177, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261517719300342>
- Lithgow, D., Martínez, M.L., Gallego-Fernández, J.B., Hesp, P.A., Flores, P., Gachuz, S., Rodríguez-Revelo, N., Jiménez-Orocio, O., Mendoza-González, G., Álvarez-Molina, L.L., 2013. Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*, Vol 199, Pag 214-224, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.007>
- Martin, K.L., 2014. Coastal squeeze: New threats to beach-spawning fishes and their critical habitats. In *Beach-Spawning Fishes: Reproduction in an Endangered Ecosystem*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014; pp. 157–174. ISBN 9780429188541, <https://doi.org/10.1201/b17410>
- Martínez, M.L.; Mendoza-González, G., Silva, R.; Mendoza, E., 2014. Land use changes and sea level rise may induce a “coastal squeeze” on the coasts of Veracruz, Mexico. *Glob. Environ. Chang.* 29, 180–188, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.09.009>
- Nava-Fuentes, C.J., Arenas-Granados, P., and Cardoso-Martins, F., 2018. Integrated coastal management in Campeche, Mexico; a review after the Mexican marine and coastal national policy, *Ocean & Coastal Management*, 154, 34–45, ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.12.029>
- NOAA, 2011. National Hurricane Center, Monthly Weather Review - Annual Summaries of North Atlantic Storms, 1872-2011. <https://www.aoml.noaa.gov/general/lib/lib1/nhclib/mwreviews.html>
- Ortiz Pérez, M.A, & Méndez Linares, A P., 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín* 39, 68-81. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n39/n39a5.pdf>
- Padilla y Sotelo, L.S., Martínez, A., Kumar, A., 2015. Dinámica Territorial de Isla del Carmen, Campeche, A Partir de imágenes Landsat 1984-2000. *Acta Geográfica*, 9(20), 109-125, ISSN 1980-5772, eISSN 2177-4307, <https://revista.ufr.br/actageo/article/view/2315/1762>
- Padilla y Sotelo, S., y García de León Loza, A., 2015. Isla, ciudad y puerto del Carmen: ¿Caso de desarrollo o ejemplo de dependencia económica? en: Pasado, presente y futuro de las regiones en México y su estudio. Asocia-



- ción Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C., México. ISBN AMECIDER: 978-607-96649-1-6 UNAM-IIEc: 978-607-02-7436-7, <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/2925>
- Pontee, N., 2011. Reappraising coastal squeeze: A case study from north-west England. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Maritime Engineering; Thomas Telford Ltd.: London, UK; Volume 164, pp. 127–138, <https://doi.org/10.1680/maen.2011.164.3.127>
- Pontee, N., 2013. Defining coastal squeeze: A discussion, *Ocean & Coastal Management*, 84, 204–207, ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.010>
- Posada, G., Vega, B.E, Silva, R. eds., 2013. Peligros Naturales en el Estado de Campeche: Cuantificación y Protección Civil. Secretaría de Gobernación, Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche. 202 p., ISBN 978-607-7887-53-9. <http://www.seprocam.gob.mx/descargas/Peligros%20Naturales%20en%20el%20Estado%20de%20Campeche.pdf>
- Ramírez-Vargas, D. L., Mendoza, E., Lithgow, D., Silva, R., 2018. Comparación de Variables que Inducen Opresión Costera con Respecto a su Intensidad y Duración, Caso de Estudio: Playa Norte, Campeche, México. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina, septiembre, ISBN 978-897-45194-7-4.
- Ramírez-Vargas, D. L., Mendoza, E., Lithgow, D., Silva, R., 2019. A Quantitative Methodology for Evaluating Coastal Squeeze Based on a Fuzzy Logic Approach: Case Study of Campeche, Mexico., *Journal of Coastal Research*, 92(sp1), 101-111, <https://doi.org/10.2112/SI92-012.1>
- Reggiani, A., Nijkamp, P., Lanzi, D., 2015. Transport resilience and vulnerability: The role of connectivity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 4-15, ISSN 0965-8564, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.12.012>
- Ruiz, G., Mendoza, E., Silva, R., Posada, G., Pérez, D., Rivas, G., Escalante, E., Ruíz, F., 2009. Caracterización del régimen de oleaje y viento de 1948-2007 en el litoral mexicano, *Revista de Ingeniería del Agua*, España, 2008. 16(1). ISSN 1886-4996, <https://doi.org/10.4995/ia.2009.2944>
- Schleupner, C., 2008. Evaluation of coastal squeeze and its consequences for the Caribbean Island Martinique. *Ocean & Coastal Management*, Vol 51, Issue 5, Pag 383-390. ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.01.008>
- SEMARNAT, 2022. en el apartado de Consulta de Trámites, <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/consultatramite/inicio.php>
- Silva, R.; Chávez, V.; Bouma, T.J.; Van Tussenbroek, B.I.; Arkenema, K.K.; Martínez, M.L.; Oumeraci, H.; Heymans, J.J.; Osorio, A.F.; Mendoza, E.; Mancuso, M., Asmus, M., Pereira, P., 2019. The incorporation of biophysical and social components in coastal management. *Estuaries Coasts*, 42, 1695–1708, <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00559-5>
- Silva, R.; Martínez, M.L., van Tussenbroek, B.I., Guzmán-Rodríguez, L.O., Mendoza, E., López-Portillo, J., 2020. A Framework to Manage Coastal Squeeze. *Sustainability*, 12, 10610. <https://doi.org/10.3390/su122410610>
- Soulsby, R.L.; Sutherland, J.; Brampton, A.H., 1999. Coastal Steepening—The UK View; Report TR 91; HRWallingfordLtd.: Wallingford, UK, <http://eprints.hrwallingford.com/id/eprint/437>
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A., 2017. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0- An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>
- Torio, D.D., Chmura, G.L., 2013. Assessing Coastal Squeeze of Tidal Wetlands. *Journal of Coastal Research*, 29(5), 1049-1061.8, <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00162.1>
- Villalobos-Zapata, G.J. y Mendoza Vega, J (Coords), 2010. La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. ISBN 978-607-7887-21-8, <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/La%20Biodiversidad%20en%20Campeche.%20Estudio%20de%20Caso.pdf&tipo=paginas>
- Yáñez-Arancibia, Alejandro, Day, John W., Twilley, Robert R., & Day, Richard H., 2014. Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y Bosques*, 20, 39-75, ISSN 2448-7597
- Zavala-Hidalgo, J., de Buen Kalman, R. Romero-Centeno, R. Hernández Maguey F., 2011. Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas, p. 315-334. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático (segunda edición). Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche. 754 p, ISBN 978-607-606-416-0



Peña-Puch, A.C., Rivera-Arriaga, E., Memije Canepa, M.C., Dzul de la Cruz, Z.D., 2022. El desarrollo de la pesca ribereña y el turismo comunitario en un área natural protegida: una revisión cualitativa del sistema socio-ecológico de Isla Arena, Campeche 2003-2021. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 4(1): 23-40. doi 10.26359/52462.0222



El desarrollo de la pesca ribereña y el turismo comunitario en un área natural protegida: una revisión cualitativa del sistema socio-ecológico de Isla Arena, Campeche 2003-2021

The development of small scale fishery and community tourism in a protected natural area: a qualitative review of socio-ecological system from Isla Arena, Campeche 2003-2021

Angelina del Carmen Peña-Puch^{1}, Evelia Rivera-Arriaga¹,
Martin G. Memije Canepa¹ y Zulma D. Dzul De La Cruz²*

¹Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche. San Francisco de Campeche, Campeche, México.

²Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Campeche
Universidad Autónoma de Campeche. San Francisco de Campeche, Campeche, México.

* autor de correspondencia: angcpena@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0222

Recibido 22/abril/2022. Aceptado 35/julio/2022

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Edgar Mendoza Franco

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



Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en la comunidad de Isla Arena (IA), se considera como una comunidad de alto aislamiento que forma parte de un área natural protegida, este sitio presenta gran actividad pesquera y turística, lo que representa un lugar de gran importancia para estudios de investigación. el objetivo de la presente investigación fue describir el aporte ambiental y social de las investigaciones científicas en IA, a través de la revisión de la literatura sobre el manejo de la pesca, el turismo y la conservación de 2003 a 2021. En este periodo se publicó para esta región artículos y capítulos de libro (n=51) y tesis (n=9). El 70.6 % de las publicaciones de literatura especializada (artículos y capítulos de libro) fue entre 2014 y 2021, La mayor parte de esta literatura se concentra en temas sociales y ambientales (44.7 %), y solo de temas ambientales (42.1 %). Se identificaron 25 instituciones que a través de los autores colaboraron en el estudio del Sistema socioecológico costero, la mayoría son instituciones de educación superior (IES) (n=9) y centros de investigación (CI) (n=7) públicos de México. Por otro lado, que la participación de los trabajos de investigación de Tesis el 66.7 % son tesis de nivel maestría, 22.2 % de nivel doctorado, todas las tesis abarcan temas de la dimensión ambiental y social. Al igual que la literatura especializada, la mayoría se realizaron en IES y CI públicos nacionales (n=8). La mayor parte de los hallazgos en la línea del tiempo son sobre la pesca ribereña (59 %) y el turismo comunitario (27 %). Los investigadores han hecho énfasis en los temas como: la pesca ilegal, las pesquerías de pepino de mar y pulpo, así como de la actividad de turismo y conservación que realizan las cooperativas de la comunidad.

Palabras clave: sistemas socioambientales, comunidades costeras, Área natural protegida.

Abstract

The present research work focuses on the community of Isla Arena (IA), it is considered as a community of high isolation that is part of a natural protected area, this site presents great fishing and tourism activities, which represents a place of great importance for research studies. the objective of this research was to describe the environmental and social contribution of scientific research in IA, through the review of the literature on fisheries management, tourism, and conservation from 2003 to 2021. In this period, articles, and book chapters (n=51) and theses (n=9) were published for this region. 70.6% of specialized literature publications (articles and book chapters) were between 2014 and 2021, most of this literature concentrates on social and environmental issues (44.7%), and only on environmental issues (42.1%). We identified 25 institutions that through the authors collaborated in the study of the coastal socio-ecological system, most of them are higher education institutions (IES) (n = 9) and public research centers (CI) (n = 7) in Mexico. On the other hand, that the participation of the research works of Thesis 66.7% are theses of master's level, 22.2% of doctoral level, all the theses cover topics of the environmental and social dimension. Like the specialized literature, most were conducted in national public IES and IA (n=8). Most of the findings on the timeline are about riparian fishing (59%) and community tourism (27%). The researchers have emphasized issues such as: illegal fishing, sea cucumber and octopus fisheries, as well as the tourism and conservation activity carried out by the cooperatives of the community.

Keywords: socio-environmental systems, coastal communities, protected natural area.



Introducción

En la zona costera del sur de México, los sistemas arrecifales, las dunas costeras, los manglares y los humedales costeros son cruciales para el desarrollo de pesca y turismo. El turismo no generaría la misma derrama económica sin paisajes costeros limpios y conservados y sin la disponibilidad de alimentos elaborados con pescados y mariscos locales (Ávila Foucat y Espejel, 2020). El turismo y ciertas pesquerías (sin regulaciones adecuadas) pueden generar estresores socioeconómicos (desigualdad, aculturación, violencia y crimen) y ambientales (cambio de uso del suelo) mayores que, los beneficios por el desarrollo de los centros económicos en la zona costera (Murray, 2007; Pelling, 2003). Al presentarse grandes dificultades en la comprensión de los umbrales sociales y ecológicos, el reto para la gobernanza de los sistemas es incorporar estas complejidades en la toma de decisiones (Espinoza-Tenorio et al., 2020).

Desde hace ochenta años la localidad de Isla Arena (IA) fue declarada asentamiento humano por el entonces presidente el general Manuel Ávila Camacho (Pinkus Rendón, 2017). Los habitantes locales no fueron consultados cuando se declaró Refugio a la vida silvestre (1979), Sitio RAMSAR como Humedal de Importancia Internacional (2003), ni en 2004 cuando fue reclasificado como la reserva de la biosfera de Celestún (RBRC) (García-Frapolli et al., 2009). Las áreas naturales protegidas (ANP) de humedales con manglar, como la RBRC y la reserva de la biosfera los Petenes (RBLP), conforman un corredor biológico, en donde la localidad de IA queda con alto aislamiento, ya que, se encuentra a 74 km de la cabecera municipal de Calkiní. IA es una localidad rural pesquera con gran dependencia de las pesquerías ribereñas, son la única salida al mar del

municipio de Calkiní. Durante la temporada de la pesquería de pulpo (*Octopus maya*) recibe trabajadores de otras localidades de Yucatán y Campeche (del 1 ago. al 15 dic.) (Peña-Puch et al., 2021).

En 1997 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) fomentó el desarrollo de instalaciones turísticas y de cría de animales (Doyon y Sabinot, 2014). Sin embargo, no fue hasta que en 1999 se inauguró el puente que facilitó las conexiones con la comunidad y, por tanto, dinamizó las actividades económicas que comenzaron a tener mayor importancia (González-Iturbe et al., 2010; Pinkus Rendón, 2017). Entre 2001 y 2002 se registraron graves conflictos sociales y políticos en el sector pesquero por el uso, acceso y regulación de la pesquería del pulpo y del camarón de estero (García-Frapolli et al., 2009; Sardon y Faust, 2006; Villalobos Zapata, 2004). Para tratar de disminuir estos conflictos la comisión nacional de áreas protegidas (CONANP) invirtió recursos financieros y técnicos, con apoyo de organizaciones de la sociedad civil (OSC) como Pronatura y DUMAC, A.C y centros de investigación CINVESTAV-Mérida y CICY (Villalobos Zapata, 2004). Recientemente, el turismo comunitario en esta región se ha convertido en una actividad que complementa o sustituye los ingresos por pesca. Sin embargo, los problemas en la gobernanza por el uso intensificado de los recursos ponen en riesgo a estas sociedades y a los ecosistemas. Por tanto, a través de la revisión de los avances de la literatura científica sobre el manejo de la pesca, el turismo y la conservación de IA de 2003 a 2021, el objetivo de la presente investigación fue describir el aporte ambiental y social de las investigaciones científicas en IA.



Materiales y métodos

La zona de estudio IA se encuentra 90°27'08.853" W de longitud, 20°41'25.798" N de latitud. La población tuvo un rápido crecimiento del 57.9 % entre 1990 y 2020, la población total es de 968 personas, el 52 % son hombres y el 57.3 % son personas económicamente activas y ocupadas. Además, las personas de la comunidad que no saben leer y escribir pasaron a ser 87 en 1990, a solo 36 en la actualidad (DOF, 2002). El 89 % de la población está afiliada a servicios médicos en alguna institución de salud pública o privada. La localidad tiene 349 viviendas particulares, de las cuales el 21%, se usa de forma temporal o se encuentra deshabitado (INEGI, 2020).

A través de una búsqueda en las bases de datos de Google Académico, se identificó la literatura científica de todos los campos de estudio que han trabajado en la comunidad de Isla Arena (estado

de Campeche) y sus recursos naturales en cualquier momento se obtuvieron 328 resultados, sin embargo, después de aplicar los criterios de descarte se seleccionaron 60 publicaciones (figura 1). Los temas abordados se clasificaron por artículo científico, capítulo de libro y tesis (nivel Licenciatura, Maestría y Doctorado). Además, la literatura fue agrupada por año y por temática especializada en Dimensión ambiental (ANP, pesquerías de pequeña escala, biodiversidad y conservación y zona costera) y Dimensión social (turismo comunitario, género, gobernanza y política pública, cultura y pescadores ribereños). Además, se identificaron las adscripciones de los investigadores que trabajaron en dicha comunidad. Finalmente, se establecieron líneas del tiempo con los hechos relevantes que acontecieron en la comunidad.

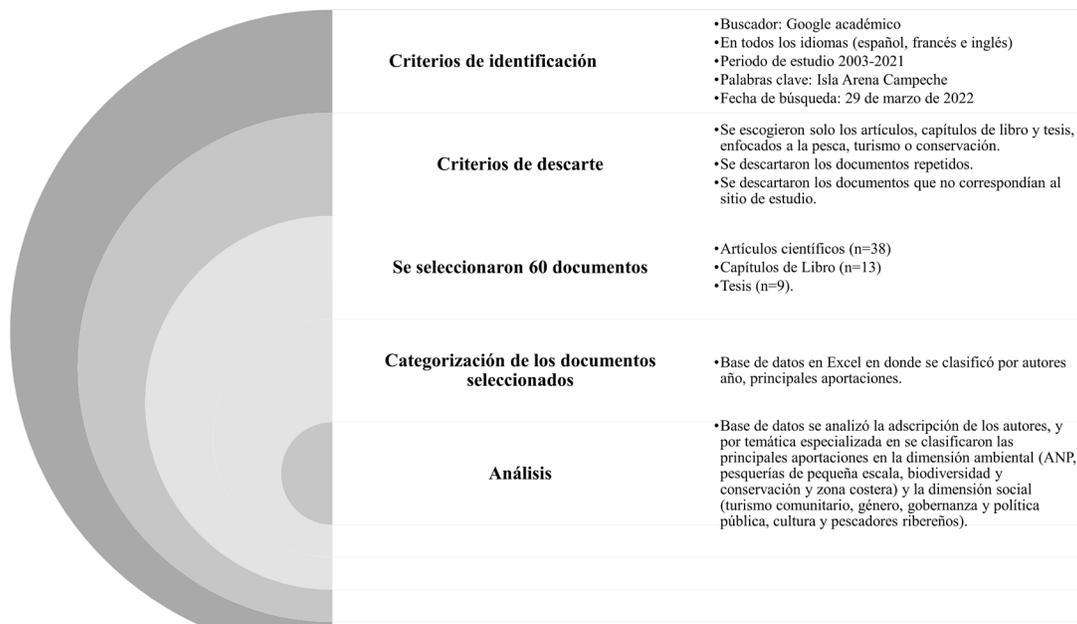


Figura 1. Análisis metodológico para la revisión de estudios literatura científica sobre pesca, turismo y conservación de IA.



Resultados

En el período 2003 a 2021, la localidad de IA fue objeto de estudio de gran diversidad de temas sociales y ambientales, conformada por literatura especializada (artículos y capítulos de libro) (n=51) y tesis (n=9).

Literatura especializada (artículos y capítulos de libro)

Se generaron artículos científicos (n=38) y capítulos de libro (n=13), que se publicó una media de 3 documentos por año y no hubo publicaciones en 2007 y 2013. Solo se encontraron 3 publicaciones que trabajaron pesca y turismo de forma simultánea (Anexo 1). La mayoría de los capítulos de libro (n=8) se publicaron entre 2004 y 2014, y la mayor concentración de artículos científicos (n=25) fue en 2015-2021. El 70.6 % de las publicaciones de literatura especializada (n=36) fue en 2014 y 2021. El año con mayor número de artículos y capítulos de libro fue el 2017 (n=9) (figura 2).

Asimismo, la literatura especializada en la dimensión ambiental tiene mayor frecuencia en el año 2011 (n=3) y literatura especializada en la dimensión social y ambiental en el año 2017 (n=7). La mayor parte de la literatura se concentra en

temas sociales y ambientales 44.7 %, seguido del 42.1% de temas ambientales y solo el 13.2% en temas sociales (figura 3). Los temas con mayor frecuencia son ANP y servicios ecosistémicos-turismo comunitario y ecoturismo (n=9), biodiversidad y conservación-contaminantes y salud (n=6), ANP y servicios ecosistémicos-gobernanza y política pública (n=5), biodiversidad y conservación (n=4) y pesquerías de pequeña escala-turismo comunitario y ecoturismo (n=3) (Anexo 1).

También se identificaron las adscripciones de los investigadores que trabajaron en IA estas son 25 instituciones, el 64 % de las instituciones son instituciones de educación superior (IES) (n=9) y centros de investigación (CI) (n=7) públicos de México. El 86 % los autores provienen de estas universidades y CI. La mayor parte se concentra en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) con 26 autores de artículos, seguidamente la Universidad Nacional Autónoma de Campeche (UAC) y la Universidad Autónoma de México (UNAM) con autores en 14 artículos y 4 capítulos en libros respectivamente, así también, la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) presentó autores en 15 artículos y 2 en capítulo de libro (tabla 1).

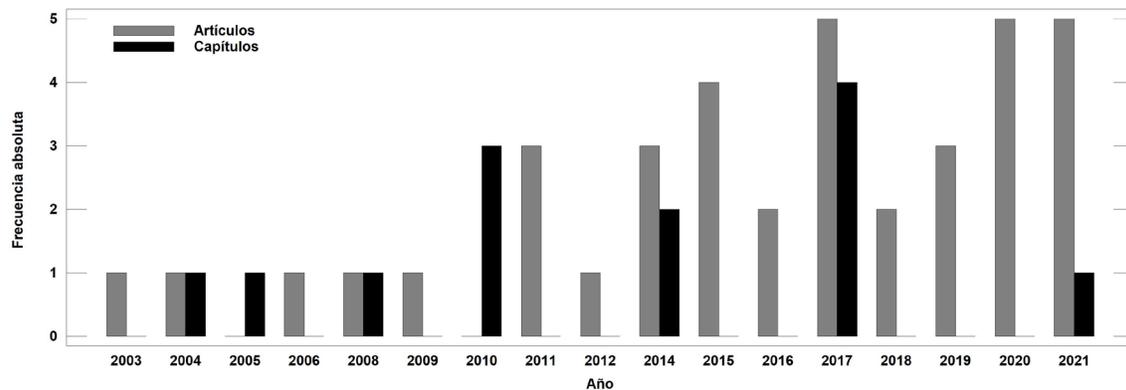


Figura 2. Literatura científica con objeto de estudio la comunidad de Isla Arena y sus recursos naturales, en el período 2003 a 2021.

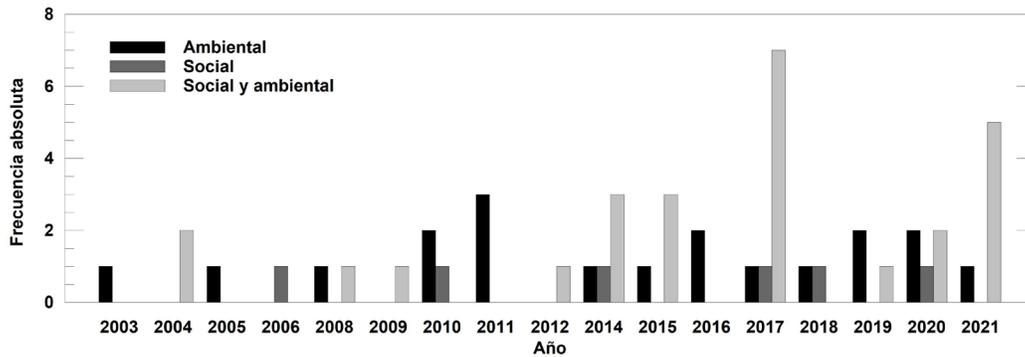


Figura 3. La literatura especializada en dimensión ambiental, social y la dimensión social y ambiental de Isla Arena en 2003-2021.

Tesis sobre IA

Adicionalmente, en IA entre 2005-2020 se identificaron 9 Tesis, donde el 66.7 % son tesis de nivel maestría, 22.2 % de nivel doctorado y el 11.1 % restante de licenciatura. Además, que la mayoría (n=6) se realizaron en ECOSUR, una en la Universidad Veracruzana (Licenciatura), una en el CINVESTAV-Mérida (Maestría) y una en Université Laval (Maestría). La mayoría de las tesis se realizaron en IES y CI nacionales (n=8). Todas las tesis abarcan temas de la dimensión ambiental y social (tabla 2).

Línea del tiempo de la pesca, turismo y conservación en IA

Con la revisión de literatura especializada y tesis de 28 documentos, se identificó 22 hallazgos im-

portantes en la línea de tiempo entre 2005 a 2021 (excepto 2007 y 2013). La mayor parte de los hallazgos se registró en la pesca ribereña (59 %) y el turismo comunitario (27 %). La pesca ilegal ha existido en todo este periodo, sin embargo, entre 2018-2021 los investigadores lo han remarcado en ocho de publicaciones científicas. Las pesquerías de pepino de mar (n=3) y pulpo (n=2) son las que más han influido al sector pesquero. El turismo y conservación está marcado principalmente por el trabajo de la cooperativa Wotoch Aayin (n=3) (figura 4).

Discusión

Los sistemas socio-ecológicos (SSE) son sistemas complejos, que se componen de subsistemas (sistema de gobernanza, usuarios, unidad de recursos y sistema de recursos), y múltiples variables humano-ambientales (Ostrom, 2007; 2009). Generalmente tienen objetivos de manejo poco definidos y diferentes perspectivas entre los usuarios (Pahl-Wostl, 2007). En los SSE costeros, las condiciones

naturales permiten de varias actividades humanas simultáneamente (Espinoza-Tenorio *et al.*, 2014).

IA es un SSE costero está en la zona de amortiguamiento de la RBRC, por lo que la política pública ambiental ha restringido las actividades económicas que estén relacionadas con uso de fuego (quemadas controladas) o que impidan el paso de la fauna silvestre, como la agricultura, la ganadería, el apro-



Tabla 1. Adscripciones de los investigadores que publicaron artículos y capítulos de libro de Isla Arena en 2003-2021. Instituciones de educación superior (IES) (n=9) y centros de investigación (CI) y organizaciones de la sociedad civil (OSC).

Instituciones		Tipo	Distribución de autores
El Colegio de la Frontera Sur	ECOSUR (Campeche, San Cristóbal y Chetumal)	CI	16.7 %
Universidad Autónoma de Campeche	UAC	IES pública	11.5 %
Universidad Autónoma Nacional de México	UNAM (Sisal, Mérida, Ciudad de México y Morelia)	IES pública	11.5 %
Universidad Autónoma de Yucatán	UADY	IES pública	10.9 %
Instituto Politécnico Nacional	IPN (Yucatán, Oaxaca, Cd. de México y Sinaloa)	CI	8.3 %
Instituto Nacional de la Pesca	INAPESCA	CI	7.7 %
Centro de Investigación Científica de Yucatán	CICY Mérida	CI	5.8 %
Pronatura México		OSC	3.8 %
Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas	COLPOS (Texcoco y Veracruz)	CI	2.6%
Universidades de Canadá	Université Laval-Institut de recherche pour le Développement	IES extranjeras	2.6 %
Universidad Veracruzana	Universidad Veracruzana	IES pública	2.6 %
Universidad Marista	Mérida	IES privada	2.6 %
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní	ITESCAM-Calkiní	IES pública	2.6 %
Universidades de EU	Environmental Institute, Syracuse, NY, University of Florida and Kansas	IES extranjeras	1.9 %
Instituto de Ecología A. C.	INECOL	CI	1.3 %
Universidad Autónoma Metropolitana	UAM	IES pública	1.3 %
Instituto Tecnológico de Boca del Río	Veracruz	IES pública	1.3 %
Universidad de Puerto Rico	Interamerican University of Puerto Rico	IES extranjeras	0.6 %
Universidad de Arabia Saudita	King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran	IES extranjeras	0.6 %
Ducks Unlimited de México		OSC	0.6 %
Gobierno del Estado de Yucatán		Gobierno	0.6 %
Universidad Autónoma del Edo de Hidalgo	UAEH	IES pública	0.6 %
Corredor Biológico Mesoamericano		CI	0.6 %
Instituto Tecnológico de Mérida	ITM	IES pública	0.6 %
Universidad de Portugal	University of Algarve, Portugal	IES extranjeras	0.6 %

vechamiento forestal y la extracción de agua (DOF, 2002). Sin embargo, para disminuir los conflictos con sus habitantes, las instituciones gubernamentales estatales y federales, fomentaron el desarrollo de actividades productivas (Ávila López, 2020), como son la pesca ribereña, el turismo comunitario-ecoturismo y actividades de conservación.

Literatura especializada

Por lo anterior, IA ha sido de gran interés para la comunidad científica, quienes han generado productos como artículos y capítulos de libro. Mas de la mitad de la literatura se concentra en artículos científicos, éstos se han incrementado entre 2015 y 2021. La media es de tres documentos por año, sin



Tabla 2. Tesis publicadas sobre pesca, turismo y conservación en Isla Arena 2005-2020.

Núm.	Autores	Año	Dimensión ambiental			Dimensión social			Institución
			ANP	Pesquerías de pequeña escala	Biodiversidad y conservación	Turismo comunitario	Género	Gobernanza y política pública	
1	Méndez Cabrera Fátima	2005L			X		X		Universidad Veracruzana
2	Robles de Benito Rafael	2005M	X		X		X		Cinvestav-IPN Mérida
3	Trillanes Flores Carlos Eduardo	2013M			X			X	ECOSUR
4	Carignan, Maude	2014M	X				X		Université Laval
5	Hernández Félix Lourdes Karime	2015M		X			X	X	ECOSUR
6	Illescas Nuñez Jimena	2016M			X		X		ECOSUR
7	Uc Espadas Martha Concepción	2017D		X			X	X	ECOSUR
8	Toriz Bonfiglio Luis Enrique	2019M	X			X	X		ECOSUR
9	Peña Puch Angelina del Carmen	2020D		X				X	ECOSUR

(L) Licenciatura; (M) Maestría; (D) Doctorado.

embargo, en 2017 se publicó el mayor número de artículos y capítulos de libro, esto fue propiciado por la publicación de un libro financiado mediante el Fondo Sectorial de Investigación para la Educación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (Pinkus Rendón, 2017).

La mayoría de la literatura especializada se concentra en temas sociales y ambientales (por ejemplo, ANP y servicios ecosistémicos-turismo comunitario y ecoturismo; ANP y servicios ecosistémicos-gobernanza y política pública; y pesquerías de pequeña escala-turismo comunitario y ecoturismo) y solo en temas ambientales (como biodiversidad y conservación; y biodiversidad y conservación-contaminantes y salud). Al estar en una de las regiones con los humedales en mejor estado de la península de Yucatán (Hernández-Félix *et al.*, 2017) pero con frecuentes conflictos sociales por las prácticas de conservación restrictivas de la CONANP (García-Frapolli *et al.*, 2009), IA ha sido estudiada ampliamente por estos fenómenos socioambientales.

Se encontró que la mayor parte de la literatura especializada sobre IA, proviene de investigadores adscritos a IES y CI públicos mexicanos. Las instituciones que tienen más de la mitad de los autores son ECOSUR, UAC, UNAM y UADY, muchos de ellos han escrito sobre IA en más de una ocasión.

Tesis sobre IA

Dos terceras partes de las tesis que se publicaron entre 2005-2020 son de nivel maestría. Además, la gran mayoría provienen de ECOSUR, este CI cuenta con posgrados a nivel maestría y doctorado, y un Sistema de Información Bibliotecario <https://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/>), en donde se actualizan constantemente el catálogo de tesis de sus graduados.

La pesca en IA 2005 a 2021

La mayor parte de los hallazgos de la línea de tiempo se registró en la actividad de pesca ribereña. La pesquería de pulpo es de gran importancia eco-

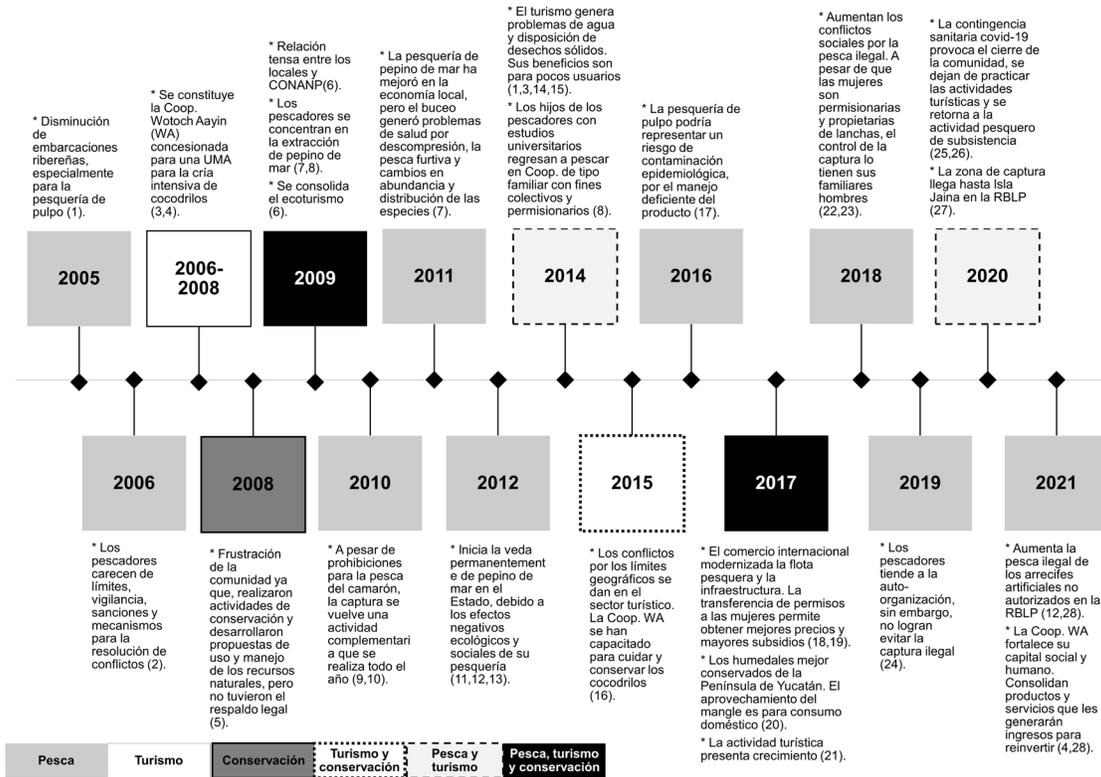


Figura 4. Línea de tiempo de la pesca, el turismo y la conservación en Isla Arena de 2005 a 2021. (1) Rosales Raya (2014); (2) Álvarez Icaza Longoria (2006); (3) Doyon y Sabinot, (2014); (4) Toriz Bonfiglio *et al.* (2021); (5) Fraga y Jesus (2008); (6) García-Frapolli *et al.* (2009); (7) Espinoza-Tenorio *et al.* (2012); (8) Gutiérrez Pérez (2014); (9) Fraga, 2010); (10) Wakida-Kusunoki *et al.* (2016); (11) Poot-Salazar *et al.* (2015); (12) Neger y Crespo Guerrero (2021); (13) Peña-Puch *et al.* (2021); (14) Villalobos Zapata (2014); (15) Carignan (2014); (16) Pinkus-Rendón y Pinkus-Rendón (2015); (17) (Estrella-Gómez *et al.* 2016); (18) Crespo Guerrero y Jiménez Pelcastre (2017); (19) Uc-Espadas *et al.*(2017); (20) Hernández-Félix *et al.* (2017); (21) Pinkus Rendón (2017); (22) Uc-Espadas *et al.* (2018); (23) Gamboa-Álvarez *et al.* (2019); (24) Rosales Raya y Fraga Berdugo (2019); (25) Aragón Gastélum *et al.* (2020); (26) Jouault *et al.* (2020); (27) (Crespo Guerrero y Nava Martínez (2020); (28) Pedroza-Gutiérrez *et al.* 2021).

nómica y cultural para IA y para las comunidades cercanas (por ejemplo, Tancuche, Santa Cruz, San Antonio Siho, Pucnachén y Halacho), cuya fuerza laboral se concentra especialmente en la temporada de esta pesquería (Rosales Raya y Fraga Berdugo, 2019). Los conflictos espaciales y temporales entre Isla Arena (Campeche) y Celestún (Yucatán) se han dado principalmente por la competencia en el acceso a la zona de captura de pulpo. Álvarez Icaza Longoria (2006) describió que los pescadores tenían reglas de elección colectiva y reconocimiento del derecho a organizarse, pero carecían de límites geográficos claros, vigilancia, sanciones graduales y

mecanismos para la resolución de conflictos. Por lo que los recursos pesqueros de usos común se encontraban en riesgo. Ante la falta de acuerdos entre los usuarios de Campeche y Yucatán sobre el uso de los recursos marinos de la RBRC, Fraga y Jesus (2008) propusieron como una potencial solución: el reconocimiento de las estrategias de conservación de los pescadores locales y el análisis para incluir a IA en la RBLP. En IA el sector pesquero tenía una visión al largo plazo de los recursos marinos, porque con ellos obtenían alimentos de consumo local e ingresos económicos (Fraga, 2010).



En el 2009 la pesquería de pepino de mar (*Holothuria floridana* y *Isostichopus badionotus*) se expandió rápidamente. Ésta comenzó sin permisos de pesca, ni estudios técnicos sobre el estado del recurso (Espinoza-Tenorio *et al.*, 2012; Gutiérrez Pérez, 2014). Fue hasta el 2011, en que dieron los primeros permisos de pesca de fomento. La pesquería se percibió en IA como una mejora en la económica para los usuarios, algunos de ellos usaron los ingresos de una temporada, para la compra de lanchas y la construcción de casas de material e infraestructura pesquera. No obstante, surgieron riesgos sociales como los problemas en la salud de los pescadores por descompresión, pues no había la capacitación para buceo con compresor. Los investigadores y los pescadores notaron la disminución en la abundancia de las capturas y distribución de las especies de pepino de mar, que se encontraba a mayor distancia de la costa de IA (Espinoza-Tenorio *et al.*, 2012).

Debido a los efectos negativos tanto ecológicos (deterioro de las especies) como sociales (salud), los pescadores establecieron sus propias normas locales “usos y costumbres” y solicitaron a las autoridades gubernamentales no aumentar los permisos de pesca de pepino de mar. En el 2012 inició la veda permanentemente para esta pesquería en el Estado de Campeche (Poot-Salazar *et al.*, 2015). Los pescadores solicitaron al gobierno fortalecer la inspección y vigilancia, porque en Yucatán no había establecido veda permanente para este recurso y los pescadores ingresaban al territorio de Campeche y se establecían en campamentos ilegales donde procesaban la captura de pepino de mar, pero los esfuerzos del gobierno para detener la pesca ilegal fueron insuficientes (Crespo Guerrero y Nava Martínez, 2020).

Al 2017 se describe que, en IA los pescadores transfirieron permisos de pesca a las mujeres, con la finalidad de obtener subsidios adicionales para su familia (por ejemplo, gasolina ribereña, adquisición de embarcaciones, sustitución de motores y otros como cursos en temporada de baja captura). Estas permisionarias tomaron decisiones adminis-

trativas sobre la pesca, pudieron contratar trabajadores en la temporada de pulpo y participaron en las actividades de procesamiento de productos o adquisición de insumos (Uc-Espadas *et al.*, 2017). A pesar de ser propietarias de permisos y lanchas, el control de la captura lo mantienen sus familiares hombres, esta desigualdad de género se da por la incapacidad de las mujeres para salir a pescar y dejar a sus hijos sin cuidadores (Uc-Espadas *et al.*, 2018).

Muchos de los permisionarios jóvenes de la comunidad se enfocaron en las ganancias inmediatas, por lo que promovieron el buceo, el uso de equipo ilegal y la captura de especies en temporada de veda (Crespo Guerrero *et al.*, 2019; Rosales Raya y Fraga Berdugo, 2019). A partir de 2020 se registró un aumento de los arrecifes artificiales no autorizados en la RBRC y RBLP (hasta la isla Jaina), que fueron elaborados con ramas de manglar, envases plásticos, llantas y bovedillas de concreto, en estos lugares se concentran principalmente hembras de pulpo, lo que incrementó la inseguridad para las siguientes generaciones del recurso. Existe descontento entre los pescadores mayores que, generalmente capturan machos adultos de pulpo con el “gareteo”, porque con este arte de pesca legal solo se captura una cuarta parte de lo que extraen los buzos de los arrecifes artificiales (Crespo Guerrero y Nava Martínez, 2020). Ante la contingencia sanitaria covid-19, la Secretaría de Marina prohibió a los locales salir a pescar, pero por la necesidad de alimento y la falta de vigilancia en las costas de IA, se capturaron de recursos marinos al menos dos veces por semana (Pedroza-Gutiérrez *et al.*, 2021).

El turismo y la conservación en IA 2005 a 2021

El turismo y conservación en IA está marcado principalmente por el trabajo de la cooperativa Wotoch Aayin (WA). Esta cooperativa surgió entre 2006 y 2008 como una Unidad de Manejo Ambiental (UMA) para la cría intensiva y repoblamiento de cocodrilo (*Crocodylus moreletii*), pero también tenía la visión y atraer turistas para desarrollar actividades



de ecoturismo (Doyon y Sabinot, 2014; Toriz Bonfiglio *et al.*, 2021). Entre 2009 y 2014 las actividades de ecoturismo como la observación de aves y los paseos en lancha, se desarrollaron por tres cooperativas turísticas de la comunidad (Pinkus-Rendón y Pinkus-Rendón, 2015). Con ello aumentó la sensibilización sobre la conservación, pero también los ingresos económicos para los socios de estas cooperativas (García-Frapolli *et al.*, 2009). El resto de la comunidad no vio potencial turístico por escasa infraestructura y la lejanía de IA con Mérida y Campeche (Fraga, 2010; Rosales Raya, 2014; Rosales Raya y Fraga Berdugo, 2019). Las actividades turísticas se convirtieron en otro punto de conflicto entre la comunidad y las cooperativas de ecoturismo, ya que en la temporada vacacional se generaron problemas de escasez de agua potable y aumento de disposición de desechos sólidos. IA no tenía drenaje adecuado ni una estrategia para el manejo de la basura, por lo que, la contaminación del aire, suelo, aguas superficiales, manto freático y el aire fue inevitable (Villalobos Zapata, 2014).

Entre 2015 y 2021 la actividad turística presentó crecimiento, aumentaron los servicios como los paseos en lancha, restaurantes, hospedaje y senderismo, y los sitios turísticos como el Faro, el museo de Pedro Infante y el cocodrilario WA (Pinkus Rendón, 2017). La cooperativa WA se capacitó con asesores técnicos para cuidar y conservar los cocodrilos.

Además, han transmitido sus conocimientos a los visitantes y personas de la comunidad (Pinkus-Rendón y Pinkus-Rendón, 2015; Toriz Bonfiglio *et al.*, 2021). Esta Cooperativa fortaleció su capital social, por ejemplo, la líder ha mantenido la confianza y legitimidad, la toma de decisiones se ha dado con la participación de todos los socios, se vincularon con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y con agencias gubernamentales y colaboraron para establecer la red de ecoturismo a nivel estatal. Así también, el capital humano de la cooperativa WA se robusteció, ya que tres cuartas partes de los socios se graduaron de estudios universitarios y técnicos (en administración, mercadotecnia, ingeniería en sistemas y biología), esto sirvió para el fortalecimiento de la gestión, la organización y la calidad del servicio al cliente. La cooperativa buscó financiamiento externo (PNUD), para la diversificación de los productos y servicios, que generaron ingresos suficientes para reinvertir en equipo e infraestructura (Toriz Bonfiglio *et al.*, 2021). Por la pandemia de covid-19 se cerró la comunidad desde abril de 2020, las cooperativas turísticas sobrevivieron con el retorno al autoabasto alimentario (pesca y hortalizas), el intercambio solidario de productos, el ahorro y la previsión económica (Jouault *et al.*, 2020; Pedroza-Gutiérrez *et al.*, 2021).

Conclusiones y reflexiones finales

En el siglo pasado la corriente que imperaba en el mundo era la de Hardin (1968), sobre la tragedia de los comunes, en la que se afirmaba que los recursos naturales de uso común terminarían en una sobrexplotación que llevaría a su destrucción y agotamiento en el largo plazo y por ello el gobierno debía tomar todas las decisiones de manejo. La centralización en el manejo de los recursos guió la política ambiental de la zona costero-marina de la RBRC, sin embargo, el sector gubernamental tuvo

dificultades para mantener la protección de los recursos naturales de IA. Las recomendaciones uniformes de las estrategias de manejo y la simplificación excesiva de la relación sociedad-ambiente (Wyborn y Bixler, 2013) y la falta de seguimiento de estas estrategias produjeron errores de manejo que afectaron al SSE. Para mejorar las estrategias de manejo se requiere del trabajo coordinado entre gobierno, academia y usuarios de la comunidad (Fischer *et al.*, 2015), para plantear un análisis interrelaciona-



do entre los sistemas sociales y ecológicos (Berkes y Folke, 1998) que integre los conocimientos y las expectativas locales (Carpenter *et al.*, 2012) en el manejo de los recursos y que sea flexible y adaptable a los cambios (Anderies *et al.*, 2007; Carpenter y Brock, 2004).

Por la rápida expansión que tiene la comunidad de IA, se requieren investigaciones para desarrollar una proyección del crecimiento de la población y la capacidad de carga de los ecosistemas, así como un ordenamiento territorial de la zona. La mejora de los servicios públicos de drenaje y manejo de la basura le corresponde al sector gubernamental, en IA esta problemática se dificulta, ya que, los usuarios no tienen propiedad privada por su ubicación en la zona de amortiguamiento de la RBRC y porque enfrentan grandes problemas para gestionar trámites entre el gobierno del estado Campeche y las oficinas de CONANP en Yucatán. Existe un desajuste entre la generación de estudios científicos y la información utilizada por los formuladores de políticas (Leenhardt *et al.*, 2015). A pesar de que se publicó una gran cantidad de literatura especializada y tesis sobre los recursos naturales y la población de IA, la mayor parte de estas investigaciones, describían problemáticas socioambientales que habían pasado años atrás.

Los académicos e investigadores han trabajado fuertemente con la comunidad de IA, sus esfuerzos han sido principalmente por el ANP y los servicios ecosistémicos, así como las actividades económicas que se desarrollan en la región. No obstante, la comunidad científica debe desarrollar estrategias para acortar el tiempo en que se publican los de artículos y capítulos de libro, e incrementar la divulgación de éstos para evitar la duplicidad de esfuerzos. Una propuesta es coordinar los temas de investigación inter e intrainstitucional, para trabajar en conjunto y monitorear los fenómenos socioambientales de la región.

En la revisión de literatura, se encontró que hasta antes 2012, esta comunidad era mayormente pes-

quera, existían reglas congruentes, reglas de elección colectiva, fuerte liderazgo comunitario, fuerte autonomía y alta la probabilidad de autoorganización (Álvarez Icaza Longoria, 2006; Poot-Salazar *et al.*, 2015). Sin embargo, estos usuarios carecían de otros elementos para tener éxito en el largo plazo como son: la confianza entre usuarios, el estado óptimo de los recursos marinos, sistemas con límites definidos y espacios para la resolución de conflictos; y métodos locales para vigilar y sancionar a los infractores (Poteete *et al.*, 2012). A lo largo de la literatura se identificó que la falta de inspección y vigilancia ha provocado las afectaciones en las pesquerías y en la comunidad, pero pocos estudios han medido el impactado en otros recursos naturales. Así mismo, se debe incentivar a los usuarios jóvenes para implementar el monitoreo social, ya que esto puede ayudar a reunir información confiable del estado de los recursos y para crear mayor conciencia y protección de las pesquerías.

Aunque los recursos costeros del SSE de IA se encuentran en un sistema de acceso abierto, en la revisión de literatura se encontró que las actividades turísticas se han limitado a pocas cooperativas, ya que éstas son quienes tienen las concesiones y permisos que dan acceso legal a estas actividades y que cuentan con el capital o financiamiento para adquirir y mantener la infraestructura turística (Pinkus-Rendón y Pinkus-Rendón, 2015; Toriz Bonfiglio *et al.*, 2021). A diferencia del sector pesquero, las cooperativas turísticas tienen mayor probabilidad de tener éxito en el largo plazo, pero su principal reto es buscar alternativas para disminuir los impactos de la actividad, resguardar su capital ambiental y buscar integrar a más personas de la comunidad en sus actividades. Por último, consideramos que es necesario y urgente abordar estudios que revaloricen la importancia del trabajo conjunto entre el sector pesquero y turístico para la protección de los ecosistemas costeros.



Agradecimientos

Este estudio es parte del proyecto “Avances de la gobernanza vertical y horizontal en Sistemas Socio-Ecológicos (SSE) costeros con presencia de pesca ribereña y turismo comunitario en las ANP de

Campeche”, de Peña-Puch AC que fue apoyado por CONACYT con la estancia posdoctoral investigadoras e investigadores por México 2021- 2022 (929608).

Referencias

- Álvarez Icaza Longoria, P., 2006. Los recursos de uso común en México: un acercamiento conceptual. *Gaceta Ecológica*, 80, 5–17.
- Anderies, J. M., Rodriguez, A. A., Janssen, M. A., & Cifdaloz, O., 2007. Panaceas, uncertainty, and the robust control framework in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104(39), 15194–15199. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702655104>
- Aragón Gastélum, J. L., Uc May D D, Neri Hernández, J. J., Duarte Canul, J. A., & González Durán, E. A., 2020. Sustentabilidad, Género y Distribución de Beneficios Económicos del Ecoturismo en Isla Arena, Campeche, México. *Interciencia*, 45(7), 338–344. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33963922007>
- Ávila Foucat, S., & Espejel, I., 2020. Resiliencia de socioecosistemas costeros. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ávila López, C. M., 2020. La reserva de la biosfera “Los Petenes.” *Antropología Experimental*, 20, 321–337. <https://doi.org/10.17561/rae.v20.23>
- Berkes, F., & Folke, C., 1998. Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience. Cambridge University Press.
- Carignan, M., 2014. Écotourisme et conservation environnementale - Le cas d’Isla Arena, Campeche, Mexique.
- Carpenter, S. R., Arrow, K. J., Barrett, S., Biggs, R., Brock, W. A., Crépin, A. S., Engström, G., Folke, C., Hughes, T. P., Kautsky, N., Li, C. Z., Mccarney, G., Meng, K., Mäler, K. G., Polasky, S., Scheffer, M., Shogren, J., Sterner, T., Vincent, J. R., ... de Zeeuw, A., 2012. General resilience to cope with extreme events. *Sustainability*, 4(12), 3248–3259. <https://doi.org/10.3390/su4123248>
- Carpenter, S. R., & Brock, W. A., 2004. Spatial complexity, resilience, and policy diversity: Fishing on lake-rich landscapes. *Ecology and Society*, 9(1). <https://doi.org/10.5751/ES-00622-090108>
- Crespo Guerrero, J. M., & Jiménez Pelcastre, A., 2017. Organización e impacto territorial de la actividad pesquera comercial ribereña en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (México). *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 37(2), 297–324. <https://doi.org/10.5209/AGUC.57727>
- Crespo Guerrero, J. M., Jiménez Pelcastre, A., & Nava Martínez, J. D., 2019. Tensiones y conflictos territoriales en la pesca ribereña del Estado de Campeche, México (2013–2018). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 82(2764), 1–53. <https://doi.org/10.21138/bage.2764>
- Crespo Guerrero, J. M., & Nava Martínez, J. D., 2020. Territorial arrangement of commercial coastal fishing in the los petenes biosphere reserve, state of campeche (Mexico). *Estudios Geográficos*, 81(288). <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202055.055>
- DOF, 2002. Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biósfera Ría Celestún, Diario Oficial de la Federación.
- Doyon, S., & Sabinot, C., 2014. A new conservation space ? protected areas, environmental economic activities and discourses in two yucatán biosphere reserves in Mexico. *Conservation and Society*, 12(2), 133–146. Medknow Publications. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.138409>
- Espinoza-Tenorio, A., Moreno-Báez, M., Pech, D., & Mendoza-Carranza, M., 2014. El ordenamiento ecológico marino en México : un reto y una invitación al quehacer científico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42, 386–400. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue3-fulltext-1>
- Espinoza-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*, 4(1), 45–50.
- Espinoza-Tenorio, A., Vázquez González, C., Zepeda-Domínguez, J. A., Reyna Fabián, M., Cervantes, O., Vidal-Hernández, L. E., Esqueda Lara, K., Espejel, I., & Carmona Escalante, A., 2020. Los umbrales en los socioecosistemas costeros. In Resiliencia de socioecosistemas costeros.



- Estrella-Gómez, N., Escalante-Réndiz, D., González-Burgos, A., Sosa-Cordero, D., & Rojas-Herrera, R., 2016. Análisis microbiológico del pulpo rojo en puertos pesqueros de Campeche, México. *Salud Pública de México*, 58(4), 453–460. <https://doi.org/10.21149/spm.v58i4.8026>
- Fischer, J., Gardner, T. A., Bennett, E. M., Balvanera, P., Biggs, R., Carpenter, S., Daw, T., Folke, C., Hill, R., Hughes, T. P., Luthe, T., Maass, M., Meacham, M., Norström, A. v., Peterson, G., Queiroz, C., Seppelt, R., Spierenburg, M., & Tenhunen, J., 2015. Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological systems perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.06.002>
- Fraga, J., 2010. Caracterización Social y Económica de tres comunidades de la Eco-región. In Plan de conservación de la Eco-región Petenes-Celestún-Palmar (pp. 135–162).
- Fraga, J., & Jesus, A., (2008). Coastal and Marine Protected Areas in Mexico. International Collective in Support of Fishworkers. <http://hdl.handle.net/1834/19432>
- Gamboa-Álvarez, M. Á., López-Rocha, J. A., Poot-López, G. R., Aguilar-Perera, A., & Villegas-Hernández, H., 2019. Rise and decline of the sea cucumber fishery in Campeche Bank, Mexico. *Ocean and Coastal Management* (Vol. 184). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105011>
- García-Frapolli, E., Ramos-Fernández, G., Galicia, E., & Serrano, A., 2009. The complex reality of biodiversity conservation through Natural Protected Area policy: Three cases from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land Use Policy*, 26(3), 715–722. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.09.008>
- González- Iturbe, J. A., Tun Dzul, F., & Espadas Manrique, C., 2010. Diagnóstico del Cambio y Recuperación de la vegetación en dos zonas de críticas de la Eco-región Los Petenes-Celestún-El Palmar. In E. D. Acosta Lugo, M. Alonzo Parra, D. Andrade-Hernández, & J. Castillo-Tzab (Eds.), Plan de Conservación de la Eco-Región Petenes-Celestún-Palmar. UAC-Pronatura.
- Gutiérrez Pérez, C., 2014. El contexto de vulnerabilidad social de pescadores ribereños en la península de Yucatán The context of social vulnerability of coastal fishermen in the Yucatan peninsula. *Sociedad y Ambiente*, 1(5), 25–47.
- Hardin, G., 1968. The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243–1248.
- 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, 427–449.
- INEGI, 2020. Censos y Conteos de Población y vivienda. Censo de Población y Vivienda, Principales Resultado Por Localidad (ITER). inegi.org.mx/datosabiertos
- Jouault, S., Rivera-Núñez, T., de Fuentes, A. G., Koh, M. X., & Giustinianovic, A. M., 2020. Respuestas, resistencias y oportunidades del turismo comunitario en la península de Yucatán frente al Covid-19 y las crisis recurrentes. *Investigaciones Geográficas*, 104. <https://doi.org/10.14350/RIG.60240>
- Leenhardt, P., Teneva, L., Kininmonth, S., Darling, E., Cooley, S., Claudet, J., 2015. Challenges, insights and perspectives associated with using social-ecological science for marine conservation. *Ocean and Coastal Management*, 115, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.04.018>
- Murray, G., 2007. Constructing paradise: The impacts of big tourism in the Mexican coastal zone. *Coastal Management*, 35(2–3), 339–355. <https://doi.org/10.1080/08920750601169600>
- Neger, C., & Crespo Guerrero, J. M., 2021. Problemática de la gestión de las Áreas Naturales Protegidas de México: un análisis en las Reservas de la Biósfera de Los Tuxtlas y Los Petenes. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 41(2), 463–481. <https://doi.org/10.5209/AGUC.79345>
- Ostrom, E., 2007. A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(39), 15181–15187. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>
- Ostrom, E., 2000. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325, 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Pahl-Wostl, C., 2007. The implications of complexity for integrated resources management. *Environmental Modelling and Software*, 22(5), 561–569. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.024>
- Pedroza-Gutiérrez, C., Vidal-Hernández, L., & Rivera-Arriaga, E., 2021. Adaptive governance and coping strategies in the Yucatan Peninsula coasts facing COVID-19. *Ocean and Coastal Management*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105814>
- Pelling, M., 2003. The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience. Routledge. <https://doi.org/10.1039/J19660001254>
- Peña-Puch, A., Pérez-Jiménez, J. C., Munguía-Gil, A., Espinoza-Tenorio, A., 2021. Sistemas socio-ecológicos como unidad de manejo: el caso de las pesquerías de Campeche, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(65), 113–145.
- Pinkus Rendón, M. J., 2017. Manglares y Selva, Sustentabilidad en la Reserva de la Biósfera Ría Celestún (Primera). UNAM-UADY.
- Pinkus-Rendón, M. J., Pinkus-Rendón, M. Á., 2015. El Ecoturismo: Quimera o Realidad de Desarrollo en la Reserva de la Biósfera Ría Celestún, México. *LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*, 13(1), 69–80.
- Poot-Salazar, A., Hernández-Flores, Á., & Ardisson, P.-L., 2015. Indicadores de sostenibilidad para la evaluación de las pesquerías de pepino de mar en la península de Yucatán, México. *Ciencia Pesquera*, 23(2), 11–24.
- Poteete, A. R., Janssen, M. A., & Ostrom, E., 2012. Trabajar juntos: acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica. UNAM, CEIICH, CRIM,



- FCPS, FE, IIEc, IIS, PUMA; IASC, CIDE, Colsan, CONABIO, CCMSS, FCE, UAM. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2014.883731>
- Rosales Raya, M., 2014. El Caso de Isla Arena: de Pescadores a Prestadores de Servicios Turísticos. In J. Fraga, L. Khafash, & G. Villalobos Zapata (Eds.), Turismo y Sustentabilidad en la península de Yucatán (pp. 171–172). UAC-CINVESTAV.
- Rosales Raya, M. L., & Fraga Berdugo, J. E., 2019. Decision Making in the Campeche Maya Octopus fishery in two fishing communities. *Maritime Studies*, 18(1), 91–101. <https://doi.org/10.1007/s40152-018-0127-3>
- Smardon, R. C., & Faust, B. B., 2006. Introduction: International policy in the biosphere reserves of Mexico's Yucatan peninsula. *Landscape and Urban Planning*, 74(3–4), 160–192. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.002>
- Toriz Bonfiglio, L. E., Pat Fernández, L. A., & Vázquez, F. G., 2021. Factores que condicionan la viabilidad de ecoturismo con comunidades mayas en áreas naturales protegidas de la Península de Yucatán, México. Cuadernos de Desarrollo Rural, 18. <https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.CDR18.FCVE>
- Uc-Espadas, M., Molina-Rosales, D., Gurri, F. D., Pérez-Jiménez, J. C., & Vázquez-García, V., 2018. Fishing activities by gender and reproductive stage in Isla Arena, Campeche, Mexico. *Marine Policy*, 89(1), 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.12.011>
- Uc-Espadas, M., Molina-Rosales, D., Vázquez-García, V., Carlos Pérez-Jiménez, J., & Gurri-García, F., 2017. Permisos de Pesca y Relaciones de Género en Isla Arena, Campeche. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14, 383–404.
- Villalobos Zapata, G., 2014. Turismo de Áreas Naturales Protegidas de Campeche. In J. Fraga, L. Khafash, & G. Villalobos-Zapata (Eds.), Turismo y Sustentabilidad en la Península de Yucatán (pp. 131–132). UAC-CINVESTAV.
- Villalobos Zapata, G. J., 2004. Reservas de la Biósfera costeras: Los Petenes y Ría Celestún. In E. Rivera Arriaga, G. J. Villalobos Zapata, I. Azuz Adeath, & F. Rosado May (Eds.), Manejo Costero en México (pp. 397–412). UAC-SEMARNAT-CETYS Universidad-UQROO.
- Wakida-Kusunoki, A., Rojas-González, R., Toro-Ramírez, A., Medina-Quijano, H., Cruz-Sanchez, J., Carrillo-Nolasco, I., & Santana-Moreno, D., 2016. Caracterización de la pesca de camarón en la zona costera de Campeche y Yucatán. *Ciencia Pesquera*, 24(1), 3–13. <http://www.inapesca.gob.mx/portal/>
- Wyborn, C., & Bixler, R. P., 2013. Collaboration and nested environmental governance: Scale dependency, scale framing, and cross-scale interactions in collaborative conservation. *Journal of Environmental Management*, 123, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.014>



Anexo 1. Literatura especializada (artículos y capítulos de libro).

Núm.	Autores	Año	Dimensión ambiental							Dimensión social		
			ANP y servicios ecosistémicos	Pesquerías de pequeña escala	Acuicultura	Biodiversidad y conservación	Contaminantes y salud	Zona costera	Turismo comunitario y ecoturismo	Género	Gobernanza y política pública	Pescadores ribereños
1	Morales-Vela B <i>et al.</i>	2003				X						
2	Smardona y Faust	2004	X							X	X	
3	Villalobos Zapata	2004	X	X					X	X	X	X
4	Morales Rodríguez y Cobos-Gasca	2005				X	X					
5	Álvarez Icaza Longoria	2006								X	X	
6	Wakida-Kusunoki y Santos-Valencia	2008		X	X							
7	Fraga, J Jesus, A	2008	X							X	X	
8	García-Frapolli <i>et al.</i>	2009	X							X		
9	Acosta-Lugo <i>et al.</i>	2010	X						X			
10	González-Iturbe <i>et al.</i>	2010	X			X			X			
11	Fraga J	2010										X
12	Calva-Benítez y Torres-Alvarado	2011				X			X			
13	Padilla Sergio <i>et al.</i>	2011				X	X					
14	Silva-Cruz <i>et al.</i>	2011			X		X					
15	Espinoza Tenorio <i>et al.</i>	2012		X								X
16	Doyon y Sabinot	2014	X						X			
17	Gutiérrez Pérez	2014										X
18	Trillanes <i>et al.</i>	2014				X	X					
19	Rosales Raya	2014	X						X			X
20	Villalobos Zapata	2014	X			X			X			
21	Casais Molina <i>et al.</i>	2015	X						X	X		
22	Hernández-Flores <i>et al.</i>	2015		X								
23	Pinkus-Rendón y Pinkus-Rendón	2015	X						X			
24	Poot-Salazar <i>et al.</i>	2015		X					X		X	X
25	Estrella-Gómez <i>et al.</i>	2016		X			X					
26	Wakida-Kusunoki <i>et al.</i>	2016		X								X
27	Crespo Guerrero y Jiménez Pelcastre	2017	X	X						X	X	
28	Crespo-Guerrero	2017	X									X
29	Hernández-Félix <i>et al.</i>	2017	X							X		X
30	Markaida Aburto <i>et al.</i>	2017		X								
31	Uc-Espadas <i>et al.</i>	2017								X		X
32	Pinkus Rendón	2017	X						X	X		
33	Pinkus Rendón	2017	X			X			X	X		
34	Pinkus Rendón	2017	X						X			
35	Pinkus Rendón	2017	X			X	X		X			X
36	González Jáuregui <i>et al.</i>	2018				X	X					



Anexo 1. Literatura especializada (artículos y capítulos de libro).

Núm.	Autores	Año	Dimensión ambiental					Dimensión social		
			ANP y servicios ecosistémicos	Pesquerías de pequeña escala	Acuicultura	Biodiversidad y conservación	Contaminantes y salud	Zona costera	Turismo comunitario y ecoturismo	Género
37	Uc-Espadas <i>et al.</i>	2018							X	X
38	Gamboa-Álvarez <i>et al.</i>	2019		X						
39	Marín-Parra <i>et al.</i>	2019				X	X			
40	Rosales Raya y Fraga Berdugo	2019		X						X
41	Aragón Gastélum <i>et al.</i>	2020	X					X	X	
42	Ávila López	2020	X							
43	Crespo Guerrero y Nava Martínez	2020	X	X						X
44	Jouault Samuel <i>et al.</i>	2020						X		
45	Rankey Eugene <i>et al.</i>	2020					X			
46	Pensado-Leglise y Quiroz	2020	X			X		X		
47	Can-Herrera <i>et al.</i>	2021				X	X			
48	Neger y Crespo Guerrero	2021		X						X
49	Pedroza-Gutiérrez <i>et al.</i>	2021					X	X	X	X
50	Peña-Puch <i>et al.</i>	2021	X	X						X
51	Toriz Bonfiglio <i>et al.</i>	2021	X					X		



Monroy Pensado, J.B., Pedroza Gutiérrez, C., 2022. El rol de la mujer en la pesca artesanal y la sustentabilidad en Celestún, México. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 4(1): 41-50. doi 10.26359/52462.0322



El rol de la mujer en la pesca artesanal y la sustentabilidad en Celestún, México

The role of women in small-scale fisheries and sustainability in Celestún, Mexico

Jessica Beatriz Monroy Pensado y Carmen Pedroza Gutiérrez*

Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Mérida, UNAM..

* autor de correspondencia: JessMonroyP@gmail.com

doi 10.26359/52462.0322

Recibido 13/julio/2022. Aceptado 12/agosto/2022

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Edgar Mendoza Franco

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



Resumen

La pesca a lo largo de los años se ha considerado una actividad masculina, sin embargo, las mujeres juegan un papel muy importante en la pesca artesanal debido a que realizan actividades a lo largo de la cadena de valor. Algunas de estas son el procesamiento de productos del mar, la recolección o captura directa de especies, y la venta de estos productos. En los últimos años la disminución de especies marinas las ha motivado a también realizar actividades para la conservación de los ecosistemas marinos como reforestación, separación de residuos, manejo adecuado de recursos, entre otros. A pesar de esto su trabajo es poco reconocido e infravalorado. Considerando esto el objetivo de este trabajo es identificar y describir el rol de la mujer en la pesca artesanal en Celestún, México. Para esto se empleó una metodología de carácter cualitativo basada en la aplicación de entrevistas semi-estructuradas. En el trabajo de campo pudimos observar que en Celestún las relaciones de poder influyen en el acceso a los recursos marinos, lo cual impacta de forma directa a la seguridad económica y alimentaria de las familias. Las mujeres se enfrentan a actitudes machistas en la comunidad, lo cual las limita al momento de realizar diferentes actividades económicas. Esto puede afectar sus ingresos económicos y perjudica a sus familias y a la comunidad en general.

Palabras clave: mujer, rol de la mujer, pesca, sustentabilidad, pesca artesanal, igualdad de género, Celestún.

Abstract

Over the years, fishing has been considered a male activity; however, women play a very important role in artisanal fishing because they are involved in activities throughout the value chain. These include processing seafood products, harvesting or direct capture of species, and the sale of these products. In recent years, the decline of marine species has motivated them to also implement activities for the conservation of marine ecosystems such as reforestation, waste separation, and proper resource management, among others. Despite this, their work is little recognized and undervalued. Considering this, the objective of this work is to identify and describe the role of women in artisanal fishing in Celestún, Mexico. A qualitative methodology based on the application of semi-structured interviews was used for this purpose. In the fieldwork we observed that in Celestún, power relations influence access to marine resources, which directly impacts the economic and food security of families. Women are confronted with machista attitudes in the community, which limits them when carrying out different economic activities. This can affect their economic income and is detrimental to their families and the community in general.

Keywords: woman, role of women, fishing, sustainability, artisanal fishing, gender equality, Celestún..



Introducción

La pesca es una actividad compleja que se puede llevar a cabo en ecosistemas oceánicos, costeros o continentales (Nervárez *et al.*, 2012). Esta tiene un gran valor económico, social y alimentario, dado que constituye una cadena productiva que genera empleos y proporciona alimento a miles de personas (FAO, 2022).

A nivel mundial la pesca de captura y la acuicultura proporcionan empleo directo a unos 200 millones de personas, de las cuales la mayoría trabajan en el sector artesanal a pequeña escala. Esto equivale al 70 % de la producción pesquera a nivel mundial y las mujeres representan alrededor del 50 % de las personas que laboran en este sector (FAO, 2016).

Cada pesquería cuenta con su propia dinámica, es decir existe una gran variedad de actores que intervienen e interactúan en ella (pescadores, intermediarios, mayoristas, oficiales de pesca) creando sus propias formas de organización (Anderson, 2003). Además de esto para poder llevar a cabo la pesca se implementa infraestructura y tecnología dependiendo de las características biológicas de cada especie, por ejemplo, la pesca de pepino de mar es de gran importancia debido a su alto valor económico a nivel mundial, esto comúnmente se pescan de forma artesanal a pequeña escala por medio de un buceo libre (Glonckner, 2014). Sin embargo, el incremento en el consumo de pescado a nivel mundial genera una sobreexplotación de las poblaciones de especies marinas. Esto impacta de forma negativa en el ámbito social y económico amenazando la seguridad alimentaria de las comunidades pesqueras (Nervárez *et al.*, 2012; Zapata, 2020; Marine Stewardship Council, 2021; Ramos *et al.*, 2021).

En México el desarrollo de esta actividad es posible debido a su favorable ubicación. En sus litorales podemos encontrar una gran variedad de especies marinas, las principales especies que generan ingresos económicos importantes son el atún, la mojarra y el camarón. La captura y post producción de estos y otras especies marinas, le proporciona empleo directo a aproximadamente 300 mil personas (SIAP, 2012; Monroy *et al.*, 2019;). De estas, aproximadamente 22 000 son mujeres y llevan a cabo actividades que demandan más tiempo en tierra, como las de pre y post producción, reparación de equipos de pesca, comercialización de productos y su participación en actividades relacionadas a la conservación (Harper, *et al.* 2013; CONAPESCA, 2017; Monroy *et al.* 2019; Gustavsson, 2020; Solano *et al.*, 2021).

A pesar de que las mujeres realizan grandes contribuciones al sector pesquero existe una falta de equidad de género. Esto se debe a las réplicas de ideologías tradicionales conforme a los roles de género en el sector y a la falta de reconocimiento en la división desigual del trabajo (Harper *et al.*, 2013; Gustavsson, 2020). Esto también se evidencia en los sesgos de información que hay en los datos específicos de género en la pesca. Lo anterior repercute negativamente en el desarrollo social y económico de las comunidades pesqueras afectando el desarrollo sustentable del sistema socioecológico de la pesca.

Con en base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo es identificar y describir el rol de la mujer en las pesquerías y las aportaciones que realizan a la sustentabilidad en Celestún, Yucatán, México, para ello se empleó una metodología cualitativa que nos permitió describir las experiencias y puntos de vista de los entrevistados en la pesca artesanal en la comunidad de Celestún, México.



Marco teórico

La pesca a lo largo de la historia se ha considerado como una actividad masculinizada, sin embargo, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), a nivel mundial, podemos encontrar a millones de mujeres dentro del sector (FAO, 2016).

En las comunidades costeras, la pesca juega un papel crucial para la seguridad alimentaria y económica (EDF, 2019). Sin embargo, el crecimiento exponencial de la población mundial ha provocado un aumento en la demanda de especies marinas, esto impacta de forma negativa sobre los recursos naturales debido a que hay una mayor presión que amenaza la disponibilidad de recursos marinos para las futuras generaciones (Nevárez *et al.*, 2012). A pesar de eso la pesca sigue siendo de gran importancia para las comunidades pesqueras.

Para el desarrollo de esta actividad económica las mujeres han jugado un papel muy importante. En el sector pesquero los trabajos se organizan e imponen culturalmente (Truchet *et al.*, 2019). Es decir

que, las prácticas pesqueras varían de acuerdo a la cultura local. En la mayoría de los países la participación de las mujeres en la pesca predomina en actividades de pre y post producción (Harper *et al.*, 2013; Pedroza, 2019; Gustavsson, 2020; Solano *et al.*, 2021).

Las mujeres en el sector pesquero juegan un papel importante para la alimentación, contribuyendo de forma activa a combatir la pobreza (Abila, 2020). Sin embargo, la falta de igualdad de género invisibiliza sus contribuciones y provoca que se enfrenten a desventajas al momento de acceder a recursos sociales, económicos y de empleo. Lo anterior se debe a que normalmente su trabajo es considerado como una labor doméstica o informal (CONAPESCA, 2018; Pedroza, 2019)

En los últimos años a nivel mundial se ha empezado a reconocer el trabajo de las mujeres y se han desarrollado diferentes alternativas para llevar a cabo labores de pesca de forma sustentable. Considerando que el desarrollo sustentable, es un mo-

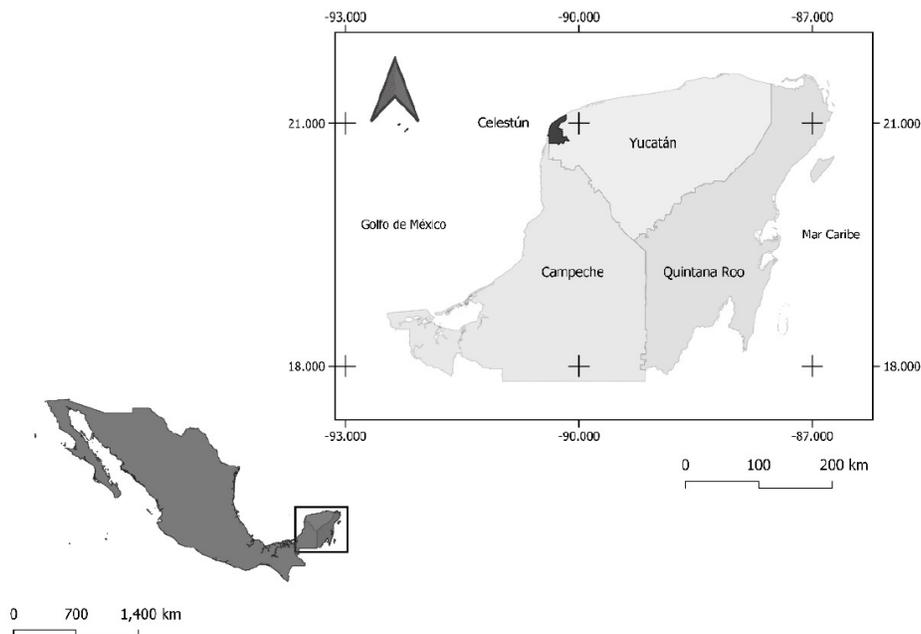


Figura 1. Área de estudio. Celestún, Yucatán, México.



delo que tiene como objetivo brindar una mejor calidad de vida en aspectos sociales, económicos y ambientales, tanto para generaciones actuales como futuras, para ello, es necesario preservar el equilibrio ecológico, la protección del medio ambiente y la regulación del aprovechamiento de los recursos naturales, en donde los agentes sociales presentes y futuros juegan un papel importante (Escobar, 2007; ONU, 2015; LGEEPA, 2018). Es por ello que, en el 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030, en don-

de se encuentran los 17 Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS), dentro de los cuales el 5° objetivo busca la igualdad de género (ONU, 2015). Así su implementación nos ayudaría al desarrollo de mejores políticas públicas, lucha contra la pobreza, un acceso igualitario a los recursos, independencia económica, implementación de mejores prácticas pesqueras y a su vez una mejor educación ambiental (INMUJERES, 2008).

Principales pesquerías y otras actividades económicas

En la pesca en Yucatán a lo largo del tiempo se han capturado las especies que se encuentran cerca del fondo del mar, lagos y lagunas costeras, en donde podemos encontrar una gran variedad de especies marinas. Sin embargo, solo 24 generan grandes volúmenes de captura, en primer lugar, podemos encontrar al pulpo y la pesca de escama, estos recursos son de gran importancia tanto para la pesca artesanal como para la industrial (CINVESTAV, 2008).

Celestún, es un municipio costero que se encuentra localizado al oeste del estado a 93 km de Mérida, cuenta con una superficie de 868.63 km², su población en el 2010 según SNIM (2010) es de 8 389, en donde hay 4 154 mujeres y 4 235 hombres (SNIM, 2010; SEMAR, 2020). Es el 2° puerto más importante del estado debido a su volumen de captura y es de los principales puertos productores de pulpo en el golfo de México, de igual forma se encuentra dentro de los 16 puertos de altura en México gracias a sus recientes actividades de exportación (CONANP, 2002.; SEMAR, 2020).

En esta comunidad la pesca se desarrolla en un área natural protegida (ANP) denominada Reserva de la Biosfera Ría Celestún. Esta área juega un papel muy importante como sitio de refugio y zonas de crianza, reproducción y alimentación de una gran variedad de especies, mismas que soportan la pesca. Gracias a la ubicación en la que se encuentra el municipio de Celestún es posible realizar múl-

tiples actividades económicas. Las tres principales son la pesca, producción de sal y el turismo. Una de las principales actividades pesqueras es la captura de pulpo y especies de escama. Otras especies comerciales son el camarón (*Farfantepenaeus spp.*), la jaiba azul (*Callinectes sapidus*), la mojarra (*Cichlasoma urophthalmus*), el bagre (*Arius melanopus*), lisa (*Mugil spp.*), y pulpo (*Octopus maya* y *Octopus vulgaris*) (López *et al.*, 2021).

La pesca a pequeña escala se considera de gran importancia debido a que emplea una gran cantidad de personas y a su vez se encuentran involucradas muchas embarcaciones de diferentes tipos (mayor o industrial, de media altura y ribereñas) y materiales (madera, fibra de vidrio). Esta actividad económica tiene un mayor auge de agosto a diciembre debido a que hay una mayor disponibilidad de recursos marinos como el pulpo (*Octopus maya* y *vulgaris*) langosta (*Panulirus argus*) y varias especies de escama (Lopez *et al.*, 2021). Sin embargo, dentro de la Ría durante todo el año se lleva a cabo la pesca de jaiba y camarón (Ramos *et al.*, 2021). Las artes de pesca empeladas son variadas, por ejemplo, para el caso de la pesca de pulpo se emplean los alijos y jimbas; para la pesca de escama se utiliza la red de enmalle (López *et al.*, 2021). De igual forma, en la comunidad de Celestún aún se emplea el chinchorro, a pesar de estar prohibido desde hace más de tres décadas. Este tipo de pesca



le brinda empleo a un gran porcentaje de personas en la comunidad, en especial a las mujeres que se dedican al fileteo de la captura obtenida por este arte de pesca (CONANP, 2002; UC, 2007; CINVESTAV, 2008; SEMAR, 2020; López *et al.*, 2021).

Otra de las actividades importantes en esta comunidad es el turismo, el cual inició hace 15 años aproximadamente. Esta se lleva a cabo principalmente en la Ría Celestún para realizar actividades

como la observación de aves, como el flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber ruber*). Y por último la explotación salina, el municipio cuenta con una superficie de más de mil hectáreas de salinas, la producción de sal es de forma artesanal durante abril, mayo y junio y a pesar de seguir siendo una actividad económica dentro de la comunidad en los últimos años ha disminuido su producción (Pinkus y Pinkus, 2017; Cortés, 2012).

Metodología

Para la realización de este trabajo se empleó una metodología cualitativa. En primera estancia se realizó una recopilación bibliográfica para conocer el contexto general de la problemática, esta se llevó a cabo por medio de plataformas digitales como google académico, ELSEVIER, empleando las siguientes palabras clave: *mujer, rol de la mujer, pesca, sustentabilidad, pesca artesanal, igualdad de género, empoderamiento, Celestún, cooperativas pesqueras*.

Posteriormente se realizó una guía de entrevista semiestructuradas con el objetivo de identificar el

rol de la mujer en la pesca artesanal, misma que fue aplicada en la comunidad de Celestún. Esta guía se aplicó llevando a cabo la selección de informantes clave localizados por medio de muestreo no probabilístico por conveniencia y bola de nieve durante 4 visitas. Los informantes se seleccionaron entre hombres y que cuentan o no con permisos de pesca y tienen un rol en la pesca y reconocido por la comunidad. Una vez recopilada la información se transcribieron, analizaron las entrevistas y finalmente se determinaron las conclusiones.

Resultados

Se revisaron 9 libros, 4 documentos oficiales (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, programas y planes de manejo de la Reserva de la Biosfera de Ría Celestún y especies marinas), 11 comunicados de páginas web, 10 artículos científicos y artículos de divulgación y 3 tesis. En el trabajo de campo se realizaron 9 entrevistas de las cuales 4 se aplicaron a hombres (pescadores, presidentes de cooperativa y permisionarios) y 5 a mujeres (gobierno, procesamiento y comercialización de productos pesqueros) El perfil de los informantes se muestra en la tabla 1.

La abundancia y consecuente escasez de *I. badionotus* ha generado diferentes problemas ambien-

tales y sociales que se reflejan en la dinámica poblacional y organización social de Celestún desde que se inició su pesca. Lo anterior ha provocado, además del impacto ambiental sobre el ecosistema marino, problemas asociados a la pesca como a la sobreexplotación y la pesca ilegal, aunado a conflictos sociales como alcoholismo, drogadicción, desintegración familiar, robos y migraciones. En las entrevistas algunos de los pobladores (Informante 1, 2, 4, 6, 7, 8) denominaron al puerto como “el puerto depredador de Yucatán” debido al exceso de embarcaciones, uso de artes de pesca prohibidas y la explotación desmedida de los recursos marinos.



Para mitigar estas problemáticas socioambientales, las mujeres realizan acciones que permiten contribuir a mejorar su calidad de vida. Entre estas actividades se pueden mencionar: iniciativas para la conservación de los recursos pesqueros, la reducción de la contaminación y mejora del ingreso familiar. Estas acciones están dirigidas a las familias (hijos, esposos, pescadores) con el objetivo de preservar recursos marinos para las futuras generaciones (tabla 2).

Por otro lado, los entrevistados dijeron que los problemas de alcoholismo y drogadicción entre los pescadores afectan los ingresos económicos de las familias y aumentan la desintegración familiar y a las mujeres *“les deja de importar lo que hagan los maridos, trabajan para ellas y para sus hijos”* (Informante 4, 5, 8). Esto obliga a las mujeres a realizar actividades económicas lo que ha incrementado el número de mujeres laborando en las diferentes actividades del sector pesquero.

Las personas entrevistadas opinan que las mujeres de la comunidad de Celestún son consideradas *“más despiertas desde hace 20 años”* cada vez son más *“abiertas e independientes”* (Informante 1) porque buscan una diversidad de actividades económicas en donde pueden generar diferentes ingresos. Por otra parte, la tecnología las favorece para realizar actividades de compra y venta de productos y búsqueda de nuevas oportunidades laborales. Las mujeres en Celestún tienden a cumplir dobles jornadas laborales, algunas como administradoras del hogar o amas de casa (conocidas como monarcas), además de laborar en alguna actividad económica fuera de casa.

Algunas de las actividades económicas que realizan las mujeres en Celestún son la compraventa de productos marinos. En esta actividad juegan un papel de intermediarias entre pescadores y dueños de bodegas o mayoristas, mediante el *“pachocho”*

Tabla 1. Descripción de los informantes clave.

Código	Edad	Género	Ocupación
Informante 1	51 años	Masculino	Pescador y presidente de cooperativa
Informante 2	29 años	Femenino	Directora de pesca
Informante 3	38 años	Masculino	Ingeniero
Informante 4	70 años	Masculino	Dueño de congeladora
Informante 5	45 años	Femenino	Pachochera, vendedora de comida
Informante 6	45 años	Masculino	Pescador
Informante 7	52 años	Femenino	Fileteadora y ama de casa
Informante 8	37 años	Femenino	Empleada en una congeladora
Informante 9	50 años	Femenino	Comerciante

Tabla 2. Acciones implementadas por mujeres de Celestún para mitigar las problemáticas socioambientales.

Problemáticas	Acciones implementadas por las mujeres
Abundancia y escases de productos marinos	Concientización sobre el cuidado de los recursos pesqueros en los pescadores y la comunidad. Participación activa en la vigilancia del refugio pesquero.
Contaminación	Limpieza de playas, sitios de desembarque (puerto de abrigo).
Disminución de ingresos económicos en los hogares	Diversificación de medios de vida (pachocho ó gavioteo, fileteo de pescado, pesca).



o “gavioteo”. El pachochero o gavioteo consiste en ayudar a los pescadores a limpiar sus lanchas, destripar o filetear el pescado a cambio de un pescado, pulpo o el producto de la pesca del día. Filetear el pescado es una actividad importante dado que se lleva a cabo principalmente en especies de bajo valor comercial, por lo tanto, este proceso de transformación le da un valor agregado al pescado y facilita la entrada del producto en el mercado e incrementa el ingreso de las mujeres beneficiando tanto a las familias como a la comunidad.

Por otro lado, los entrevistados dijeron que existen pocas mujeres que se dedican a la captura di-

recta de especies (aproximadamente 10 pescadoras) y aunque algunas personas las “*admiran porque es un trabajo muy rudo*” existen otras que consideran que son “*marimachitos*”, o sea, que “*son mujeres que se creen hombres*”. Estas opiniones son un reflejo de porqué se considera que dentro de la comunidad “*hay mucho machismo*” y prejuicios como “*es un trabajo muy rudo*”, “*porque ellas no saben. Saben que el mar es riesgoso, no es para mujeres, es para hombres*” (Informante 3, 5) la pesca se considera una labor para hombres debido a esto las mujeres se ven limitadas al momento de acceder a esta actividad, ya que puede resultar un ambiente hostil para ellas.

Discusión

En este artículo se describió el papel de las mujeres en la pesca en pequeña escala en el puerto de Celestún, Yucatán. Este caso refleja similitudes con otras pesquerías en el mundo, de como las mujeres contribuyen a la seguridad alimentaria y a la reducción de la pobreza (Harper *et al.*, 2013). Se identificó que ciertamente las actividades que realizan las mujeres les dan un valor agregado a los productos pesqueros, generando condiciones de igualdad en los mercados, en la comercialización y beneficiando tanto a la industria como a la economía del lugar (CONAPESCA, 2017). De igual forma, se identificó que la labor femenina puede ser importante para la conservación de recursos marino/pesqueros.

La pesca es una actividad económica que contribuye a la seguridad alimentaria y la nutrición de las comunidades pesqueras, sin embargo, esta se ha llevado a cabo de forma insostenible afectando las poblaciones de especies marinas (HLPE, 2014). Debido a lo anterior las mujeres juegan un papel muy importante en la conservación de los recursos marinos. Esto se observa en Celestún ya que ellas realizan actividades de concientización y en algunos casos limpieza de playas con la finalidad de preservar los recursos para las generaciones actuales y futuras. Un caso similar ocurre en la Isla Nativi-

dad (Baja California), donde las mujeres invierten el tiempo y el capital en el manejo sustentable de los recursos (López y López, 2018).

Al igual que en otras partes del mundo, las mujeres tienen una menor participación en la captura directa de especies, debido a que esta, está dominada principalmente por hombres. Es por ello que, las mujeres se emplean principalmente en actividades de post captura (FAO, 2020). Esto también se puede observar en la comunidad de Celestún, las mujeres trabajan en actividades de procesamiento (fileteado, limpieza, embolsado), y como pachocheras. Algo similar sucede en Europa como en Mozambique, Africa, las mujeres se emplean para la comercialización, transformación y otras actividades relacionadas con la pesca, mismas que, son cruciales tanto para las familias, como para la comunidad (Harper *et al.*, 2013).

Una creencia común es que algunas de las habilidades que las mujeres poseen se derivan del manejo del hogar (Pedroza, 2019). En la comunidad de Celestún algunas mujeres trabajan para generar ingresos y se considera que son buenas administradoras, debido al papel que juegan administrando los recursos de sus hogares. A pesar de realizar actividades primordiales dentro de la cadena de valor se sigue



considerando que las mujeres juegan un papel secundario dentro de la pesca artesanal. En Celestún al igual que en Chile existen prejuicios como que las mujeres no son aptas para un trabajo tan rudo que limitan el ingreso de las mujeres a otras actividades económicas debido al machismo que hay dentro de la comunidad. Sin embargo, en Celestún se considera que a las mujeres no se les discrimina

en el sector pesquero a pesar de tener una menor participación en la captura directa de especies. Por otro lado, en Chile existen organismos internacionales e institucionales que buscan visibilizar el rol de la mujer en la pesca artesanal para poder generar nuevas oportunidades de desarrollo (Álvarez, *et al.* 2017)

Conclusión

Gracias al trabajo que realizan las mujeres la pesca artesanal puede seguir siendo un motor de desarrollo en muchos países debido al valor económico, social y alimentario que genera. Sin embargo, el incremento poblacional ha aumentado la presión en los recursos marinos, es por ello que los habitantes de las comunidades costeras buscan desarrollar alternativas para poder llevar a cabo esta actividad de forma sustentable y así poder conservar sus recursos. Para la realización de esta actividad econó-

mica de forma sustentable las mujeres juegan un papel crucial en el mantenimiento de sus hogares y la economía de sus comunidades. Sus aportaciones son importantes para la seguridad alimentaria de muchas familias, de igual forma juegan un papel importante para la conservación de especies marinas evitando poner en riesgo la disponibilidad de los recursos marinos tanto para las generaciones actuales como futuras.

Agradecimientos

Las autoras agradecen el apoyo al proyecto PAPIIT IG300622 de la Universidad Nacional Autónoma de México, gracias a este se pudo llevar a cabo este proyecto.

Referencias

- Abila, R., 2020. La ventaja de la pesca y la acuicultura. (4-43) FIDA. https://www.ifad.org/documents/38714170/41421401/fisheries_advantage_s.pdf/6f380334-50a7-c6d9-9a87-45a02e81485b
- Álvarez, M., Ruiz, G., Collao, D., Gajardo, C., 2017. La visualización femenina en la pesca artesanal: transformaciones culturales en el sur de Chile. Polis, *Revista Latinoamericana*. 16 (46) 175-191
- Anderson, J. L. (2003). The international seafood trade. CRC Press.
- CINVESTAV, 2008. Plan de manejo y operación del comité de administración pesquera de escama y pulpo. <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/otrasPublicaciones/Comite-Administracion-pulpo.pdf>



- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2017. SAGARPA-CONAPESCA ha invertido 880 millones de pesos en proyectos pesqueros y acuícolas en beneficio de 11 mil mujeres. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/sagarpa-conapesca-ha-invertido-880-millones-de-pesos-en-proyectos-pesqueros-y-acuicolas-en-beneficio-de-11-mil-mujeres>
- CONANP, 2002. Programa de manejo. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=54®=11>
- CONAPESCA, 2017. Rol de la mujer en la pesca, cada vez más importante en México. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/rol-de-la-mujer-en-la-pesca-cada-vez-mas-importante-en-mexico>
- CONAPESCA, 2018. Necesario reconocer, visibilizar y medir la participación femenina en estas actividades. <https://www.gob.mx/conapesca/es/prensa/crucial-la-participacion-de-la-mujer-en-el-sector-pesquero-y-acuicola-de-mexico-175565?tab=>
- Cortés, I., 2012. Aspectos agrarios de la producción de sal en Yucatán en el presente neoliberal. *Temas Antropológicos*. 34 (2) 101-127.
- Escobar, J., 2007. El desarrollo sustentable en México (1980-2007). *Revista Digital Universitaria*. 9 (3) 1-13.
- FAO, 2016. Basado en estudios realizados en Chile, Colombia, Paraguay y Perú: El rol de la mujer en la pesca y la acuicultura. <https://www.fao.org/3/i5731s/i5731s.pdf>
- FAO, 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma.
- Glockner, A. 2014. Ecología poblacional y pesquería del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en Bahía de los Ángeles, Baja California, México. Tesis de maestría. CICESE, México.
- Gustavsson, M., 2020. Women's changing productive practices, gender relations and identities in fishing through a critical feminisation perspective. *Journal of Rural Studies*. 78, 26-46.
- Harper, S.; Zeller, D., Hauzer, M., Pauly, D., Sumaila, U. R., 2013. Women and fisheries: Contribution to food security and local economies. *Marine Policy*, 39, 56-63.
- HLPE, 2014. La pesca y la acuicultura sostenibles para la seguridad alimentaria y la nutrición. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma.
- INMUJERES, 2008. Género y sustentabilidad: Reporte de la situación actual.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2018. Artículo 3. XI. Desarrollo sustentable. https://www.senado.gob.mx/comisiones/medio_ambiente/docs/LGEEPA.pdf
- López I.; López, R., 2018. Las mujeres y el sector pesquero en México. dataMares. InteractiveResource. <https://doi.org/10.13022/M30K9N>
- López, J.; Ramos, J., Velázquez, I., Cabrera, A., Salas, S., Flores, D., 2021. Artes y Métodos de Pesca de la península de Yucatán. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida. Universidad Nacional Autónoma de México. México 70 p.
- Marine Stewardship Council, 2021. ¿qué es la pesca sostenible?. <https://www.msc.org/es/que-hacemos/nuestro-enfoque/que-es-la-pesca-sostenible>
- Monroy, C.; Gutiérrez, C.; Medina, H., Uribe, M., Chable, F., 201. La actividad pesquera de la flota ribereña en el estado de Yucatán: pesquería de escama. Coyoacán, Ciudad de México. INAPESCA.
- Naciones Unidas México, 2015. ¿Qué es el desarrollo sostenible y por qué es importante?. <https://www.onu.org.mx/que-es-el-desarrollo-sostenible-y-por-que-es-importante/>
- Nevárez, M.; Cotero, C., García, W., Jacob, M., Green, Y., Gluyas, G.; Martínez.; M., Santos, J., 2012. Propuesta de plan de manejo para la pesquería de pelágicos menos (sardinias, anchovetas, macarela y afines). <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/pelagicos/PlanManejoPelMen.pdf>
- Pedroza, C., 2019. Managing Mercado del Mar: a case of women's entrepreneurship in the fishing industry. Springer. (1-14)
- Pinkus, M., Pinkus, M., 2017. Retos, oportunidades y fracasos del ecoturismo. Reserva de la Biósfera Ría Celestún, México. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida. UNAM. 248 p.
- Ramos, J.; Cabrera, A., López, J., Flores, D., 2021 Especies comerciales de la pesca artesanal en la península de Yucatán. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida. Universidad Nacional Autónoma de México. México 204 p.
- Ramos, J., Cabrera, M., Salas, S.; López, J., Flores, D., Torres, E., Velázquez, I., Sosa, M., Romero, S., Dorantes, M., Calderón, C., Alatorre, V., Gómez, F., Printzen., López, R.; Oviedo, V., Silveira, V., Chable, A., 2021. Una breve acercamiento a las pesquerías. Recursos, Captura y Estado de Explotación. CINVESTAV-UNAM-EPO-MEZ-UAC. 50p
- Secretaría de Marina, 2020. Celestún Yucatán. <https://digao-hm.semar.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioCelestun.pdf>
- SIAP, 2012. Del fondo del mar al plato. <http://siaprendes.siap.gob.mx/contenidos/3/05-pesca/contexto-2.html#>
- SNIM, 2010. Datos Generales. <http://www.snim.rami.gob.mx/>
- Solano, N.; Lopez, I., Fernandez, F., Torre, J., 2021. Revelando el papel de la mujer y su inclusión en la Pesca en Pequeña Escala (PPE) mexicana. *Frontiers in Marine Science*. 7 (1201) 1-14.
- Torre, J.; Hernández, A., Fernández F., López, J., Espinosa, M., 2019. Empoderamiento de las mujeres, acciones colectivas y pesca sostenible: lecciones de México. *Maritime Studies* 18 (373) 1-12.
- Uc, M., 2007. Estrategias de vida en hogares costeros, estudio de caso en Celestún, Yucatán. Tesis de Maestría. CINVESTAV. México.

Paz-Ríos, C. E., Sosa-López, A., Torres-Rojas, Y. E., 2022. Diversidad y función de la macrofauna del suelo: información clave para el estudio de la sustentabilidad de sistemas socio-ecológicos. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 4(1): 51-62. doi 10.26359/52462.0422



Diversidad y función de la macrofauna del suelo: información clave para el estudio de la sustentabilidad de sistemas socio-ecológicos tropicales

Diversity and function of soil macrofauna: key information for studying the sustainability of tropical social-ecological systems

*Carlos E. Paz-Ríos**, *Atahualpa Sosa-López* y *Yassir E. Torres-Rojas*

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche. Campus VI, Av. Héroe de Nacozari 480. C.P. 24029.
San Francisco de Campeche, Campeche, México.

* autor de correspondencia: carlepaz@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0422

Recibido 04/mayo/2022. Aceptado 12/agosto/2022

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Edgar Mendoza Franco

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



Resumen

La diversidad biológica es un elemento natural inherente en los sistemas socio-ecológicos. De la gran diversidad de especies, existe un grupo de invertebrados de talla pequeña (2–20 mm) que habitan los suelos terrestres y los sedimentos acuáticos conocido como macrofauna. Contrario a lo que indica su nombre, la macrofauna generalmente pasa desapercibida, es poco representada en los inventarios biológicos o programas de manejo, y no se contempla en alguna agenda política, pero está conformada por una gran cantidad y variedad de grupos de especies que presentan una elevada diversidad de formas y estilos de vida. Conocer esta diversidad de especies, así como su función en los ambientes terrestres y acuáticos es esencial para entender su contribución al estudio de la sustentabilidad en los sistemas socio-ecológicos, al proporcionar información clave que avanzaría nuestra comprensión sobre el rol de la macrofauna en la calidad de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas. Además, resulta apremiante debido a que la macrofauna enfrenta amenazas por las actividades humanas, lo que podría ocasionar modificaciones locales en los procesos que se llevan a cabo en el suelo. Por lo tanto, el propósito de la presente obra es, de manera general, dar a conocer al lector los principales grupos de especies que conforman la macrofauna del suelo, el rol funcional equivalente que desempeñan estos organismos en los ambientes terrestres y acuáticos, así como su importancia en estudios sobre la evaluación de la sustentabilidad de sistemas socio-ecológicos tropicales.

Palabras clave: biodiversidad, macrofauna béntica, macrofauna edáfica, rasgos funcionales, ecosistemas.

Abstract

The biological diversity is a natural inherent element of social-ecological systems. Within the great species diversity there is a group of small invertebrates (2–20 mm), inhabiting terrestrial soils and aquatic sediments, known as macrofauna. Contrary to its name indicates, the macrofauna is generally overlooked, poorly represented in biological inventories or management programs, and not contemplated in any political agenda, but they consist of high number and many groups of species with a high diversity in shapes and functions. Knowing this diversity and their functions in both terrestrial and aquatic habitats is fundamental to understand its role within the social-ecological systems, by giving key information that would advance our comprehension on the role of macrofauna in the quality of environmental services provided by ecosystems. Furthermore, this understanding is crucial due to the fact that the macrofauna is threatened by anthropogenic activities, which could lead to local modifications in the processes that take place in the soil. Therefore, the purpose of this work is, in general, to make known to the reader the main species groups that integrate the macrofauna, the equivalent functional role that these organisms play in the terrestrial and aquatic habitats where they occur, as well as their importance in studies of sustainability in tropical social-ecological systems.

Keywords: Biodiversity, benthic macrofauna, edaphic macrofauna, functional traits, ecosystems.



Introducción

La biodiversidad es entendida como la variedad de formas de vida que habitan la Tierra. Su unidad básica de medida son las especies, que ocupan diferentes ambientes físicos conocidos como hábitats en donde viven, se alimentan y reproducen. Así, las especies no son las mismas en diferentes hábitats, por lo cual, la biodiversidad no está igualmente distribuida (Gaston, 2000). Es decir, el tipo y número de especies dependen de las características físicas del espacio, por ejemplo, las plantas y animales típicos de los bosques tropicales en Chiapas son diferentes al de los bosques templados en Baja California. Por lo tanto, la disposición de la vida en la Tierra no es al azar y obedece a múltiples requerimientos (p.ej. lluvia, temperatura, refugio) que las especies necesitan satisfacer para su supervivencia.

Hay una gran diversidad de hábitats en los ambientes terrestres y acuáticos. En el marco del presente trabajo nos enfocaremos a los suelos de ambos ambientes, particularmente a los hábitats del suelo terrestres como la capa superficial de los continentes y los hábitats del suelo acuáticos como el sedimento superficial que se encuentra en el fondo de los mares. No obstante que reconocemos que la biodiversidad cambia notablemente de un ambiente a otro, existe cierta convergencia en cuanto a las formas de vida y función de las especies de animales que conforman los suelos terrestres y marinos al ser habitados por un conjunto de invertebrados de talla pequeña conocidos como macrofauna.

La semejanza entre la macrofauna de los suelos terrestres y de los sedimentos marinos es resultado de limitaciones impuestas a los organismos a un estilo de vida fosorial; es decir, a un estilo de vida poco expuesto que consiste en adaptaciones a través del tiempo (evolución) en su forma, maneras de alimentación y modos de reproducción relacionadas con la excavación y que los condujo a una vida subterránea (Bétard, 2021; Watson-Zink, 2021). Dichas adaptaciones han dotado de características (p.ej. cuerpo vermiforme) y capacidades (*e.g.* asimilar detritus) a las especies de la macrofauna para

llevar a cabo funciones ecológicas y vínculos tróficos equivalentes en los suelos terrestres y sedimentos marinos. Entre las funciones que comparten los organismos macrofaunales sobresalen su participación activa en la transferencia de materia y energía del suelo a la superficie del mismo y viceversa (Gray y Elliot, 2009; Lavelle *et al.*, 2021). Las actividades que realizan las especies de la macrofauna a lo largo de sus ciclos de vida tienen un impacto en el medio ambiente, por ejemplo, hay especies terrestres y marinas con estilos de vida que construyen y ocupan tubos o galerías al interior del suelo para vivir. La conexión de estos conductos ayuda al intercambio de gases (p.ej. oxígeno, dióxido de carbono) entre la atmósfera y el interior del suelo terrestre, y a la circulación de nutrientes (*e.g.* detritus) entre el agua de fondo y el interior del sedimento marino; otras especies de la macrofauna tienen modos de alimentación en la que consumen materia orgánica enterrada o superficial, lo que ayuda a la descomposición y reciclado de la misma (Ramírez, 1995; Seymour *et al.*, 1998).

La macrofauna forma parte de espacios ambientales compuestos de múltiples grupos de especies (comunidades) y múltiples ambientes físicos (hábitats) conocidos como ecosistemas. Los ecosistemas terrestres (*e.g.* desiertos, pastizales) y marinos (*e.g.* planicies arenosas, arrecifes) dan sostén a una gran diversidad de especies, incluyendo al ser humano. Un caso particular son los ecosistemas costeros (*e.g.* playas arenosas), que albergan una fracción considerable de la población mundial, manteniendo actividades productivas altamente redituables (Ward *et al.*, 2020), y en donde las especies de la macrofauna se encuentran influenciadas al mismo tiempo por características propias del continente (*e.g.* tipo de sedimento) y del mar (*e.g.* oleaje), siendo ocupados por organismos altamente acondicionados a ambientes de transición (*e.g.* desecación por mareas). Las actividades de la macrofauna en los diferentes ecosistemas del suelo se llevan a cabo simultáneamente a las actividades del ser humano, por lo



que podemos tratar esas actividades desde el punto de vista de los sistemas socio-ecológicos (SSE). Los SSE son la unidad básica de estudio de la sustentabilidad y el desarrollo sustentable (Salas-Zapata *et al.*, 2011). Se entiende por desarrollo sustentable a lo presentado en el Informe Brundtland por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 1987 como, el desarrollo (actividades productivas) que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones a satisfacer sus necesidades. Los SSE incluyen características y funciones de tres componentes principales para el desarrollo sustentable: i) el medio ambiente, ii) la sociedad que ahí vive, y iii) la condición económica en que la sociedad se desarrolla (Salas-Zapata *et al.*, 2011). La idea de referirse a SSE es hacer evidente la interdependencia de la sociedad y la naturaleza (Ostrom, 2009).

La macrofauna del suelo es un componente biológico del medio ambiente presente en todos los SSE, por lo que su interacción con la actividad humana y/o sus prácticas productivas podría ser entendida en un espacio definido y un periodo de tiempo establecido. Existen características biológicas de las especies (*e.g.* sensibilidad a contaminantes) que hacen que la macrofauna sea considerada

un indicador ecológico de la salud de los suelos en los diferentes ecosistemas terrestres y marinos, por lo que pueden ser incluidos en estudios dedicados a describir el funcionamiento de un ecosistema (*e.g.* ciclo del carbono) o en estudios que midan el impacto de la actividad humana sobre el suelo (Lavelle *et al.*, 2021; Watson-Zink, 2021).

Para entender la interacción sociedad-naturaleza es necesario reconocer las diferentes partes de un todo, por lo tanto, el propósito del trabajo es describir de manera general la diversidad de la macrofauna del suelo, su función en los ecosistemas, y su interacción con otros elementos de los SSE. La presente obra recopila e interpreta información generada por investigaciones que fueron publicadas en artículos científicos que ponen de manifiesto la importancia de la composición de especies de la macrofauna en ambientes terrestres y marinos (destacando las fuentes para el estado de Campeche), el impacto de sus actividades en los diferentes ambientes y las posibles implicaciones de su acondicionamiento a una vida subterránea al funcionamiento de los ecosistemas, elaborando una clasificación de la macrofauna según el estrato de suelo o sedimento que ocupa y el grupo funcional al cual pertenece.

La macrofauna

La macrofauna incluye a todas las especies de animales invertebrados de talla pequeña, pero visibles sin equipo especializado que habitan la superficie y usualmente los primeros 10 cm del suelo (Gray y Elliot, 2009; Lavelle *et al.*, 2021). También es posible distinguir entre grupos de especies, por lo que al conjunto de especies que habitan los suelos terrestres se les llama macrofauna edáfica; estos organismos tienen tallas entre 2 y 20 mm, pero pueden alcanzar hasta 200 mm en el caso de algunas lombrices e insectos. El grupo de especies que habitan los sedimentos marinos se llama macrofauna béntica, y tienen tallas entre 5 y 10 mm, pero en

casos excepcionales pueden alcanzar hasta 300 mm en el caso de algunos crustáceos.

Diversidad de la macrofauna

En el ambiente terrestre a nivel mundial, se calcula que un poco más de 1.5 millones de especies podrían formar parte de la comunidad del suelo presentes en diversos ecosistemas (*p.ej.* bosques, cultivos, praderas) (Swift *et al.*, 2012). Hasta el momento, el inventario de la macrofauna edáfica indica que los grupos de especies más comunes encontrados en el suelo con una riqueza específica alta son los artrópodos hexápodos que incluyen



a los grillos, polillas, termitas (aprox. 900 000 especies), los artrópodos quelicerados que incluyen a las arañas y escorpiones (aprox. 100 000 especies), los moluscos gasterópodos que incluyen a las babosas y caracoles (aprox. 40 000 especies), los crustáceos isópodos que incluyen a las cochinillas (aprox. 11 000 especies) y los gusanos oligoquetos que incluyen a las lombrices de tierra y gusanos enquitreidos (aprox. 8,800 especies) (figura 1) (Swift *et al.*, 2012); sumadas todas estas especies representan una parte muy importante (aprox. 40 %) de la biodiversidad total del suelo. En Campeche, los estudios sobre macrofauna edáfica se han dirigido a conocer su diversidad y distribución en agroecosistemas (Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011) y áreas naturales (Chan, 2002; Huerte *et al.*, 2018; Sánchez-Silva *et al.*, 2018), destacando en los pocos sitios muestreados una alta riqueza de hormigas, gusanos de tierra y termitas.

En contraste, en el ambiente marino se calcula que hay aproximadamente 226 000 especies a nivel mundial descritas (Appeltants *et al.*, 2012) que se presentan en diferentes ecosistemas en los océanos (p.ej. playas arenosas, arrecifes de coral, pastos marinos). En cuanto a la macrofauna béntica (figura 2), el conteo de especies indica que los grupos de especies más comunes encontrados en el sedimento son los moluscos que incluyen a las almejas, ostras y caracoles (aprox. 49 700 especies), los crustáceos que incluyen a los camarones, isópodos, pulgas de mar y cangrejos (aprox. 25 900 especies), los gusanos poliquetos (aprox. 13 700 especies), y los equinodermos que incluyen a las estrellas, erizos y pepinos de mar (aprox. 7 300 especies) (Appeltants *et al.* 2012); sumadas todas estas especies representan una parte (aprox. 42 %) muy importante de la biodiversidad total del sedimento. En la costa de Campeche, los estudios sobre macrofauna béntica

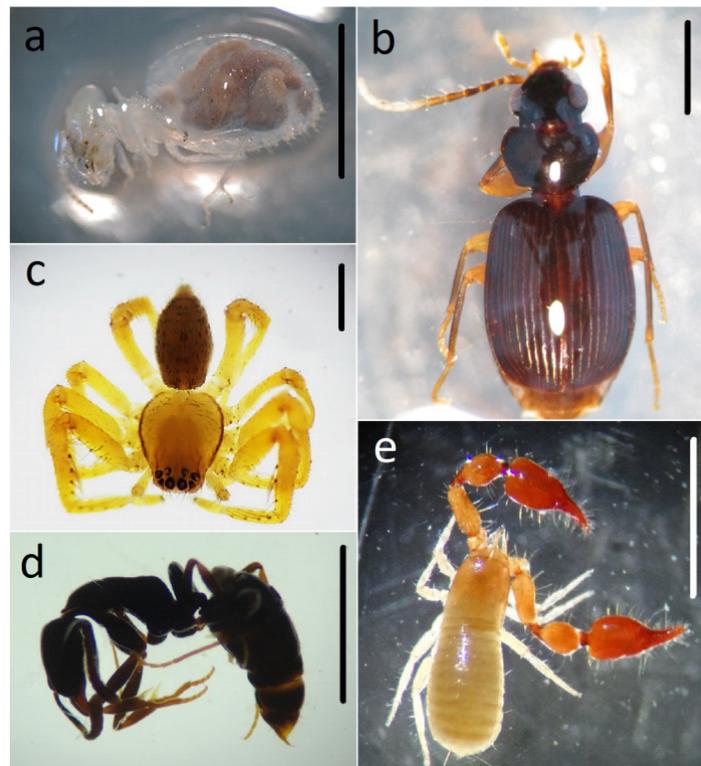


Figura 1. Organismos de la macrofauna edáfica encontrados en Campeche (Reserva de la Biósfera Calakmul): a) Termita, b) Escarabajo, c) Araña, d) Hormiga, e) Pseudoescorpión. La escala representa 1 mm. Fotos de Sarai Sánchez Silva.

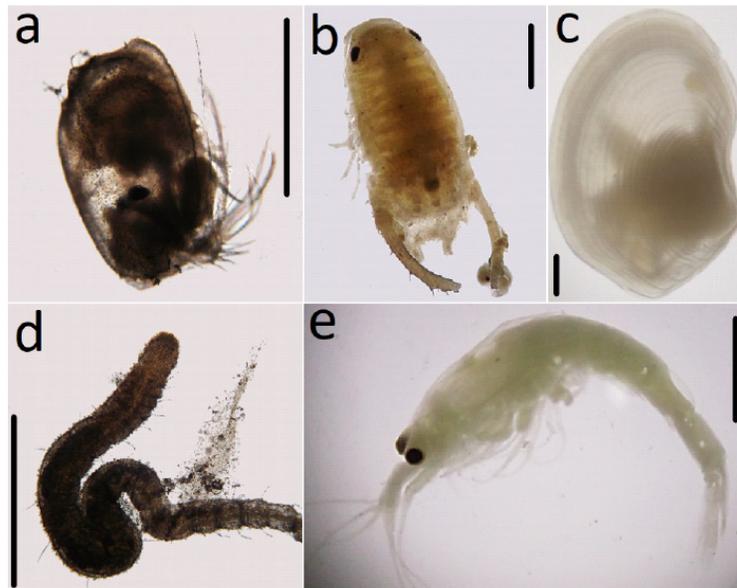


Figura 2. Organismos de la macrofauna béntica encontrados en Campeche (Reserva de la Biósfera Los Petenes): a) Crustáceo ostrácodo, b) Crustáceo isópodo, c) Molusco bivalvo, d) Gusano poliqueto, e) C crustáceo misidáceo. La escala representa 1 mm. Fotos de Anabel León Hernández.

ca se han dirigido a conocer su distribución espaciotemporal en lagunas costeras (González-Solis y Torruco, 2001; Pech *et al.*, 2015), pastos marinos (González-Solis *et al.*, 2018; Ocampo-Alvarez *et al.*, 2020) y la zona sublitoral (Hernández-Arana *et al.*, 2003; Quiroz-Martínez *et al.*, 2021), destacándose un elevado número de especies de crustáceos, gusanos poliquetos y moluscos.

Es necesario aclarar que las especies no están igualmente distribuidas en la columna del suelo o sedimento. Unas especies se encuentran en los estratos más superficiales y otras en los más profundos, además, toda esa diversidad puede tener una preferencia hacia un conjunto de características ambientales por lo que pueden agruparse dependiendo de la necesidad por un alimento preferido o un refugio en particular, lo que aumenta el nivel de complejidad en la manera de cómo las especies se organizan en la naturaleza (tabla 1). La elevada diversidad de especies en cierto ecosistema (*e.g.* bosques tropicales, arrecife de coral) puede explicarse por la amplia disponibilidad de hábitats (y microhábitats) y las diferentes fuentes de alimento

(Gaston, 2000), propiciando que haya una riqueza de especies extremadamente alta en la macrofauna.

Función de la macrofauna

En términos generales, dependiendo de las características morfológicas de los organismos, su posición en el sustrato y grupo funcional al cual pertenecen, serán los cambios al suelo terrestre o sedimento marino (*e.g.* formación de canales), las interacciones bióticas que puedan establecer (p.ej. competencia) y la influencia en los ciclos biogeoquímicos que puedan ejercer (p.ej. proceso de oxidoreducción) (Gray y Elliott, 2009; Briones, 2014).

Al habitar la columna del suelo, las especies edáficas y bénticas contribuyen activamente en la transferencia de materia y energía de un estrato a otro, de arriba para abajo y viceversa. Si bien cada especie es única en el hábitat, es ampliamente reconocido que existe un grado de redundancia entre organismos de la macrofauna en términos de su aporte a los procesos de un ecosistema, es decir, existen organismos de grupos taxonómicos diferentes que realizan actividades que transforman de



Tabla 1. Clasificación de las especies de la macrofauna edáfica y béntica según su posición en el suelo o sedimento, y el grupo funcional (o gremio trófico) al cual pertenecen. Información de Lavelle *et al.* (1997) y Gray y Elliott (2009).

Macrofauna edáfica	
Posición en el suelo	Estrato
Epigeos	Externo
Anécicos	Externo e interno
Endógeos	Interno
Grupo funcional	Actividad
Descomponedores	Por su alimentación, fragmentan la materia orgánica no descompuesta y la hojarasca, ayudando a su descomposición
Ingenieros del ecosistema	Por bioturbación forman estructuras externas (montículos) e internas (redes de galerías) que facilitan el acceso de recursos a otros organismos
Herbívoros de raíces	Viven en asociación directa con la planta viva, para beneficio o detrimento de la misma
Macrofauna béntica	
Posición en el sedimento	Estrato
Epifauna	Externo
Infauna	Interno y externo
Gremio trófico	Tipo de alimento
Detritívoros	Se alimentan de materia orgánica en descomposición
Herbívoros	Se alimenta de algas y de pastos marinos
Carroñeros	Se alimenta de cadáveres de otros organismos
Filtradores	Se alimenta de materia suspendida en la interface agua-sedimento
Depredadores	Se alimenta de otros organismos que cazan activamente
Omnívoros	Se alimentan de una amplia variedad de materia de origen vegetal y animal.

manera similar el hábitat, formado así grupos funcionales específicos (Sanz-Lázaro y Marín, 2011; Briones, 2014). Por ejemplo, un grupo de organismos denominados “ingenieros de los ecosistemas”, formado en la macrofauna edáfica entre otros por gusanos oligoquetos (lombrices) y en la macrofauna béntica entre otros por gusanos poliquetos, realizan cambios físicos en el suelo a través de un proceso conocido como bioturbación, que consiste en la reelaboración del suelo, modificando la disponibilidad de recursos a otros organismos, llegando a influir en la vegetación terrestre y en la acuática sumergida (Lawton, 1994; Meysman *et al.*, 2006). Estos ingenieros de los ecosistemas también crean estructuras biogénicas que ejercen un efecto regulador sobre otros organismos a través de diversas actividades como: i) la competencia por recursos,

ii) activación de la microflora edáfica y consorcios bacterianos, iii) influir en el ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes, y iv) modular cambios en la actividad rizosférica, es decir, en el crecimiento de las raíces y de los organismos que las habitan (Snelgove *et al.*, 1997; Lavelle *et al.*, 1997; Briones, 2014).

Otro grupo de organismos denominados “descomponedores”, formado en la macrofauna edáfica entre otros por hormigas y escarabajos y en la macrofauna béntica entre otros por anfípodos e isópodos, también realizan cambios físicos en la materia orgánica depositada o enterrada en el suelo a través de un proceso conocido como degradación, que consiste inicialmente en la transformación de la materia por parte de bacterias (Sanz-Lázaro y Marín, 2011) y en donde la macrofauna interviene de



manera fundamental en este proceso al participar con la fragmentación de la misma en partes más pequeñas por acción de sus piezas bucales trituradoras; por ejemplo, las hormigas sobre hojas en hábitats forestales (McGlynn y Poirson, 2012) o los anfípodos sobre vegetación acuática (*e.g.* pastos marinos, macroalgas) que recalca en hábitats de playas arenosas (Dias y Hassall, 2005). La degradación de la materia orgánica es de suma importancia en la estructura y función de los ecosistemas, ya que se puede incorporar a la cadena alimenticia a través del consumo por la macrofauna, o al aportar nutrientes inorgánicos (*e.g.* fosforó, nitrógeno) que sirvan a los productores primarios, lo que ayudaría al crecimiento de plantas en ecosistemas terrestres y del plancton en ecosistemas acuáticos.

También, la macrofauna edáfica y béntica al transitar en la columna del suelo forman redes de galerías, madrigueras y oquedades abiertas hacia la superficie del suelo que promueven la oxigenación e irrigación del agua al interior del suelo (Snelgove, 1999; Swift *et al.*, 2012). De la macrofauna edáfica, las termitas son consideradas los ingenieros de los ecosistemas por excelencia en áreas tropicales semiáridas, mientras que las lombrices lo son en regiones con climas húmedos, siendo ambos grupos de especies capaces de mover hasta 1 300 kg de suelo por hectárea al año (Kooyman y Onck, 1987). Por su parte, la diversidad de gremios tróficos en la macrofauna béntica representa una amplia variedad de modos de alimentación, indicando que las especies son consumidores eficientes en un mismo hábitat al aprovechar diferentes fuentes de alimento como partículas de detritus suspendido o depositado en el sedimento (Snelgove, 1999; Kristensen *et al.*, 2014). Además, si se toma en cuenta

que el ciclo de vida de las especies de la macrofauna béntica en latitudes tropicales es generalmente corto (*e.g.* 1 o 2 años) (Johnson *et al.*, 2001), esta macrofauna aporta cantidades altas de producción secundaria en el flujo de energía agua-sedimento (Duffy y Hay, 2000). Así, los organismos bénticos representan una fuente potencial de alimento para especies de niveles tróficos superiores en la cadena alimenticia, como peces y crustáceos mayores. Por ejemplo, en lagunas costeras algunos microcrustáceos forma parte de la dieta de crustáceos decápodos de importancia comercial como los camarones (Corona *et al.*, 2000) o en aguas abiertas, en donde el grupo de los moluscos bivalvos, los crustáceos misidáceos y los gusanos poliquetos forma parte de la dieta de peces de importancia comercial como los lenguados (Link *et al.*, 2002). Así pues, la macrofauna béntica es un vínculo clave para la transferencia de energía en la trama trófica contribuyendo a la producción de recursos pesqueros. Al igual que en la macrofauna edáfica, las especies bénticas están estrechamente relacionadas con el sedimento y lo modifican por medio de la bioturbación (Meysman *et al.*, 2006). La bioturbación en el ambiente marino puede cambiar la dirección de la circulación del agua de fondo hacia el interior del sedimento, por lo que la macrofauna tiene la capacidad de impactar en los ciclos biogeoquímicos (*p.ej.* oxigenación, desnitrificación) ayudando a la irrigación de elementos (*p.ej.* oxígeno) y compuestos (*p.ej.* nitrato) de la superficie al interior del sedimento y viceversa a través de un proceso llamado bioirrigación (Sanz-Lázaro y Marín, 2011; Rabaut *et al.*, 2013). La bioirrigación mantiene la calidad de los hábitats terrestres y acuáticos, contribuyendo al funcionamiento adecuado de los ecosistemas.



Aporte de la macrofauna a la resiliencia de los ecosistemas

Debido a que la macrofauna está formada por organismos que generalmente pasan desapercibidos a primera vista por su talla pequeña y un estilo de vida poco expuesto, su rol en la estructura y función en los SSE generalmente pasa sin ser notorio para el ser humano. No obstante, es un componente biológico importante que está presente en grandes cantidades en todos los continentes y océanos. El aporte práctico de la macrofauna edáfica y béntica a la resiliencia de los SSE es por medio de la prestación de servicios ecosistémicos (*e.g.* aireación del suelo, absorción de residuos, purificación del agua, irrigación del sedimento) (Snelgove, 1999; Briones, 2014; Kadykalo *et al.*, 2019).

Estos servicios son propiedades o procesos de los ecosistemas naturales importantes que dan sostén a la vida en la Tierra, y representan un beneficio a los humanos, derivado directa o indirectamente de la función de los ecosistemas (Constanza *et al.*, 1997). Por ejemplo, en las prácticas de producción agrícola se presenta una serie de cambios acumulativos en una localidad (*e.g.* compactación del suelo) y estos cambios contribuirían al incremento de los problemas ambientales con impactos negativos en la persistencia de la macrofauna edáfica. Estos problemas se pueden reflejar como una degradación del suelo, desertificación (baja o nula productividad), pérdida de biodiversidad, escasez de agua, entre otros. Hay estudios que reportan que el cambio de uso de suelo altera los procesos ecológicos primarios con efectos adversos en el desarrollo de las especies edáficas y alteraciones de sus funciones (Paoletti *et al.*, 1991; Gardi *et al.*, 2002). No obstante, existe información útil de carácter práctico que podría servir como un medio de biorremediación para contrarrestar dichos efectos negativos en los SSE, como el hecho de que las lombrices y termitas mejoran la estructura y porosidad del suelo, ayudando a su regeneración, lo que evitaría o disminuiría el uso de insecticidas beneficiarían la proliferación de esos organismos (Sánchez y Reinés, 2001).

De igual manera, para el caso de la macrofauna béntica, los servicios ecosistémicos recaen en el funcionamiento de la diversidad de la macrofauna que mantiene las tramas tróficas y los ciclos biogeoquímicos en un estado de buen funcionamiento. Por ejemplo, las especies bénticas llevan a cabo distintos modos de perturbar e irrigar el sedimento, lo que lleva a que la condición del suelo marino sea más propicia para el desarrollo de poblaciones naturales que si todas las especies de la macrofauna tuvieran el mismo modo de bioturbación y/o bioirrigación. También, la macrofauna ayuda a la absorción y descomposición de la materia orgánica en el sedimento al ser consumida por las especies bénticas, o al ponerla disponible para otras especies a través de la resuspensión. Así, por medio del tratamiento de la materia orgánica del sedimento, las especies ayudan a evitar una contaminación por enriquecimiento orgánico en los SSE marinos (*p.ej.* granjas de peces), lo que conduciría a un estado de baja o nula oxigenación en el sedimento (anoxia) con repercusiones negativas en la calidad de la columna de agua y potenciales afectaciones económicas atribuidas a una baja productividad del ecosistema (Coen *et al.*, 2007; Sanz-Lázaro y Marín, 2011).

Las características ecológicas de la macrofauna como los descriptores (*e.g.* abundancia, diversidad, dominancia) y los atributos (*e.g.* estilos de vida, modos de alimentación) de una comunidad son ampliamente usados como indicadores de calidad del hábitat (Mathieu *et al.*, 2005; Sanz-Lázaro y Marín, 2011, Briones, 2014; Kristensen *et al.*, 2014). Las variaciones en el espacio y el tiempo de esas características proporcionan valiosa información del estado de salud de las poblaciones de la macrofauna en condiciones naturales, que puede ser comparadas con poblaciones sujetas a condiciones de estrés resultado de la contaminación, destrucción del hábitat, cambio climático o sobreexplotación. En este sentido, la distribución de es-



pecies de la macrofauna a nivel ecosistémico aporta elementos que pueden ayudar a cuantificar el grado de conservación o perturbación de un SSE. Por lo tanto, es importante prevenir que los atributos de una comunidad de macrofauna sean modificados

permanentemente, ya que esto pone en riesgo el equilibrio de los SSE, disminuyendo así su resiliencia, es decir, su capacidad de recuperación (adaptación) ante algún evento de perturbación natural o humana.

Consideraciones finales y perspectivas

La macrofauna es de suma importancia para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. La presente contribución buscó realzar la función equivalente de la macrofauna edáfica y béntica en sus respectivos ambientes, exponiendo algunas convergencias de las actividades entre estos organismos que modifican las características del suelo terrestre y del sedimento marino. No obstante del conocimiento que se tiene de ellos, aún hace falta comprender mejor el efecto de las actividades humanas en la macrofauna de sistemas socio-ecológicos tropicales y como este impactaría en el funcionamiento de los ecosistemas. Por lo tanto, uno de los retos sería adecuar métodos de campo eficientes para cuantificar la diversidad de la macrofauna con el objetivo de monitorear su variabilidad espacio-temporal tomando en cuenta la complejidad na-

tural local de los respectivos ambientes terrestres y marinos; así se podría conocer e ir actualizando el estado de conservación de los diferentes hábitats. Así mismo, resulta necesario transmitir e intercambiar conocimiento sobre la diversidad y función de la macrofauna con los usuarios directos de los recursos naturales (*e.g.* campesinos, pescadores, tomadores de decisiones) para construir conjuntamente pautas claras dirigidas a aprovechar eficientemente las prácticas de manejo y producción, que por una parte no afecten significativamente la estructura de la trama trófica y la continuidad de los ciclos biogeoquímicos, y por otra parte ayuden a generar estrategias de mercado que apoyen el ingreso de los productores y así contribuir a la sustentabilidad de los sistemas socio-ecológicos.

Agradecimientos

Gracias a los Drs. Daniel Pech y Juan Carlos Pérez de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche y a la Dra. Sarai Sánchez Silva por sus comentarios a la primera versión del manuscrito. Al CONACYT por la beca doctoral asignada a CEPR.



Referencias

- Appeltans, W., Ah Yong, S.T., Anderson, G., Angel, M.V., Artois, T., Bailly, N., Bamber, R., Barber, A., Bartsch, I., Berta, A. y 111 más, 2012. The magnitude of global marine species diversity. *Current Biology*, 22: 2189-2202.
- Bétard, F., 2021. Insects as zoogeomorphic agents: an extended review. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46: 89-109.
- Briones, M.J.I., 2014. Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 2: 1-22.
- Caley, M.J., Fisher, R. y Mengersen, K., 2014. Global species richness estimates have not converged. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(4): 187-188.
- Chan, R., 2002. Estudio faunístico de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la zona costera entre la localidad de Seybaplaya y Hampolol, Campeche, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. 61p.
- Chanatásig-Vaca, C.I., Huerta, L.E., Rojas, F.P., Ponce-Mendoza, A., Mendoza, V.J., Morón, R.A., Vander, W.H. y Dzib-Castillo, B.B., (2011). Efecto del uso de suelo en las hormigas (Formicidae: Hymenoptera) de Tikinmul, Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 27(2): 441-461.
- Coen, L.D., Brumbaugh, R.D., Bushek, D., Grizzle, R., Luckenbach, M.W., Posey, M.H., y Powers, S.P., y Tolley, S.G., 2007. Ecosystem services related to oyster restoration. *Marine Ecology Progress Series*, 341: 303-307.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paeruelo, J., et al, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Corona, A., Soto, L.A. y Sánchez, A.J., 2000. Epibenthic amphipod abundance and predation efficiency of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939) in habitats with different physical complexity in a tropical estuarine system. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 253: 33-48.
- Dias, N. y Hassall, M., 2005. Food, feeding and growth rates of peracarid macro-decomposers in a Ria Formosa salt marsh, southern Portugal. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 325: 84-94.
- Duffy, J.E. y Hay, M.E., (2000). Strong impacts of grazing amphipods on the organization of a benthic community. *Ecological Monographs*, 70: 237-263.
- Gardi, C., Tomaselli, M., Parisi, V., Petraglia A., y Santini, C. 2002. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology*, 38: 103-110.
- González-Solís, A. y Torruco, D., 2001. La fauna béntica del Estero de Sabancuy, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 49(1): 31-45.
- González-Solís, A., Torruco, D., Torruco-González, A.D., 2011. Análisis comparativo de los moluscos en la reserva de la biosfera Los Petenes y lagunas costeras del sureste de México. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 47 (1), 25-44.
- Gray, J.S. y Elliott, M., 2009. Ecology of marine sediments - from science to management. Oxford University Press, Oxford, Inglaterra. 240 p.
- Gaston, K.J., (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405: 220-227.
- Hernández-Arana, H.A., Rowden, A.A., Attrill, M.J., Warwick, R.M., Gold-Bouchot, G., (200). Large-scale environmental influence on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coast and Shelf Science*, 58: 825-841.
- Huerta, L.E., Cid, L.S., Esparza-Olguín, L., Martínez-Romero, E., de Jong, B., y Ochoa-Gaona, S., 2018. Abundance and diversity of earthworms in managed and non-managed fallow lands of Calakmul Reserve of Campeche, Mexico. pp. 9-16. En: Ray, S. (Ed.). *Earthworms - The Ecological Engineers of Soil*. IntechOpen, London. 114 p.
- Johnson, W.S., Stevens, M. y Watling, L., 2001. Reproductive and development of marine peracarids. *Advances in Marine Biology*, 39: 105-260.
- Kadykalo, A.N., López-Rodríguez, M.D., Ainscough, J., Droste, N., Ryu, H., Ávila-Flores, G., Le Clec'h, S., Muñoz, M.C., Nilsson, L., Rana, S., et al., (201). Disentangling 'ecosystem services' and 'nature's contributions to people'. *Ecosystems and People*, 15: 269-287.
- Kooyman, C. y Onck, R.F.M., 1987. Distribution of termite (Isoptera) species in southwestern Kenya in relation to land use and the morphology of their galleries. *Biology and Fertility of Soils*, 3(1): 69-73.
- Kristensen, E., Delefosse, M., Quintana, C.O., Flindt, M.R. y Valdemarsen, T., (2014). Influence of benthic macrofauna community shifts on ecosystem functioning in shallow estuaries. *Frontiers in Marine Science*, 1: 1-14.
- Lavelle, P., Begon, M. y Fitter, A.H., 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27: 93-132.
- Lavelle, P., Mathieu, J., Spain, A., Brown, G., Frago, C., Lapiéd, E., De Aquino, A., Barois, I., Barrios, E., Eleusa Barros, M. y 32 más., 2021. Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. *Global Ecology and Biogeography*, 00: 1- 16. <https://doi.org/10.1111/geb.13492>
- Lawton, J.H., 1994. What do species do in ecosystems? *Oikos*, 71: 367-374.
- Link, J.S., Bolles, K. y Milliken, C.G., 2002. The feeding ecology of flatfish in the Northwest Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 30: 1-17.
- Mathieu, J., Rossi, J.P., Grimaldi, M., Mora, P., Lavelle, P. y Rouland, C., 2005. A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. *Biology and Fertility of Soils*, 40(5): 300-305.



- McGlynn, T.P. y Poirson, E.K., 2012. Ants accelerate litter decomposition in a Costa Rican lowland tropical rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 28: 437-443.
- Meysman, F.J.R., Middelburg, J.J. y Heip, C.H.R., 2006. Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(12): 688-695.
- Ocampo-Alvarez, H., García-Pacheco, R., Romo-Curiel, A.E., Becerril-Espinosa, A. y Gallegos-Martínez, M.E., 2020. Benthic macrofauna, at Class level, in a tropical seagrass meadow exposed to open-sea: relation with environmental variables. *Hidrobiológica*, 30(1): 1-12.
- Ostrom, E., 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325: 419-422.
- Paoletti, M.G., Favretto, M.R., Stinner, B.R., Purrington, F.F. y Bajer, J.E., 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34: 341-362.
- Pech, D., Balam-Zetina, S.B., León-Hernández, A., Núñez-Lara, E. y Rodríguez-Pliego, P., 2015. Los macro invertebrados bentónicos de laguna de Términos: ¿Cuántos son y cómo se distribuyen? pp. 167-180. En: Ramos-Miranda, J. y Villalobos-Zapata, G.J. (Eds.). Aspectos socioambientales de la región de la Laguna de Términos, Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche. 210 p.
- Quiroz-Martínez, B., Hernández-Alcántara, P., Salas-de-León, D.A. y Solís-Weiss, V., 2021. Polychaete (Annelida) diversity patterns in southern Gulf of Mexico: The influence of spatial structure and environmental variables. *Diversity*, 13(9): 425.
- Rabaut, M., Audfroid-Calderón, M., Van de Moortel, L., van Dalfsen, J., Vincx, M., Degraer, S. y Desroy, N., 2013. The role of structuring benthos for juvenile flatfish. *Journal of Sea Research*, 84: 70-76.
- Ramirez, M.G., 1995. Natural history of the spider genus *Lutica* (Araneae, Zodariidae). *The Journal of Arachnology*, 23: 1111-1117.
- Salas-zapata, W., Ríos-Osorio, L. y Castillo, J.A., 2011. La ciencia emergente de la sustentabilidad: de la práctica científica hacia la constitución de una ciencia. *Interciencia*, 36(9): 699-706.
- Sánchez, S. y Reinés, M., 2001. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 24(3): 191-202.
- Sánchez-Silva, S., de Jong, B., Huerta, L.E., Mendoza-Vega, V. y Aryal-Deb, R., 2018. Análisis espacio-temporal de la macrofauna edáfica en Calakmul, Campeche. pp. 484-491. En: Paz, F., A. Velázquez y M. Rojo (Eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo del Carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2018. Programa Mexicano del Carbono & Instituto Tecnológico de Sonora, Texcoco. 686 p.
- Sanz-Lázaro, C. y Marín, A., 2011. Diversity patterns of benthic macrofauna caused by marine fish farming. *Diversity*, 3: 176-199.
- Seymour, R.S., Withers, P.C. y Weathers, W.W., 1998. Energetics of burrowing, running, and free-living in the Namib Desert golden mole (*Eremitalpa namibensis*). *Journal of Zoology*, 244: 107-117.
- Snelgove, P.V.R., Blackburn, T.H., Hutchings, P.A., Alongi, D.M., Grassle, J.F., Hummel, H., King, G., Koike, I., Lamshead, P.J.D., Ramsing, N.B., Solis-Weiss, V., 1997. The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes. *Ambio*, 26:578-583.
- Snelgove, P.V.R., 1999. Getting to the bottom of marine biodiversity: sedimentary habitats. *BioScience*, 49:129-138.
- Swift, M.J., Bignell, D.E., Moreira, F.M.S. y Huising, E.J., 2012. El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. pp. 29-52. En: Moreira, F.M.S., Huising, E.J. y D.E. Bignell (Eds.). Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Instituto Nacional de Ecología. México, México. 337 p.
- Ward, N.D., Megonigal, J.P., Bond-Lamberty, B., Bailey, V.L., Butman, D., Canuel, E.A., Diefenderfer, H., Ganju, N.K., Goñi, M.A., Graham, E.B., et al., 2020). Representing the function and sensitivity of coastal interfaces in Earth system models. *Nature Communication*, 11: 2458. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16236-2>
- Watson-Zink, V.M., 2021. Making the grade: Physiological adaptations to terrestrial environments in decapod crabs. *Arthropod Structure & Development*, 64: 101089. <https://doi.org/10.1016/j.asd.2021.101089>

May-Tec, A.L., Mendoza-Franco, E.F., 2022. Variabilidad temporal de crustáceos parásitos de peces y su importancia para el manejo de los recursos costeros ante el cambio climático antropogénico. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 4(1): 63-78. doi 10.26359/52462.0522



Variabilidad temporal de crustáceos parásitos de peces y su importancia para el manejo de los recursos costeros ante el cambio climático antropogénico

Temporal variability of crustacean parasites of fish and its importance for coastal resource management to anthropogenic climate change

*Ana Luisa May-Tec** y *Edgar Fernando Mendoza-Franco*

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche. Campus VI, Av. Héroe de Nacozari 480. C.P. 24029.
San Francisco de Campeche, Campeche, México.

* autor de correspondencia: analumay@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0522

Recibido 02/julio/2022. Aceptado 12/agosto/2022

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Edgar Mendoza Franco

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



Resumen

El presente trabajo revisa la información generada y disponible en los últimos 20 años sobre los estudios de la variabilidad temporal de las infecciones parasitarias ocasionadas por crustáceos parásitos de peces del territorio mexicano. Se mencionan las posibles respuestas de las infecciones parasitarias ante las modificaciones de los ecosistemas acuáticos ocasionadas por el cambio climático antropogénico. Mediante el estudio de la intensidad de infección de *Argulus yucatanus* (estudio de caso para crustáceos parásitos de peces) se puede observar la respuesta de las infecciones parasitarias ante los cambios de la temperatura del agua. Entre los resultados de las investigaciones revisadas, se destaca la importancia del monitoreo continuo del comportamiento de las parasitosis a largo plazo. También, se indica que los crustáceos parásitos son un buen modelo de estudio debido a que se encuentran en contacto directo con el ambiente, por lo que se consideran buenos bioindicadores de los cambios ambientales. Datos precisos sobre la biodiversidad parasitaria en conjunto con su información ecológica y experimental, permitirá inferir las posibles respuestas que pudieran tener las infecciones parasitarias causadas por crustáceos parásitos ante el cambio climático. Con esta información se podría tratar temas sobre medidas de control y prevención de infecciones parasitarias ocasionadas por crustáceos parásitos tanto en la acuicultura como para el uso sostenible y la conservación de los ecosistemas acuáticos.

Palabras clave: monitoreo a largo plazo, Especies centinelas, Infecciones parasitarias, Crustáceos parásitos, cambio climático.

Abstract

This paper reviews the information available over the last 20 years on studies of the temporal variability of parasitic infections caused by parasitic crustaceans of fish in the Mexican territory. The possible responses of these parasitic infections to changes in the aquatic ecosystems caused by anthropogenic climate change are described. By studying the intensity of infection of *Argulus yucatanus* (a case study of parasite crustaceans of fish), the response of infections to changes in water temperature can be detected. Into this context and based on previous investigations reviewed, it is highlighted the importance of monitoring for long-time the behavior of these parasites. Also, it is indicated that parasitic crustaceans represent a good study model as bioindicators of environmental changes because they are in direct contact or exposed to hazardous substances of the environment. Extensive and precise data on parasitic biodiversity along with their ecological and experimental information are necessary to understand the possible responses of the parasitic infections caused by crustaceans in the face of climate change. Based on this kind of information it would be possible to deal with issues on control strategies and prevention of parasitic infections caused by crustaceans in aquaculture as well as for the sustainable development of aquatic ecosystems.

Keywords: Long-term monitoring, sentinel species, parasitic infections, parasitic crustaceans, climate change.



Introducción

El cambio climático tiene indudables consecuencias sobre los distintos procesos e interacciones de los ecosistemas. Entre estas interacciones se incluye la del parasitismo, debido a que los organismos parásitos son considerados importantes componentes en las redes alimentarias y al encontrarse en más de un hospedero son considerados eslabones de las interacciones de la biodiversidad en cada ecosistema (Dunne 150% 2013; Jephcott *et al.*, 2016).

En los últimos 20 años se han generado evidencias alrededor del mundo sobre el efecto de eventos climáticos como el de El Niño (Southern Oscillation, ENSO) (Oliva *et al.*, 2007; Soniat *et al.*, 2009; Santana-Piñeros 2020), Huracanes (Lafferty, 2009; Aguirre-Macedo *et al.*, 2011) y la estacionalidad sobre los regímenes de temperatura y precipitación (Simková, 2005; Poulin y Mouritsen, 2006; Krasnov *et al.*, 2008; Luque y Poulin, 2008; Knipes y Janovy, 2009), así como el consecuente efecto sobre los ciclos de vida, la transmisión y la intensidad de infección de los parásitos de organismos acuáticos favoreciendo el incremento de las infecciones y en algunos casos la emergencia y/o reemergencia de enfermedades (Bush, 2001; Harvell *et al.*, 2002; Hudson *et al.*, 2006; Johnson y Thieltges, 2010; Okamura *et al.*, 2010; Paull y Johnson, 2011; Rohr *et al.*, 2011; Burge *et al.*, 2014). Por ejemplo, se ha encontrado una relación entre el incremento de las infecciones y enfermedades parasitarias con la fragmentación del hábitat, translocación de las especies, alteración de las redes tróficas, cambios en el clima y la contaminación antropogénica (Okamura *et al.*, 2010; Daszak *et al.*, 2000; Dobson y Foufopoulos, 2001; Patz *et al.*, 2004). Sin embargo, para comprender como los organismos parásitos podrían responder a los distintos estresores de los cambios ambientales en un ecosistema, es importante conocer la diversidad y las fluctuaciones de las poblaciones de parásitos.

Entre los parásitos de peces se encuentra el grupo de los crustáceos. Su presencia representa una amenaza para el desarrollo de la acuicultura semi-

intensiva e intensiva (estos tipos de acuicultura se caracterizan por la mediana y alta densidad de organismos cultivados, respectivamente), en sistemas de agua dulce, salobre y marina. Dicha amenaza, genera un considerable interés económico, ya que podrían afectar la salud de los peces y por ende su productividad (Karlsbakk *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2004; Aneesh *et al.*, 2014). El daño que ocasionan los crustáceos parásitos a los peces se debe a su forma de alimentación, ya que utilizan estiletes y/o mandíbulas para alimentarse de tejido y sangre de sus hospederos, lo que favorece la presencia de infecciones secundarias (Lester *et al.*, 2006). Por tanto, hay crustáceos parásitos catalogados como una plaga, lo que ha llevado a aumentar los esfuerzos en investigaciones enfocadas a su identificación, fluctuaciones y control, generando la atención de muchos grupos de investigación en el mundo (Ho *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2004; Karlsbakk *et al.*, 2001; Aneesh *et al.*, 2014; Hadfield y Smit 2020).

En regiones templadas se ha observado una mayor transmisión de las infecciones de crustáceos parásitos en peces asociada al aumento de temperatura, afectando de manera negativa las granjas de cultivo peces y en el medio natural (Hakalahti y Valtonen, 2003; Taylor *et al.*, 2009). Sin embargo, a pesar de que los crustáceos parásitos son un grupo importante en sistemas de cultivo y silvestre, el conocimiento de sus niveles de infección asociadas a la variabilidad ambiental es limitado. En general, las enfermedades acuáticas y sus agentes causales son poco conocidas en un contexto ecológico, y se conocen aún menos en ambientes marinos. Por tanto, ¿cómo podremos formular hipótesis o predicciones de los efectos de la variación climática sobre las interacciones parásito-hospedero de ecosistemas costeros-marinos?

Para poder formar perspectivas, algunos estudios han comparado información de los organismos parásitos de distintos sistemas acuáticos y/o latitudes. Sin embargo, estas comparaciones se complican



debido a que cada sistema acuático presenta sus propias características ambientales y refleja diferencias taxonómicas, tanto de especies parásitas como de especies de hospederos (McCallum *et al.*, 2004; Lafferty, 2017).

Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo conocer el estado actual de las parasitosis con base en la revisión de la información existente sobre la variabilidad temporal de las infecciones ocasionadas por crustáceos parásitos en peces asociadas a la variabilidad ambiental, tanto del litoral del Pacífico como de la vertiente del golfo de México (GoM). De esta manera, es posible sugerir acciones de esta problemática frente al cambio climático como estresor ambiental. Así mismo, se mencionan los patrones encontrados, en cuanto a la variabilidad

temporal considerando escalas de un año y mayores que un año. Adicionalmente, se conjuntó toda la información disponible sobre el sistema *Argulus yucatanus*–*Mayaheros urophthalmus* presentándolo como un estudio de caso.

Con el fin de derivar conclusiones fundamentadas en los datos disponibles hasta el momento, la presente revisión de literatura científica sobre los crustáceos parásitos de peces hace particular énfasis hacia el territorio mexicano entre 2000 al 2020. Para este propósito se utilizaron los buscadores electrónicos como Google Scholar, Web of Science y Scopus, así como las palabras clave: Isopoda, Copepoda, Argulida, Crustáceos+parásitos, Crustáceos+peces; variación+temporal, Pacífico/ Golfo de México.

Crustáceos parásitos de peces

Los crustáceos parásitos de peces son un grupo diverso representado principalmente por las subclases Copepoda y Branchiura, y el orden Isopoda: los copépodos que son el grupo más abundante e infectan a una amplia gama de vertebrados marinos. Morales-Serna (2012) estimó cerca de 32 familias y 166 especies de copépodos para el territorio mexicano. Sin embargo, hay que considerar que existen grupos de hospedadores potenciales que aún no han sido examinados, y por esta razón es imposible incluso hacer estimaciones aproximadas del número de especies. Los copépodos tienen una variedad de adaptaciones morfológicas que aseguran su infección y su supervivencia. El gran interés en el estudio de los copépodos se debe a que son agentes de enfermedades en las poblaciones de peces silvestres y de acuicultura. Los isópodos son crustáceos parásitos que infectan a peces e invertebrados marinos, se conoce aproximadamente 6 familias y 16 especies para el territorio mexicano (Schotte *et al.*, 2009; Carrillo-Colín *et al.*, 2016). Esto crustáceos afectan la reproducción y el crecimiento de sus hospederos (Schotte *et al.*, 2009; Carrillo-Colín *et*

al., 2016). Por su parte, los branquiuros parasitan a peces de agua dulce, salobre y algunas especies son ectoparásitos de peces marinos (Suárez-Morales *et al.*, 1998). En México se conoce cerca de 6 especies, de las cuales *Argulus yucatanus* infectando a *Mayaheros urophthalmus* ha sido la especie con mayor información ecológica, por lo que en el presente trabajo lo presentamos como un caso de estudio.

Existen otros grupos de crustáceos parásitos como los tantulocáridos, anfípodos, thoracica y rhizocephala, los cuales parasitan a otros crustáceos, equinodermos, cnidarios, sifonóforos, ctenóforos y taliáceos (Boxshall, 2005). Sin embargo, a pesar de lo interesante y de la importancia de cada uno de estos grupos de crustáceos parásitos su conocimiento en México es prácticamente nulo. En el presente trabajo, se incluye los estudios realizados de variabilidad temporal en los grupos que se cuenta con información ecológica como lo son los copépodos parásitos y los branquiuros. Esta información permite estimar patrones de comportamiento de las infecciones parasitarias frente a cambios en el ambiente.



Variabilidad temporal de las infecciones parasitarias

La transmisión de las infecciones parasitarias son influenciadas por la presencia y la distribución de sus hospederos que a su vez responden a la variabilidad ambiental del sistema (Marcogliese, 2008, 2016; Burge *et al.*, 2014). Entre las distintas respuestas de la interacción parásito-hospedero-ambiente, se pueden observar incrementos de alta variabilidad en las infecciones parasitarias a través del tiempo, las cuales se categorizan en escalas temporales como estacional, anual, interanual y bianual (Wingfield y Kenagy, 1991).

La variabilidad estacional es un comportamiento cíclico, que ocurre con periodicidad menor a un año (Wingfield y Kenagy, 1991). En zonas templadas, este comportamiento es evidente en donde las variables ambientales, principalmente la temperatura, tienen una marcada fluctuación y genera cambios periódicos en el desarrollo y reproducción

de los parásitos, así como en la disponibilidad de sus hospederos (Fellis y Esch, 2004; Zander, 2005; Simková *et al.*, 2005; Altizer *et al.*, 2006; Hakalahti *et al.*, 2006). En los trópicos, en organismos marinos y dulceacuícolas la variabilidad estacional de las infecciones parasitarias esta asociada a los patrones de precipitación y temperatura (Steinauer y Font, 2003; Violante-Gonzalez *et al.*, 2008; Pech *et al.*, 2010; May-Tec *et al.*, 2013; Vidal-Martínez *et al.*, 2014; Santana-Piñeros *et al.*, 2020; May-Tec *et al.*, 2020). Es importante mencionar que existen disturbios hidrodinámicos que se presentan a escalas de tiempo mayor a un año, como lo son las tormentas tropicales, los huracanes, y el fenómeno de El Niño (ENSO), los cuales influyen en los regímenes de temperatura y de precipitación y probablemente en la variabilidad temporal parasitaria.

Factores ambientales que influyen en la variabilidad temporal de los crustáceos parásitos

Temperatura del agua

Los parásitos presentan un intervalo de temperatura óptima para su desarrollo y transmisión (Marcogliese, 2001). Sin embargo, se ha observado que, ante el aumento en la temperatura, las infecciones y/o enfermedades parasitarias muestran una mayor transmisión (Callaway *et al.*, 2012). Esto puede ser el resultado de una menor resistencia del hospedero debido al término estrés, que puede resultar en el aumento de la virulencia del parásito. Se ha observado que el incremento en la temperatura del agua influye de forma significativa en el tiempo de maduración de los parásitos, ocasionando maduración temprana, así como un aumento de las generaciones por año (Hakalahti *et al.*, 2006; Marcogliese, 2001, 2008; Poulin y Mouritsen, 2006).

Los crustáceos parásitos no son la excepción. Por ejemplo, en zonas templadas, el efecto de la esta-

cionalidad se ha observado en el crustáceo Argulus coregoni en donde los máximos niveles de infección y su transmisión hacia sus diferentes hospederos ocurre en los meses cálidos (Hakalahti *et al.*, 2006; Studer y Poulin, 2012).

El territorio mexicano se caracteriza por presentar climas templados y tropicales. Existe evidencia de variabilidad estacional en los niveles de infección de los crustáceos parásitos de peces de las costas del Pacífico y del golfo de México. Para el Pacífico mexicano, Morales-Serna *et al.* (2011) mencionan que los niveles de infección de los copépodos parásitos de *Sphoeroides annulatus*, en especial el copépodo *Lepeophtheirus simplex*, presenta una variabilidad estacional asociada a las fluctuaciones de la temperatura del agua. Por su parte, mediante observaciones anuales Villalba-Vasquez *et al.* (2018), Miranda-Delgado *et al.* (2019) y Violante-González



lez *et al.* (2020), mencionan que las comunidades de copépodos parásitos (*e.g.* *Bomolochus* sp., *Caligus alalongae*, *Caligus bonito*, *Caligus chorinemi*, *Caligus mutabilis*, *Caligus robustus*, *Caligodes lacinatus*, *Ergasilus* sp., *Lernanthropus cornutus*, *Lernanthropus giganteus*, *Lernanthropus ilishae*, *Parapsettus* sp.) Isopodos parásitos (*e.g.* *Ancinus depressus*, *Cymothoa exigua*, *Gnathia* sp. *Rocinella signata*) de *Caranx sexfasciatus*, *Euthynnus lineatus* y *Parapsettus panamensis*, presentan variabilidad anual en sus niveles de infección, siendo la temperatura y salinidad del agua, la estación climática y el índice ENSO son los principales factores que denotan dicha variabilidad,. En la bahía de Acapulco, Guerrero, se han observados cambios en los parámetros de la temperatura y salinidad del agua que pueden afectar la composición de la comunidad de especies de copépodos parásitos a lo largo del tiempo (Rojas-Herrera *et al.*, 2016).

En el GoM, en las costas de Tamaulipas, Rábago-Castro *et al.* (2011) reportan valores altos en la prevalencia del copépodo *Ergasilus cerastes*, infectando los cultivos de *Ictalurus punctatus*, relacionado con cambios estacionales de la temperatura del agua. Así mismo, mediante el monitoreo mensual conformando series de datos continuos de 7 años, se observó que los niveles de infección del crustáceo *Argulus yucatanus* infectando a *Mayaheros urophthalmus* (*Cichlasoma urophthalmus*) en Celestún, Yucatán, presentó variabilidad estacional y picos de alta variabilidad anual y bianual asociados a cambios en la temperatura del agua y en la precipitación (May-Tec *et al.*, 2013; Vidal-Martínez *et al.*, 2014).

Con base en los reportes antes mencionados, para este apartado se puede concluir que a pesar de que la temperatura del agua en los trópicos no tiene una marcada ciclicidad como en las zonas templadas, su variabilidad es un componente importante en las fluctuaciones de las infecciones parasitarias ocasionadas por crustáceos parásitos, y su efecto sobre la infecciones se ha observado tanto para el Pacífico como para el GoM.

Precipitación

Otra variable climática importante en la transmisión de las infecciones parasitarias de organismos acuáticos en ambientes tropicales es la precipitación. La cual tiene un comportamiento estacional durante los meses de junio a octubre, así como la ocurrencia de fenómenos meteorológicos (tormentas tropicales y huracanes) que afectan tanto a ecosistemas terrestres como acuáticos (Herrera-Silveira, 1994; Bloch *et al.*, 2007; Tapia-González *et al.*, 2008). Durante el periodo de lluvias, se observa una reducción de la salinidad debido al aporte de agua dulce a los ecosistemas costeros; también se observa altas concentraciones de nutrientes que estimulan la biomasa del fitoplancton (Tapia González *et al.*, 2008). La disponibilidad de recursos alimenticios estimula la distribución y agregación de las especies de hospederos (Abell *et al.*, 2006). En consecuencia los parásitos y sus hospederos experimentan cambios estacionales debido a esta fluctuación ambiental (Jiménez-García y Vidal-Martínez, 2005).

Para los crustáceos parásitos con ciclos de vida directo (sin hospedero intermediario), el efecto de la precipitación se observa con cambios en la salinidad de los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo en el Pacífico mexicano Villalba-Vasquez *et al.* (2018), Miranda-Delgado *et al.* (2019) y Violante-González *et al.* (2020), mencionan que las comunidades de copépodos parásitos e isopodos (especies mencionadas en la sección de la variable Temperatura) de *Caranx sexfasciatus*, *Euthynnus lineatus* y *Parapsettus panamensis*, presentan variabilidad anual en sus niveles de infección, asociados con cambios en los valores de salinidad del agua.

Así mismo, para el GoM Se ha observado que bajos valores en la salinidad que favorecen la transmisión de crustáceos parásitos como *Ergasilus* sp. y *Argulus* sp. (Pech *et al.*, 2010) así mismo, el aporte y la dinámica en el agua ocasionada por la precipitación favorece la transmisión activa de los ectoparásitos para infectar a su siguiente hospedero (Moyer *et al.*, 2002).



Caso contrario es el detectado en los peces globo *Lagocephalus laevigatus* y *Sphoeroides* spp. en las costas de Campeche, en donde se han encontrado cambios estacionales relacionados de manera negativa a la variabilidad en la precipitación en los niveles de infección de los copépodos *Taenicanthus lagocephali*, *Caligus haemulonis* y *Pseudochondracanthus diceraus* (May-Tec datos no publicados). Este comportamiento en los niveles de infección podría ser el resultado de una remoción de los estadios infectivos de los crustáceos que ocurre durante la época de lluvias.

El efecto negativo de la precipitación se puede observar por la presencia de procesos hidrodinámicos (tormentas tropicales y huracanes) que ocurren con cierta regularidad en los trópicos. Por ejemplo, se ha observado que las poblaciones del trematodo *Diplomonorchis leiostorni* en el pez *Leiostomus xanthurus* en el río Mississippi, desaparecieron por más de un año a causa del huracán Katrina en agosto del 2005 (Overstreet, 2007). Un efecto similar fue observado en las comunidades de trematodos que infectan al caracol *Cerithidea pliculosa*, por la presencia del huracán Isidoro en las costas de Celestún, Yucatán, en el 2002 (Aguirre-Macedo *et al.*, 2011). Sin embargo, para crustáceos parásitos este tipo de observaciones son escasas.

Con base en las investigaciones realizadas y reportadas previamente en este trabajo, se considera dos

posibles efectos de la precipitación sobre las infecciones parasitarias de los crustáceos. Se observa el efecto positivo de la precipitación en la agregación de los hospederos como respuesta al gradiente de salinidad y como medio de transporte la dinámica de la columna del agua facilita el encuentro de sus hospederos y la transmisión de los crustáceos parásitos (Rohde *et al.*, 1995). El efecto negativo es la remoción y dispersión de estadios infectivos de los crustáceos parásitos ocasionado por la distribución de los hospederos por las corrientes de agua. Con la información recabada se puede considerar que dichos efectos o posibles patrones de comportamiento de las infecciones parasitarias se pueden observar en ambas zonas (Pacífico y GoM). Sin embargo, es importante aclarar que la información recabada aún presenta sesgos en cuanto al monitoreo ecológico, debido al tiempo de muestreo (estacional), debido a que los disturbios hidrodinámicos no son cíclicos.

Estos estudios, si bien demuestran la vulnerabilidad de las poblaciones de parásitos estudiadas ante climas extremos, también muestran que dichas poblaciones pueden recuperarse después de un periodo de tiempo. Es decir, proporcionan información del estado del grado de resiliencia de los ecosistemas.

Caso de estudio *Argulus yucatanus* en *Mayaheros urophthalmus* de Celestún Yucatán

El crustáceo parásito *Argulus yucatanus* fue descrito por Poly (2005), infectando al pez *Mayaheros urophthalmus* Günther, 1862 (*Cichlasoma urophthalmus*) en Celestún, Yucatán. Posteriormente, Pech *et al.* (2010), May-Tec *et al.* (2013) y Vidal-Martínez *et al.* (2014) realizaron estudios ecológicos acerca de las fluctuaciones en los niveles de infección de *A. yucatanus* en *M. urophthalmus* y su asociación con las variables ambientales a corto y largo plazo. Después, López-Guerra (2016) realizó estudios con *A.*

yucatanus como modelo de estudio para entender los cambios en los niveles de infección como consecuencia del aumento en la temperatura.

En México, existen 6 especies del género *Argulus*: *Argulus chromidis* Krøyer, 1863, y *Argulus rhamdiae* Wilson, 1936, infectando a *Rhamdia guatemalensis* Günther, 1864 en Yucatán (Wilson 1936); *Argulus flavescens* Wilson, 1916 infectando a *Ariopsis assimilis* Günther, 1864 en Chetumal (Suárez-Morales *et al.*, 1998); *Argulus mexicanus* Pineda, Paramo



& del Rio, 1995 infectando a *Atractosteus tropicus* Gill, 1863 en Tabasco (Pineda *et al.*, 1995); *Argulus ambystoma* Poly, 2003 infectando a *Ambystoma dumerilii* Duges, 1870 en Pátzcuaro, Michoacán (Poly, 2003) y *Argulus yucatanus* Poly, 2005 infectando a *Mayaheros urophthalmus* Günther, 1862 en Yucatán (Poly, 2005). Recientemente se ha reportado la presencia del género *Argulus* en *Lagocephalus laevigatus* Linnaeus, 1766, un pez marino con potencial para la acuicultura (May-Tec *et al.*, 2022). Las infecciones ocasionadas por las especies del género *Argulus* rara vez tienen efectos en poblaciones naturales de peces (Taylor *et al.*, 2006). Sin embargo, su presencia ha causado graves daños (*e.g.* necrosis, anemia) a peces con potencial en la acuicultura (Hakalahti *et al.*, 2004; Poly, 2008).

Se ha observado que las poblaciones de *A. yucatanus* en *M. urophthalmus* presentan variabilidad estacional durante los meses de secas y lluvias en Celestún Yucatán, periodo en el cual su hospedero *M. urophthalmus* presenta un comportamiento agregado debido a su periodo de reproducción (Martínez-Palacios y Ross, 1992). Durante este tiempo, las hembras grávidas de *A. yucatanus* se desprenden de sus hospederos para depositar sus huevecillos en el sustrato, posteriormente, las larvas de *A. yucatanus* eclosionan y nadan en busca de su hospedero. Cuando los peces se encuentran agregados se incrementa la probabilidad de infección (Vidal-Martínez *et al.*, 2014).

May-Tec *et al.* (2013) y Vidal-Martínez *et al.* (2014) mencionaron que los niveles de infección de *A. yucatanus* en *M. urophthalmus* presentan cambios estacionales, bianuales y cada cuatro años. Dichos autores han relacionado la presencia de los patrones temporales de largo plazo (>2 años) con la presencia de fenómenos climáticos como El Niño (ENSO) el cual presenta un comportamiento estacional con picos de intensidad entre 4 y 7 años, e influye en los intervalos de la variabilidad de la temperatura del agua y en la precipitación.

Con las observaciones realizadas hasta el momento, se consideran que *A. yucatanus* es un buen indicador de la variabilidad climática de los ecosis-

temas acuáticos, y a que se encuentra expuesto directamente a cambios de los factores ambientales. Así mismo, las características de su ciclo de vida, en los que se involucran estadios de vida libre, permite que los crustáceos parásitos sean más vulnerables a cambios en la temperatura y en la precipitación.

López-Guerra (2016) expuso a *A. yucatanus* mediante infecciones experimentales a diferentes temperaturas del agua, encontró una maduración temprana de este parásito y la eclosión de huevecillos a temperaturas mayores de 28 °C. (figura 1). También, López-Guerra (2016) observó que a temperaturas cercanas a los 36 °C, el tiempo de supervivencia de *A. yucatanus* disminuyó. Estos resultados, nos proporcionan información acerca del posible comportamiento de los niveles de infección de las parasitosis desde el punto de vista del incremento en la temperatura del agua asociado al cambio climático.

En el caso de las infecciones observadas en sistemas naturales ocasionadas por *A. yucatanus* en *M. urophthalmus* el aumento en la temperatura del agua influye en la maduración temprana del parásito y promueve la agregación de sus hospederos. El agua superficial cálida e hipóxica en el fondo, modifica la distribución de los peces en la columna del agua, incrementado la densidad de la población, y facilitando la transmisión de los parásitos (Ficke *et al.*, 2007). Sin embargo, a temperaturas mayores a los 32 °C, se observa un escenario negativo para la sobrevivencia de *A. yucatanus*. Este resultado expone la vulnerabilidad de estas poblaciones en presencia de cambios drásticos en la temperatura del agua. Por tanto, en el contexto del cambio climático, el incremento de más de 3 °C en la temperatura del agua, escenario extremo sugerido por el Panel intergubernamental del Cambio climático (IPCC, 2006, 2019), afectaría el ciclo de vida, los niveles de infección y los patrones temporales de infección de *A. yucatanus* y en casos severos la posible extinción del parásito. Este comportamiento puede tener serias implicaciones en la diversidad de los organismos, debido a que puede permitir la colonización de especies invasoras y/o patógenas, mismas

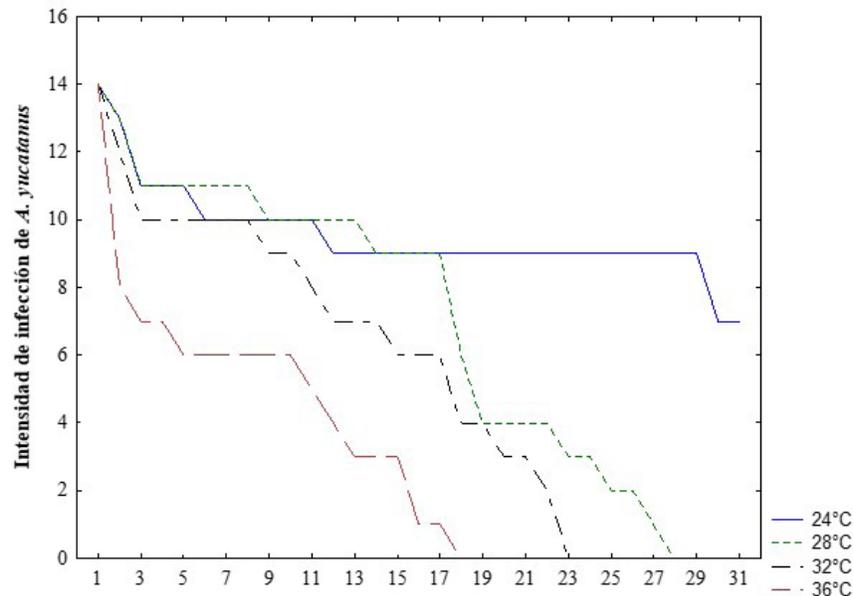


Figura 1. Variabilidad en la intensidad de infección de *Argulus yucatanus* en *M. urophthalmus* bajo diferentes escenarios de la temperatura del agua (Tomado de López-Guerra, 2016).

que pueden al hospedero volviéndolo más susceptible ante la presencia de nuevos parásitos patógenos,

así como influir en la dispersión del hospedero a otras áreas geográficas (Marcogliese, 2008).

Perspectivas de las infecciones parasitarias ocasionadas por parásitos crustáceos ante el cambio climático

El Panel Intergubernamental del cambio climático, prevé distintos escenarios sobre el efecto del calentamiento global en los ecosistemas marinos, entre los que destacan: la pérdida de recursos costeros, cambios de distribución de especies marinas (a latitudes más altas), presencia de especies invasoras, reducción de la pesca e incremento en el riesgo para la acuicultura (IPCC, 2019).

En este contexto, ¿cuáles serían los efectos del cambio climático en las infecciones parasitarias de organismos acuáticos? Existen estudios como los de Marcogliese (2008, 2016), en donde se ejemplifica y enlistan las posibles respuestas biológicas de las interacciones parásito-hospedero de sistemas acuáticos frente al cambio ambiental (estrés ambiental). Así mismo, se menciona que los efec-

tos del cambio climático se producen en especies funcionales o especies claves con consecuencias en cascada en todo el ecosistema. Burge *et al.* (2014) sugiere la importancia de estudiar las interacciones parásito-hospedero que sean especialmente sensibles al estrés ambiental, ya que podrían servir como sistemas centinelas en ambientes marinos. Byers (2021) sugiere un aumento en el estudio de monitoreo a largo plazo (mayores a 10 años), y estudios experimentales del sistema parásito-hospedero para conocer posibles respuestas, así como enfoques de estudio, como la construcción de curvas de temperatura que permiten una comparación aproximada de los efectos relativos de la temperatura sobre la tasa de sobrevivencia del parásito y del hospedero.



A pesar del esfuerzo en comprender el efecto del cambio climático en los sistemas parásito-hospedero y su relación con las enfermedades, la mayoría de estas interacciones en los sistemas marinos son todavía poco conocidos.

En México, los estudios sobre los crustáceos parásitos son limitados, considerando la alta diversidad de potenciales especies de hospederos que habitan los ecosistemas (Morales-Serna *et al.*, 2012). Sin embargo, existen estudios que muestran evidencias acerca de la sensibilidad de las infecciones parasitarias ocasionadas por crustáceos parásitos en peces frente a un cambio ambiental, en especial el del incremento de la temperatura. Se reporta comportamientos estacionales en los niveles de infección asociados a la variabilidad en los patrones de temperatura y precipitación. Así mismo, se especula que, bajo condiciones del cambio climático, en especial por el efecto del calentamiento global, habrá una mayor agregación de los parásitos dentro de las poblaciones de sus hospederos, aumentando las patologías y la mortalidad de los hospederos (Vidal-Martínez *et al.*, 2014).

Considerando que la variabilidad estacional es cíclica y en gran parte predecible (Wingfield y Kenagy, 1991; Blank, 1992). Es posible realizar aproximaciones acerca del comportamiento de infecciones parasitarias ocasionadas por crustáceos en tiempos no mayores a un año. Sin embargo, es importante considerar que la estacionalidad de algunas infecciones parasitarias pueden ser alteradas por cambios en los patrones de temperatura, precipitación, corrientes marinas, disturbios hidrodinámicos (tormentas tropicales y huracanes) y oscilaciones climáticas globales (*e.g.* el fenómeno de El niño ENSO y la oscilación del Atlántico Norte NAO (Philander, 1990; Neelin *et al.*, 1998; Ghil *et al.*, 2002)). Las oscilaciones climáticas son parte de la variabilidad natural de los sistemas, pero ocurren a escalas mayores de un año, dando lugar a la presencia de patrones interanuales en las infecciones

parasitarias (Ghil *et al.*, 2002). Además, la ciclicidad de los fenómenos climáticos puede ser alterada debido a efectos del cambio climático, provocando la presencia de eventos climáticos extremos (p. ej. sequías e inundaciones), efectos que ya se observan en distintas partes del territorio mexicano (Arreguín-Cortés *et al.*, 2015).

En consecuencia, para comprender los cambios o alteraciones que ocurren en el sistema parásito-hospedero, es necesario el monitoreo continuo de largo plazo, mayores a un año con el fin de capturar la mayor variabilidad del sistema y de esta manera poder separar el efecto de la variabilidad natural de aquella ocasionada por un disturbio ambiental. Para la evaluación de datos ambientales y biológicos, que permitan extraer información del tiempo (estacional, anual, bianual o > tiempo) de las infecciones parasitarias, así como las variables asociadas a dicho comportamiento, se pueden emplear técnicas estadísticas y matemáticas como los espectros de Fourier, wavelet y modelos aditivos generalizados de la forma y escala (GAMLSS) (Pech *et al.*, 2010; May-Tec *et al.*, 2013, 2020; Vidal-Martínez *et al.*, 2014).

Se considera, que de manera paralela se puede emplear la ecología experimental en los sistemas parásito-hospedero. Es decir, realizar bioensayos con organismos expuestos a las variables ambientales. Por ejemplo, el análisis de las curvas de rendimiento térmico sugerido en el trabajo de Byers (2021) permite entender el efecto de la temperatura en el sistema parásito-hospedero, debido a la diversidad de respuestas biológicas, fisiológicas e inmunológicas que pueden presentar los organismos.

Las respuestas de la dinámica parásito-hospedero al cambio climático requieren una investigación más amplia abarcando desde el contexto natural hasta el experimental, debido a que las alteraciones de las interacciones parásito-hospedero pueden ramificarse y afectar a la comunidad.



Conclusiones

Las zonas costeras de México presentan una alta diversidad de especies, entre las que se incluyen a los peces, quienes son potenciales hospederos de crustáceos parásitos; sin embargo, falta información sobre este grupo de parásitos y sobre su contexto ecológico.

Pocos estudios relacionan a los sistemas parásito-hospedero con la dinámica ambiental y mencionan que la temperatura y la precipitación son las variables ambientales claves que explican la variabilidad de los niveles de infección. Aún así, estas observaciones se han realizado en periodos no mayores a un año. En donde se enmascaran el efecto de las diferentes fluctuaciones en el clima sobre las infecciones parasitarias, tanto a nivel local como regional así como en el contexto del cambio climático.

Por ello, se considera importante desarrollar monitoreos constantes del comportamiento de las parasitosis a través del tiempo, con estudios que permitan evidenciar la presencia de una variabilidad estacional, interanual y de escalas de tiempo a largo plazo para los parásitos de peces en las costas de México.

El parasitismo y las enfermedades pueden actuar en sinergia con factores como la contaminación antropogénica y acelerar los efectos del calentamiento global en las poblaciones animales y humanas, con afectaciones sociales y económicas. Por esta razón se necesita mejorar los métodos de monitoreo y de diagnóstico, así como las estrategias de análisis, para obtener datos precisos de la biodiversidad parasitaria que permitan realizar estimaciones de las

interacciones entre los organismos que conforman el ecosistema, y su repuesta ante estresores ambientales. Con esta información se podrían tratar temas sobre el uso sostenible y la conservación de los ecosistemas.

La salud de los ecosistemas y de los organismos acuáticos, como los de importancia comercial, son temas de gran relevancia para la sociedad. Los parásitos establecen fuertes conexiones (redes tróficas) con sus hospederos, influyendo en la organización de los ecosistemas. Los crustáceos parásitos son excelentes indicadores de cambios en el ambiente, debido a que el número de parásitos y las especies de parásitos responden a concentración de contaminantes en el agua, así como a cambios del ambiente asociado principalmente a impactos antropogénicos (Sures 2017; Vidal-Martínez *et al.*, 2019, 2022).

Por tanto, para estudiar y comprender con mayor claridad el efecto del cambio climático en las infecciones parasitarias, es importante considerar a especies centinelas como bioindicadores ambientales, p. ejem. parásitos crustáceos. Se necesita reforzar los estudios del sistema parásito-hospedero y su relación con los cambios en la temperatura, e incluir otras variables del cambio climático, como la disminución del oxígeno disuelto y la alteración de la salinidad. Así mismo, debido a que los parásitos son componentes complejos de los sistemas ecológicos, se debe analizar las respuestas de los hospederos y sus parásitos ante la presencia de otras especies para integrar las interacciones dentro de sus comunidades y ecosistemas.

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada financieramente por una beca postdoctoral (216405) de CONACYT, México, otorgada a A.L.M.-T. Expresamos nuestro sincero agradecimiento a las autoridades adminis-

trativas y académicas de la Universidad Autónoma de Campeche (UAC-EPOMEX) por las facilidades otorgadas.



Referencias

- Abell, S.E., Gadek, P., Pearce, C.A., Congdon, C., 2006. Resource availability and use by an endangered tropical mycophagous marsupial. *Biol. Conserv.*, 132:533–540.
- Aguirre-Macedo, M.L., Vidal-Martínez, V.M. Lafferty, K.D., 2011. Trematode communities in snails can indicate impact and recovery from hurricanes in a tropical coastal lagoon. *Int. J. Parasitol.* 41: 13-14. doi:10.1016/j.ijpara.2011.10.002
- Altizer, S., Dobson, A., Hosseini, P., Hudson, P., Pascual, M., Rohani, P., 2006. Seasonality and the dynamics of infectious diseases. *Ecol. Lett.* 9: 467-484.
- Aneesh, P.T., Sudha, K., Helna, A.K., Anilkumar, G., Trilles, J.P., 2014. Multiple parasitic crustacean infestation on belonid fish *Strongylura strongylura*. *ZooKeys*. 353:339–353. doi:10.3897/zookeys.457.6817
- Arreguín-Cortés, F.I., López-Pérez, M., Rodríguez-López, O., Martín José Montero-Martínez, M.J., 2015. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Blank, J.L., 1992. Phenotypic variation in physiological response to seasonal environments. In: *Mammalian Energetics: Interdisciplinary Views of Metabolism and Reproduction* (eds Tomasi, T.E. y Horton, T.). Comstock Publishing Associates, Ithaca, NY, 186–212.
- Bloch, C.P., Higgins, C.L., Willig, M.R., 2007. Effects of large-scale disturbance on metacommunity structure of terrestrial gastropods: temporal trends in nestedness. *Oikos*, 116, 395–406. doi: 10.1111/j.2006.0030-1299.15391.x.
- Boxshall, G., Lester, R., Grygier, M., Høeg, J., Glenner, H., Shields, J., Lützen, J., 2005. Crustacean parasites. In: Rohde K (ed) *Marine Parasitology*. CSIRO Publishing, Collingwood, pp. 627123–169.
- Burge, C.A., Mark Eakin, C., Friedman, C. S., Froelich, B., Hershberger, P.K., Hofmann, E. E., Petes, L.E., Prager, K.C., Weil, E., Willis, B.L., Ford, S.E., Harvell, C.D., 2014. Climate change influences on marine infectious diseases: implications for management and society. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 6, 249–277. doi:10.1146/annurev-marine-010213-135029
- Bush, A.O., Fernandez, J.C., Esch, G.W., Seed, J.R., 2001. *Parasitism: The diversity and ecology of animal parasites*. Cambridge University Press.
- Byers, J.E., 2021. Marine Parasites and Disease in the Era of Global Climate Change. *Ann Rev Mar Sci.* 13, 397–420. doi:10.1146/annurev-marine-031920-100429
- Callaway, R., Shinn, A.P., Grenfell, S.E., Bron, J.E., Burnell, G., Cook, E. J., Crumlish M., Culloty, S., Davidson, K., Ellis, R.P., Flynn, K.J., Fox, C., Green, D.M., Hays, G.C., Hughes, A.D., Johnston, E., Lowe, C.D., Lupatsch, I., Malham, S., Mendzil, A.F., Nickell, T., Packerell, T., Rowley, A.F., Stanley, M.S., Tocher, D.R., Turnbull, J.F., Webb, G., Wootton, E., Shields, R.J., 2012. Review of climate change impacts on marine aquaculture in the UK and Ireland. *Aquat. Conserv.* 22: 389–421. doi:10.1002/aqc.2247
- Carrillo-Colín, L.D., Lara-Mendoza, R.E., Márquez-Farías, J.F. 2016. *Nerocila acuminata* (Crustacea: Isopoda: Cymothoidae), ectoparásito de la guitarra pinta *Pseudobatos glaucostigma* (Elasmobranchii) del sureste del Golfo de California, México. *Ciencia Pesquera*, 24: 139-143
- Daszak, P., Cunningham, A.A., Hyatt, A.D., 2000. Emerging infectious diseases of wildlife Threats to biodiversity and human health. *Science*, 287, 443–449.
- Dobson, A. Foufopoulos, J. 2001. Emerging infectious pathogens of wildlife. *Philos. T. Roy. Soc. B*, 356: 1001–1012.
- Dunne, J.A., Lafferty, K.D., Dobson, A.P., Hechinger, R.F., Kuris, A.M., Martinez, N.D., McLaughlin, J.P., Mouritsen, K.N., Poulin, R., Reise, K., Stouffer, D.B., Thieltges, D.W., Williams, R.J., Zander, C.D., 2013. Parasites Affect Food Web Structure Primarily through Increased Diversity and Complexity. *PLoS Biol.* 11: e1001579 doi:10.1371/journal.pbio.1001579
- Fellis, K.J., Esch, G.W., 2004. Community structure and seasonal dynamics of helminth parasites in *Lepomis cyanellus* and *L. macrochirus* from Charlie's Pond, North Carolina: Host size and species as determinants of community structure. *J. Parasitol.* 90: 41-49.
- Ficke A.D., Myrick C.A., Hansen L.J., 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 17: 581.
- Ghil, M., 2002. Natural climate variability, Volume 1. In MC MacCracken, JS Perry, T Munn (eds) *The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Hadfield, K. A., Smit, N.J., 2020. Review of the global distribution and hosts of the economically important fish parasitic isopod genus *Ceratothoa* (Isopoda: Cymothoidae), including the description of *Ceratothoa springbok* n. sp. from South Africa. *Int. J. Parasitol.* 50: 899–919. doi: 10.1016/j.ijpara.2020.07.001
- Hakalahti, T., Valtonen, E.T., 2003. Population structure and recruitment of the ectoparasite *Argulus coregoni* Thorell (Crustacea: Branchiura) on a fish farm. *Parasitol.* 127: 79-85.
- Hakalahti, T., Pasternak, A.F., Valtonen, E.T., 2004. Seasonal dynamics of egg laying and egg-laying strategy of the ectoparasite *Argulus coregoni* (Crustacea: Branchiura). *Parasitol.* 128: 655–660. doi:10.1017/S0031182004004986
- Hakalahti, T., Karvonen, A., Valtonen, E.T., 2006. Climate warming and disease risks in temperate regions *Argulus coregoni* and *Diplostomum spathaceum* as case studies. *J. Helminthol.* 80, 93-98.
- Harvell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., Altizer, S., Dobson, A.P., Ostfeld, R.S., Samuel, M.D., 2002. Climate warming and climate risk for terrestrial and marine biota. *Science*. 296: 2158-2162.



- Herrera-Silveira, J.A., 1994. Spatial heterogeneity and seasonal patterns in a tropical coastal lagoon. *J. Coast. Res.* 10:738-746.
- Ho, J.S., Lin, C.L., Chen, S.N., 2000. Species of *Caligus* Müller, 1785 (Copepoda: Caligidae) parasitic on marine fishes of Taiwan. *Syst. Parasitol.* 46, 159–179. doi: 10.1023/A:1006342120411
- Hudson, P.J., Cattadori, I.M., Boag, B., Dobson, A.P., 2006. Climate disruption and parasite-host dynamics: patterns and processes associated with warming and the frequency of extreme climatic events. *J. Helminthol.* 80, 175-182. doi:10.1079/JOH2006357
- IPPC, 2006. Intergovernmental Panel Climate Change. 2006. guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 Agriculture, forestry and other land use. (Disponible también en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>).
- IPPC, 2019. Intergovernmental Panel Climate Change. 2019. Calentamiento global de 1.5 °C. Resumen para responsables de políticas. (Disponible también en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf).
- Jephcott, T.G., Sime-Ngando, T., Gleason, F.H., Macarthur, D.J., 2016. Host–parasite interactions in food webs: Diversity, stability, and coevolution. *Food Webs*, 6, 1–8. doi: 10.1016/j.fooweb.2015.12.001
- Jiménez-García, M.I., Vidal-Martínez, V.M., 2005. Temporal variation in the infection dynamics and maturation cycle of *Oligogonotylus manteri* (digenea) in the cichlid fish *Cichlasoma urophthalmus* from Yucatan, Mexico. *J. Parasitol.* 91, 1008–1014.
- Johnson, S.C., Treasurer, J.W., Bravo, S., Nagasawa, K., 2004. A Review of the Impact of Parasitic Copepods on Marine Aquaculture. *Zool. Stud.* 43, 229–243.
- Johnson P.T., Thielges, D.W., 2010. Diversity, decoys and the dilution effect: how ecological communities affect disease risk. *J. Exp. Biol.* 213, 961–970.
- Karlsbakk, E., Otterlei, E., Hoie, H., Nylund, A., 2001. Parasites of cultured cod (*Gadus morhua*) postlarvae fed natural zooplankton. *Bull. Eur. Assoc. Fish. Pathol.* 21, 63–70.
- Knipes, A. K., Janovy, J., 2009. Community structure and seasonal dynamics of *Dactylogyrus* spp. (Monogenea) on the fathead minnow (*Pimephales promelas*) from the Salt Valley Watershed, Lancaster County, Nebraska. *J. Parasitol.* 95, 1295–1305. doi: 10.1645/GE-2166.1
- Krasnov, B.R., Korolko-Vinarskaya, N.P., Vinarski, M.V., Shenbrot, G.I., Mouillot, D., Poulin, R., 2008. Searching for general patterns in parasite ecology: host identity versus environmental influence on gamasid mite assemblages in small mammals. *Parasitol.* 135, 229–242. doi:10.1017/S003118200700368X
- Lafferty, K.D., 2009. The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology.* 90, 888-900. doi: 10.1890/08-0079.1. PMID: 19449681.
- Lafferty, K.D., 2017. Marine infectious disease ecology. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48:473–96
- Lester, R.J.G., Hayward, C.J., 2006. Phylum Arthropoda. In *Fish Diseases and Disorders. Volume 1: Protozoan and Metazoan Infections*; Woo, P.T.K., Ed.; CABI: Wallingford, UK, 2006; pp. 466–565.
- López-Guerra, J.G., 2016. Efecto potencial de la temperatura sobre la dinámica de infección de *Argulus yucatanus* (Crustacea: Branchiura) parásito de *Cichlasoma urophthalmus* (Pisces: Cichlidae). Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma del Carmen, Campeche, México.
- Luque, J.L., Poulin, R., 2008. Linking ecology with parasite diversity in Neotropical fishes. *J. Fish. Biol.* 72, 189–204. doi: 10.1111/j.1095-8649.2007.01695.x
- Marcogliese, D.J., 2001. Pursuing parasites up the food chain: Implications of food web structure and function on parasite communities in aquatic systems. *Acta Parasitol.* 46, 82-93.
- Marcogliese, D.J., 2008. The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. *Rev. Sci. Tech.* 27, 467–84
- Marcogliese, D.J., 2016. The distribution and abundance of parasites in aquatic ecosystems in a changing climate: more than just temperature. *Integr. Comp. Biol.* 56, 611–19
- Martínez-Palacios, C.A., Ross, L.G., 1992. The reproductive biology and growth of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther 1862) *J. Appl. Ichthyol.* 8, 99–109.
- May-Tec, A. L., Pech, D., Aguirre-Macedo, M. L., Lewis, J. W., Vidal-Martínez, V.M., 2013. Temporal variation of *Mexiconema cichlasomae* (Nematoda: Daniconematidae) in the Mayan cichlid fish *Cichlasoma urophthalmus* and its intermediate host *Argulus yucatanus* from a tropical coastal lagoon. *Parasitol.* 140, 385–395. doi:10.1017/S0031182012001734
- May-Tec, A.L., Herrera-Castillo, N.A., Vidal-Martínez, V.M., Aguirre-Macedo, M.L., 2020. Following the infection dynamics of the tropical trematode *Oligogonotylus mayae* in its intermediate and definitive hosts for 13 years. *J. Helminthol.* 94, e208. doi:10.1017/S0022149X20000875
- 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. doi:10.3897/zookeys.1089.79999
- McCallum, H.I., Kuris, A., Harvell, C.D., Lafferty, K.D., Smith, G.W., Porter, J., 2004. Does terrestrial epidemiology apply to marine systems? *Trends. Ecol. Evol.* 19, 585–91
- Miranda-Delgado, J.E., Violante-González, J., Monks, S., Rojas-Herrera, A.A., García-Ibáñez, S., Flores-Rodríguez, P., Romero-Ramírez, Y., Santos-Bustos, N.G., 2019. Factors linked to interannual variation in the metazoan parasite communities of black skipjack, *Euthynnus lineatus* (Pisces: Scombridae). *Invertebr. Biol.* 138, 1–18. doi:10.1111/ivb.12259



- Morales-Serna, F.N., Rubio-Godoy, M., Gómez, S., 2011. Seasonality of parasitic copepods on bullseye puffer, *Sphoeroides annulatus* (Pisces: Tetraodontidae), from the northwestern coast of Mexico. *J. Parasitol.* 97, 565–573. doi:10.1645/GE-2638.1
- Morales-Serna, F.N., Gómez, S., Pérez Ponce de León, G., 2012. Parasitic copepods reported from Mexico. *Zootaxa* 3234(1): 43–68. doi:10.11646/zootaxa.3234.1.2
- Moyer, B.R., 2002. Low humidity reduces ectoparasite pressure: implications for host life history evolution. *Oikos* 97, 223–228.
- Neelin, J.D., Battisti, D.S., Hirst, A.C., Jin, F.F., Wakata, Y., Yamagata, T., Zebiak, S.E., 1998. ENSO theory. *J. Geophys. Res.* 103, 14261–14290.
- Okamura, B., Hartikainen, H., Schmidt-Posthaus, H., Wahli, T., 2010. Life cycle complexity, environmental change and the emerging status of salmonid proliferative kidney disease. *Freshw. Biol.* 56, 735–753.
- Oliva, M. E., Barrios, I., Thatje, S., Laudien, J., 2008. Changes in prevalence and intensity of infection of *Proflicollis altmani* (Perry, 1942) cystacanth (Acanthocephala) parasitizing the mole crab *Emerita analoga* (Stimpson, 1857): an El Niño cascade effect? *Helgol. Mar. Res.* 62, 57–62. doi:10.1007/s10152-007-0082-7
- Overstreet, R., 2007. Effects of a hurricane on fish parasites. Retrieved from <http://digitalcommons.unl.edu/parasitologyfacpubs/427/>
- Patz, J.A., Daszak, P., Tabor, G.M., Aguirre, A.A., Pearl, M., Epstein, J., Wolfe, N.D., Kilpatrick, A.M., Foutopoulos, J., Molyneux, D., Bradley, D.J., 2004. Unhealthy landscapes: policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environ. Health Perspect.* 112, 1092–1098
- Paull, S.H., Johnson, P.T.J., 2011. High temperature enhances host pathology in a snail-trematode system: possible consequences of climate change for the emergence of disease. *Freshw. Biol.* 56, 767–778. doi:10.1111/j.1365-2427.2010.02547.x
- Pech, D., Aguirre-Macedo, M.L., Lewis, J.W., Vidal-Martínez, V.M., 2010. Rainfall induces time-lagged changes in the proportion of tropical aquatic hosts infected with metazoan parasites. *Int. J. Parasitol.* 40, 937–944.
- Philander, S.G., 1990. El Niño, La Niña, and the southern oscillation. Academic Press, San Diego 293.
- Pineda, R., Páramo, S., Río, R.D., 1995. A new species of the genus *Argulus* (Crustacea: Branchiura) parasitic on *Atractosteus tropicus* (Pisces: Lepisosteidae) from Tabasco, Mexico. *Syst. Parasitol.* 30, 199–206. doi: 10.1007/BF00010470
- Poly, W.J., 2003. *Argulus ambystoma*, a new species parasitic on the Salamander *Ambystoma dumerilii* from Mexico (Crustacea: Branchiura: Argulidae). *Ohio. J. Sci.* 103, 52–61.
- Poly, W.J., 2005. *Argulus yucatanus* sp. nov. (Crustacea: Branchiura) parasitic on *Cichlasoma urophthalmus* from Yucatan, Mexico. *Gulf. Caribb. Res.* 17, 1–13. doi:10.18785/gcr.1701.01
- Poly, W.J., 2008. Global diversity of fishlice (Crustacea: Branchiura: Argulidae) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 209–212. doi:10.1007/s10750-007-9015-3
- Poulin, R., Mouritsen, K.N., 2006. Climate change, parasitism and the structure of intertidal ecosystems. *J. Helminthol.* 80, 183–191.
- Rábago-Castro, J., Sánchez-Martínez, J.G., Loredó-Ostí, J., Gómez-Flores, R., Tamez-Guerra, P., Ramírez-Pfeiffer, C., 2011. Temporal and spatial variations of ectoparasites on cage-reared channel catfish, *Ictalurus punctatus*, in tamaulipas, Mexico. *J. World. Aquac. Soc.* 42, 406–411. doi:10.1111/j.1749-7345.2011.00480.x
- Rohde, K., Hayward, C., Heap, M., 1995. Aspects of the ecology of metazoan ectoparasites of marine fishes. *Int. J. Parasitol.* 25, 945–70.
- Rohr, J.R., Dobson A.P., Johnson, P.T.J., 2011. Frontiers in climate change-disease research. *Trends. Ecol. Evol.* 26, 270–277.
- Rojas-Herrera, A.A., Violante-González, J., García-Ibáñez, S., Villerías-Salinas, S., Moreno-Díaz, G., 2016. Temporal Variation of the Pelagic Copepod Community in Acapulco Bay, Mexico. *Open. J. Mar. Sci.* 06, 40–48. doi:10.4236/ojms.2016.61005
- Santana-Piñeros, A.M., Cruz-Quintana, Y., May-Tec, A.L., Mera-Loor, G., Aguirre-Macedo, M.L., Suárez-Morales, E., González-Solís, D., 2020. The 2015–2016 El Niño increased infection parameters of copepods on Eastern Tropical Pacific dolphinfish populations. *PLOS ONE* 15, e0232737. doi:10.1371/journal.pone.0232737
- Schotte, M., Markham, J.C., Wilson, G.D.F., 2009. Isopoda (Crustacea) of the Gulf of Mexico In: D.L. Felder, D.K. Camp (eds.), Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota. USA: Texas A&M University Press pp. 973–986.
- Simková, A., Jarkovský, J., Koubková, B., Barus, V., Prokes, M., 2005. Associations between fish reproductive cycle and the dynamics of metazoan parasite infection. *Parasitol. Res.* 95, 65–72. doi:10.1007/s00436-004-1261-y
- Soniati, T.M., Hofmann, E., Klinck, J.M. Powell, E.N., 2009. Differential modulation of eastern oyster (*Crassostrea virginica*) disease parasites by the El-Niño-Southern Oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch)*. 98, 99–114. doi:10.1007/s00531-008-0364-6
- Steinauer, M., Font, W., 2003. Seasonal dynamics of the helminthes of bluegill (*Lepomis macrochirus*) in a subtropical region. *J. Parasitol.* 89, 324–328.
- Studer, A., Poulin, R., 2012. Effects of salinity on an intertidal host-parasite system: Is the parasite more sensitive than its host? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 412, 110–116. doi:10.1016/j.jembe.2011.11.008
- Suárez-Morales, E., Kim, I.H., Castellanos, I., 1998. A new geographic and host record for *Argulus flavescens* Wilson, 1916 (Crustacea, Arguloida), from southeastern Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 62, 293–296.



- Sures, B., Nachev, M., Selbach, C., Marcogliese, D.J., 2017. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in "Environmental Parasitology." *Parasites & Vectors* 10, 65. doi:10.1186/s13071-017-2001-3
- Tapia-Gonzalez, F.U., Herrera-Silveira, J.A., Aguirre-Macedo, M.L., 2008. Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatan Peninsula. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 76, 418–430.
- Taylor, N.G.H., Sommerville, C., Wootten, R., 2006. The epidemiology of *Argulus* spp. (Crustacea: Branchiura) infections in still water trout fisheries. *J. Fish. Dis.* 29, 193–200.
- Taylor, N.G.H., Wootten, R., Sommerville, C., 2009. The influence of risk factors on the abundance, egg laying habits and impact of *Argulus foliaceus* in still water trout fisheries. *J. Fish. Dis.* 32, 509–519.
- Vidal-Martínez, V.M., Pal, P., Aguirre-Macedo, M.L., May-Tec, A.L., Lewis, J.W., 2014. Temporal variation in the dispersion patterns of metazoan parasites of a coastal fish species from the Gulf of Mexico. *J. Helminthol.* 88, 112–122. doi:10.1017/S0022149X12000843
- Vidal-Martínez, V.M., Velázquez-Abunader, I., Centeno-Chalé, O.A., May-Tec, A.L., Soler-Jiménez, L.C., Pech, D., Mariño-Tapia, I., Enríquez, C., Zapata-Pérez, O., Herrera-Silveira, J., Hernández-Mena, D.I., Herzka, S.Z., Ordoñez-López, U., Aguirre-Macedo, L.M., 2019. Metazoan parasite infracommunities of the dusky flounder (*Syacium papillosum*) as bioindicators of environmental conditions in the continental shelf of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Parasites & Vectors.* 12, e279. doi:10.1186/s13071-019-3524-6
- Vidal-Martínez, V.M., Ocaña, F.A., Soler-Jiménez, L.C., García-Teh, J.G., Aguirre-Macedo, M.L., May-Tec, A.L., Árcega-Cabrera, F., Herrera-Silveira, J., 2022. Functional groups of metazoan parasites of the dusky flounder (*Syacium papillosum*) as bioindicators of environmental health of the Yucatan Shelf. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 108, 24–29. doi:10.1007/s00128-021-03177-9
- Villalba-Vasquez, P.J., Violante-González, J., Monks, S., Marino-Romero, J.U., Ibáñez, S. G., Rojas-Herrera, A.A., Rosas-Guerrero, V., 2018. Temporal and spatial variations in the metazoan parasite communities of the Panama spadefish, *Parapsettus panamensis* (Pisces: Ehippiidae), from the Pacific coast of Mexico. *Invertebr. Biol.* 137, 339–354. doi:10.1111/ivb.12232
- Violante-González, J., Aguirre-Macedo, M.L., Vidal-Martínez, V.M., 2008. Temporal variation in the helminth parasite communities of the pacific fat sleeper, *Dormitator latifrons*, from Tres Palos Lagoon, Guerrero, Mexico. *J. Parasitol.* 94, 326–334.
- Violante-Gonzalez, J., Monks, S., Gallegos-Navarro, Y., Santos-Bustos, N.G., Villalba-Vasquez, P.J., Padilla-Serrato, J.G., Pulido-Flores, G., 2020. Interannual variation in the metazoan parasite communities of bigeye trevally *Caranx sexfasciatus* (Pisces, Carangidae). *Parasite.* 27, 6. doi:10.1051/parasite/2020001
- Wilson, C.B., 1908. North American parasitic copepods: A list of those found upon these fishes of the Pacific coast, with descriptions of new genera and species. *Proc. US Natl. Mus.* 35, 431–481. doi:10.5479/si.00963801.35-1652.431
- Wingfield, J.C. Kenagy, G.J., 1991. Natural regulation of reproductive cycles. In: *Vertebrate Endocrinology: Fundamentals and Biomedical Implications* (eds Pang, P.K.T. y Schreibman, M.P.). Academic Press, New York, pp. 181–241.
- Zander, C.D., 2005. Four-year monitoring of parasite communities in gobiid fishes of the southwest Baltic. III. Parasite species diversity and applicability of monitoring. *Parasitol. Res.* 95, 136–144.



Ek-Huchim, J.P., López-Torres, E., Lara-Flores, M., del Río-Rodríguez, R.E., Dzul-Caamal, R., 2022. Impacto de los plaguicidas organoclorados (POCs) en las vías de activación inmunológica de la Abeja melífera (*Apis mellifera*). JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 4(1): 79-90. doi 10.26359/52462.0622



Impacto de los plaguicidas organoclorados (POCs) en las vías de activación inmunológica de la Abeja melífera (*Apis mellifera*)

Organochlorine pesticides (OCPs) impact on the immunological activation pathways of the honey bee (*Apis mellifera*)

*Juan Pablo Ek-Huchim, Elizabeth López-Torres, Maurilio Lara-Flores, Rodolfo E. del Río-Rodríguez y Ricardo Dzul-Caamal**

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche. Campus VI, Av. Héroe de Nacozari 480. C.P. 24029.
San Francisco de Campeche, Campeche, México.

* autor de correspondencia: ricadzul@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0622

Recibido 07/julio/2022. Aceptado 29/agosto/2022

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Edgar Mendoza Franco

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



Resumen

A nivel global se ha observado muertes masivas de la abeja *Apis mellifera* denominada Síndrome del Colapso de las Colonias (CCD, por sus siglas en inglés), que se ha atribuido factores físicos. En adición, se ha sugerido a las abejas y sus productos como herramientas clave en la evaluación de la salud de los ecosistemas, debido a que las abejas son un grupo de organismos que se enfrentan a factores ambientales y antropogénicos como los contaminantes. Los plaguicidas, incluidos los organoclorados (POCs) son considerados contaminantes orgánicos persistentes, extremadamente tóxicos y peligrosos para el humano y las abejas, debido a que tienen efectos neurotóxicos e inmunotóxicos con capacidad de causar mutaciones, cáncer y muerte. Para mitigar los efectos adversos de los contaminantes los vertebrados e invertebrados cuentan con sistemas de desintoxicación integrados por diversas enzimas. Sin embargo, en *A. mellifera* está limitada en el número de genes que codifican para estas enzimas. Se ha documentado que la activación de las vías inmunológicas en *A. mellifera* es esencial para combatir los xenobióticos y patógenos como virus, bacterias, protozoarios. Está activación se lleva a cabo por los Receptores de Reconocimiento de Patrones (PRRs) que detectan a los Patrones Moleculares Asociados a Patógenos (PAMPs) o Asociados a Daño (DAMPs). Entre las vías de señalización se encuentran la toll, la JAK/STAT, la RNAi, la Imd, la JNK y la melanización que involucra la profenoloxidasa (proPO). Son pocos los estudios enfocados a evaluar los efectos de los POCs en *A. mellifera*. Sin embargo, se ha evaluado el efecto y grado de toxicidad de los plaguicidas en los genes del sistema inmune involucrando AMPs, abaecina, himenoptaecina, apisimina, defensina, lisozima, TOLL, PCE, relish, hopscotch, domeless, NF-κB, spaetzle, cactus, dorsal, basket y proPO. En los estudios con patógenos se observó alteración de los genes que codifican para JNK/bsk, p53, iap-2, caspasa, NF-κB, Toll, Tube y Tep-B. En este sentido, identificar la alteración de los genes claves de la respuesta inmunológica contra patógenos, permitiría determinar biomarcadores sensibles de los POCs y evaluar su impacto en *A. mellifera* y en la salud del ecosistema. Por lo tanto, este trabajo de revisión es evidencia de la importancia de la respuesta inmunológica de la abeja *A. mellifera*, desde la perspectiva de las vías de activación y el impacto genotóxico de los POCs.

Palabras clave: *Apis mellifera*, plaguicidas organoclorados (POCs), genotoxicidad, inmunotóxicidad.

Abstract

Massive mortalities of the honey bee *Apis mellifera* called Colony Collapse Syndrome (CCD) are registered in the world. These events have been attributed to factors physical, chemical and biological. In addition, honey bee and their products are considered key tools in the evaluation of the health of ecosystems, since are a group of organism are in direct contact with environmental and anthropogenic factors such as pollutants. Pesticides like organochlorines (OCPs) are considered persistent organic pollutants, extremely toxic and dangerous for humans and bees, because can cause neurotoxicity and immunotoxicity, like as mutations, cancer and death. To mitigate the adverse effects of pollutants, vertebrates and invertebrates have detoxification systems conformed by various enzymatic pathways. However, in *A. mellifera*, the number of genes that involved these enzymes is limited. It has been documented, the suitable immune pathways activation of *A. mellifera* is essential to combat xenobiotics and pathogens such as viruses, bacteria, and protozoa. This activation starts when Pattern Recognition Receptors (PRRs) detect the Pathogen Associated Molecular Patterns (PAMPs) or Damage Associated Molecular Patterns (DAMPs). Signalling pathways include toll, JAK/STAT, RNAi, Imd, JNK, and melanization including propenoloxidase (proPO). Few studies have been aimed at assessing the effects of OCPs on *A. mellifera*. Although pesticides are known to have genotoxic effect on immune system genes like AMPs, abaecin, hymenoptaecin, apisimin, defensin, lysozyme, TOLL, PCE, relish, hopscotch, domeless, NF-κB, spaetzle, cactus, dorsal, basket and proPO. Moreover, pathogenic infection showed alteration in the expression of the genes that code for JNK/bsk, p53, iap-2, caspase, NF-κB, Toll, Tube and Tep-B. In this sense, the identification of key genes alteration of the immune system as a response against pathogens would allow the determination of sensitive biomarkers of OCPs, as well as the evaluation of their impact on *A. mellifera* and the ecosystem health. Therefore, this review highlights the importance of the immune response of the honey bees *A. mellifera*, focused in the activation pathways and the genotoxic impact of the OCPs.

Keywords: *Apis mellifera*, organochlorine pesticides (OCPs), genotoxicity, immunotoxicity.



Introducción

Las abejas son consideradas de vital importancia en la conservación de los ecosistemas debido a que contribuyen en la polinización de plantas silvestres y de cultivo, siendo esta una parte esencial en la diversificación de las especies, con especial énfasis en la variabilidad genética. Además, sus productos como la miel y jalea real son de gran interés para la nutrición y economía global (Faita *et al.*, 2022). No obstante, las abejas son potencialmente amenazadas por diferentes factores como la pérdida de hábitat, el cambio climático, los organismos invasores, las enfermedades emergentes, los patógenos (parásitos, hongos, bacterias y virus) y el uso de plaguicidas que favorecen el Síndrome del Colapso de Colonias (Brown y Paxton, 2009; Sánchez-Bayo *et al.*, 2016).

El peligro de los plaguicidas es realmente alarmante debido a su larga vida media y alta toxicidad, que además de ser letal para los insectos no diana, pueden poner en riesgo la salud humana dado que se ha encontrado en la miel y otros alimentos (Chmiel *et al.*, 2020). Así mismo, podrían interactuar con varios factores estresantes o formar mezclas con otros plaguicidas, incrementando el

impacto ocasionado en las abejas o colonias (Al Nagggar *et al.*, 2015).

Con base a su composición química los plaguicidas se subdividen en organoclorados (POCs), organofosforados, piretroides, carbamatos, neonicotinoides, etc. (Akashe *et al.*, 2018). Los POCs que son ampliamente utilizados para la prevención y control de plagas, principalmente en zonas de cultivos agrícolas. Sin embargo, son una amenaza potencial en la salud de los humanos por sus efectos carcinogénicos, clastogénicos y mutagénicos aun en bajas concentraciones (Ma *et al.*, 2022). Además, se conoce que tienen gran capacidad de causar la muerte o neurotoxicidad, inmunotóxicidad y disrupción endocrina (Zou, 2020; Kumar *et al.*, 2022), haciendo vulnerables a los organismos a depredadores y susceptibles a diferentes patologías. El daño en el sistema endocrino puede impactar el sistema reproductivo, mitigando el aseguramiento generacional de las especies (Ben Mukiibi *et al.*, 2021). Por lo tanto, en esta revisión evidenciamos la importancia de la respuesta inmunológica de la abeja *A. mellifera*, desde la perspectiva de las vías de activación y el impacto genotóxico de los POCs.

Presencia de plaguicidas organoclorados (POCs) en muestras ambientales y organismos

Los plaguicidas son compuestos químicos utilizados para el control o eliminación de plagas. Han traído muchos beneficios en la agricultura (Singh y Venkataramgowda, 2013), y son ampliamente aplicados para el cuidado de la salud pública en el control de vectores como las moscas y mosquitos (El-Nahhal, 2020). Sin embargo, los residuos de estos compuestos constituyen una importante fuente de contaminación de difícil eliminación, por sus características lipofílicas (Raffa y Chiampo, 2021).

La presencia del cloro y grupos aromáticos en los POCs la hacen altamente hidrofóbicos y difíciles de degradar por los organismos, por lo que se bioacumulan en el tejido adiposo y órganos, con probable biomagnificación en la cadena alimenticia (Singh y Venkataramgowda, 2013; Ma *et al.*, 2022). Estos contaminantes son extremadamente tóxicos y peligrosos para la salud humana y fauna no diana como las abejas, y su alta volatilidad y movilidad facilita su dispersión, incrementado de forma drástica las áreas de contaminación en los ecosistemas



(aire, agua, sedimento y suelo) (Raffa y Chiampo, 2021). En este sentido, estos compuestos son considerados contaminantes orgánicos persistentes (UNEP, 2020), y están prohibidos en varios países. Sin embargo, se conoce que aún son aplicados en la agricultura debido a su fácil adquisición, bajo costo y la legislación inadecuada (Olisah *et al.*, 2020). Entre los POCs más utilizados se encuentran el diclorodifeniltricloroetano (DDT), diclorodifenildicloroetano (DDD), hexaclorociclohexano (HCH), hexacloruro de benceno (BHC), dicofol, aldrina, eldrin, dieldrina, lindano, clorobencilato, Isodrin, heptaclor, methoxychloro aldrin, aldrina, clordano, lindano, endosulfán, isidrina, isobenzano, toxafeno y cloropropilato (Jayaraj *et al.*, 2016; Raffa y Chiampo, 2021).

En México, se ha registrado la presencia de POCs en leche y sangre humana, y leche de vaca (Ruiz-Suárez *et al.*, 2014; García-Hernández *et al.*, 2018), evaluaron el impacto de la exposición a mezclas de 18 POCs en sangre de trabajadores agrícolas mediante la detección de sus efectos sobre la actividad de la enzima glutatión S-transferasa (GST) y la presencia de polimorfismos de la GSTT1 y genes GSTM1. Sus resultados evidenciaron disminución de la actividad de la GST dependiente a mayores concentraciones de POCs y en individuos que presentaban los genotipos GSTT1 y GSTM1. Anguiano-Vega *et al.* (2020), identificaron y evidenciaron que la presencia de POCs en muestras de cabello de niños en dos escuelas primarias, induce anomalías nucleares y apoptosis en células bucales como posibles biomarcadores genotóxicos. Las anomalías nucleares más frecuentes en los niños expuestos fueron núcleos lobulados (79.4 %), células binucleadas (66,66 %), apoptosis (65.07) y micronúcleos (58.7 %).

En la península de Yucatán los POCs se han encontrado en tortugas silvestres (García-Besné *et al.*, 2015), en huevos de dos especies de tortugas marinas (*Eretmochelys imbricata* y *Chelonia mydas*) (Salvarani *et al.*, 2019) y su relación con efectos neurológicos y estrés oxidativo (Tremblay *et al.*, 2017). Además, se registró en sangre de mamíferos como la zarigüeya de Virginia (*Didelphis virginiana*) de sitios rurales ex-henequeneros (Escamilla-López *et al.*, 2020) y ratones silvestres habitantes de zonas de cultivos (Andrade-Herrera *et al.*, 2018). También se ha documentado la presencia de estos POCs en el agua que ingiere la población, en cenotes, en el manto freático y en la sangre humana. Así mismo, su presencia se ha relacionado con el cáncer de cuello uterino (Rodas-Ortiz *et al.*, 2008; Polanco-Rodríguez *et al.*, 2015, 2022).

Con respecto a la apicultura, a nivel global se han detectado POCs en abejas y sus productos como la miel, cera y polen (Ben Mukiibi *et al.*, 2021; Cunningham *et al.*, 2022). En miel se cuantificó altos niveles de lindano, endosulfán y p,p'-DDD superando la dosis de referencia aguda (DRA), esto sugiere riesgo en los órganos reproductivos y cáncer en el humano (Ben Mukiibi *et al.*, 2021). Cabe mencionar que la península de Yucatán es esencial en la producción de miel nacional con especial mercado internacional (Huerta-Barrientos *et al.*, 2021). Sin embargo, presentó POCs en abejas, miel, polen y panal (Valdovinos-Flores *et al.*, 2017; Ruiz-Toledo *et al.*, 2018). Por lo tanto, es indispensable gestionar alternativas de producción apícola que permitan disminuir la presencia de plaguicidas en los productos de comercialización. Ejemplo de ello, son los métodos que utilizan los productores de la miel, conocidos actualmente como "orgánicas".



***Apis mellifera* y sus productos en el biomonitoreo ambiental**

El monitoreo en tiempo real para la evaluación de la salud o calidad ambiental cada vez es más exigente para el cuidado de la biodiversidad, seguridad alimentaria, cuidado humano, entre otros (Cunningham *et al.*, 2022). En este sentido, el efecto de los contaminantes se puede determinar mediante ensayos *in vivo* e *in vitro* para determinar las respuestas de bioindicadores o biomarcadores celulares y moleculares de perturbaciones ambientales (Gold-Bouchot *et al.*, 2017).

Se han propuesto a las abejas *A. mellifera*, su miel, polen y cera como bioindicadores y biomonitores de contaminación y cambio climático, debido a la gran interacción entre esta especie con el

medio ambiente. Estos organismos se producen y distribuyen a nivel global, y son considerados los principales polinizadores de una gran diversidad florística, incluidos el de los sistemas agrícolas y recolectores de largo alcance, ya que abarcan grandes áreas para obtener diversos productos de las plantas (néctar, polen, resina y otros materiales). Durante la recolección se enfrentan a diversos factores ambientales de origen físico, genómico, biológico (patógenos) y químico (contaminantes) por lo que son consideradas buenos bioindicadores en los estudios de riesgo de los ecosistemas (Ben Mukiibi *et al.*, 2021; Cunningham *et al.*, 2022).

Impacto de los plaguicidas organoclorados en la salud de las abejas *Apis mellifera*

Las abejas melíferas tienen gran valor en la industria agroalimentaria y en la producción apícola de las zonas rurales. Por lo tanto, es vital comprender cómo las abejas enfrentan el estrés causado por la agricultura y la naturaleza, o hasta qué punto este estrés explica los aumentos recientes en las muertes reportadas (Kablau *et al.*, 2020). Más aún, si se conoce que varios plaguicidas alteran la respuesta inmune de *A. mellifera* haciéndola vulnerable a patógenos y debilitando a la colmena (Costa *et al.*, 2020).

Para enfrentar a las sustancias tóxicas, los vertebrados e invertebrados cuentan con sistemas de desintoxicación integrados por diversas enzimas. Sin embargo, *Apis mellifera* están limitadas en genes específicos para la desintoxicación, los más relevantes se expresan a niveles bajos y la expresión varía con respecto a la estructura social. Además, los plaguicidas juegan un papel importante en el nivel de expresión de los genes de desintoxicación, ya que pueden causar efectos sinérgicos entre múlti-

ple plaguicidas, amplificando la toxicidad efectiva o facilitando su eliminación (Chmiel *et al.*, 2020).

Los POCs actúan a nivel neuronal inhibiendo la acción de la acetilcolinesterasa (AChE), causando la muerte por insuficiencia respiratoria posterior a la interrupción del sistema nervioso (Glavan y Bozic, 2013). Por lo tanto, la AChE es considerado biomarcador de neurotoxicidad y puede estar directamente asociada con la efectividad de la defensa social e individual de las abejas (figura 1). Incluso, en condiciones no letales, se podría observar morbilidad debido a la afección de la función neuronal dentro del eje hipotálamo-hipofisario, con daño en el sistema neuroendocrino y deficiencia en la producción de hormonas, en conjunto con la alteración del metabolismo celular, consumo de oxígeno, función mitocondrial, glicolisis, entre otros (Chmiel *et al.*, 2020). Por otro lado, se conoce que el sistema inmunológico y endocrino tienen una comunicación bidireccional y son de gran importancia en la homeostasis y desarrollo de los orga-

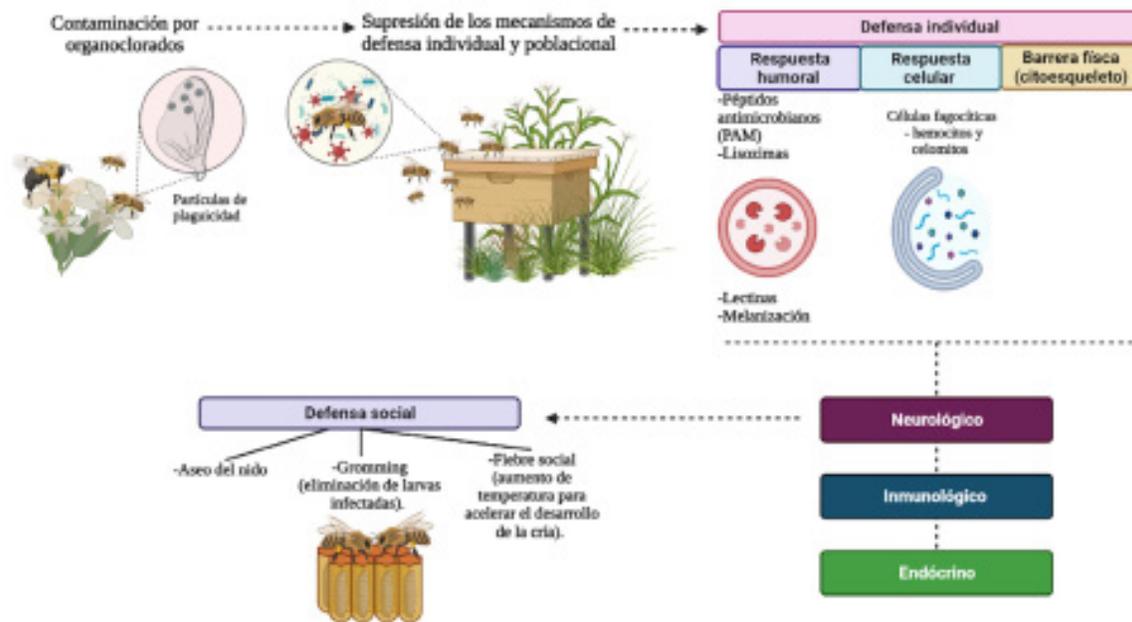


Figura 1. Plaguicidas organoclorados y defensa individual y social de *A. mellifera*.

nismos (Zhang *et al.*, 2020) 10 ng/L, 25 ng/L and 50 ng/L. En este sentido, los genes que involucran el neurológico, endocrino e inmunológico son he-

rramientas idóneas para el monitoreo de la calidad ambiental y genotoxicidad.

Respuesta inmune de *A. mellifera*

Existen importantes factores de riesgo para la salud de *A. mellifera*, entre los que se encuentran los xenobióticos y patógenos parásitos como los microsporidios *Nosema apis* Zander y *Nosema ceranae* y el ácaro *Varroa destructor*, que además de dañar directamente a las abejas puede ser un importante vector del Virus de parálisis aguda (ABPV, IAPV), Virus Kashmir (KBV), Virus de la parálisis crónica (CBPV), Virus Schmallenberg (SBV), Virus del ala deformada (DWV), *Varroa destructor* virus 1 (VDV-1) y Virus de las células negras de la reina (BQCV) (McMenamin y Genersch, 2015).

Para su defensa, *A. mellifera* utiliza su sistema inmune que está constituido de la respuesta celular y humoral para combatir a estas amenazas. La inmunidad celular es desarrollada por los hemocitos que involucran procesos de fagocitosis, lisis, encapsamiento y melanización. La respuesta humoral que es fundamental para combatir infecciones bacterianas, micóticas y virales, involucra quimiocinas y los péptidos antimicrobianos (AMPs) como las apidaecinas, abaecinas, himenoptaecinas y defensinas. Cabe mencionar que no se puede determinar los límites de acción de la línea celular y humo-



ral, debido a que existen componentes que funcionan como efectoras y otros como inhibidoras para tener un control de la respuesta inmune (Larsen *et al.*, 2019).

La respuesta inmunitaria se inicia por la interacción patógeno/xenobiótico-hospedero y dependiendo del agente externo se activan los diferentes mecanismos o vías inmunológicas. La activación de las vías es llevada a cabo por los receptores de patrones de reconocimiento (PRRs) que detectan estructuras moleculares conservadas denominados patrones moleculares asociados a los patógenos (PAMPs) o patrones moleculares asociados a daño (DAMPs). Este reconocimiento activa varias vías de señalización, entre las que se encuentran la vía toll, la vía del receptor de citoquinas JAK/STAT, la vía del receptor de citoquinas JAK/STAT, la vía RNAi, la vía Imd y la vía JNK (Evans *et al.*, 2006; Brutscher *et al.*, 2015; Larsen *et al.*, 2019).

Otra vía inmunológica que es considerada esencial en la defensa de las abejas es la melanización, que se da durante la encapsulación y cicatrización, e involucra la profenoloxidasas (proPO) que es esencial para combatir agentes patógenos o xenobióticos (figura 2) (González-Santoyo y Córdoba-Aguilar, 2012; Larsen *et al.*, 2019).

En adición, se han registrado genes que codifican proteínas activadoras e inhibidoras para regular transcripcionalmente la respuesta inmune, fagocitosis, formación y encapsulación de nódulos, y el sistema de la fenoloxidasas (Laughton *et al.*, 2011; Siede *et al.*, 2012). En este sentido, determinar genes claves de las vías inmunológicas para combatir patógenos específicos y que sus expresiones pudieran ser alterados por los POCs, nos permitiría determinar biomarcadores de los POCs y evaluar su impacto en *A. mellifera*.

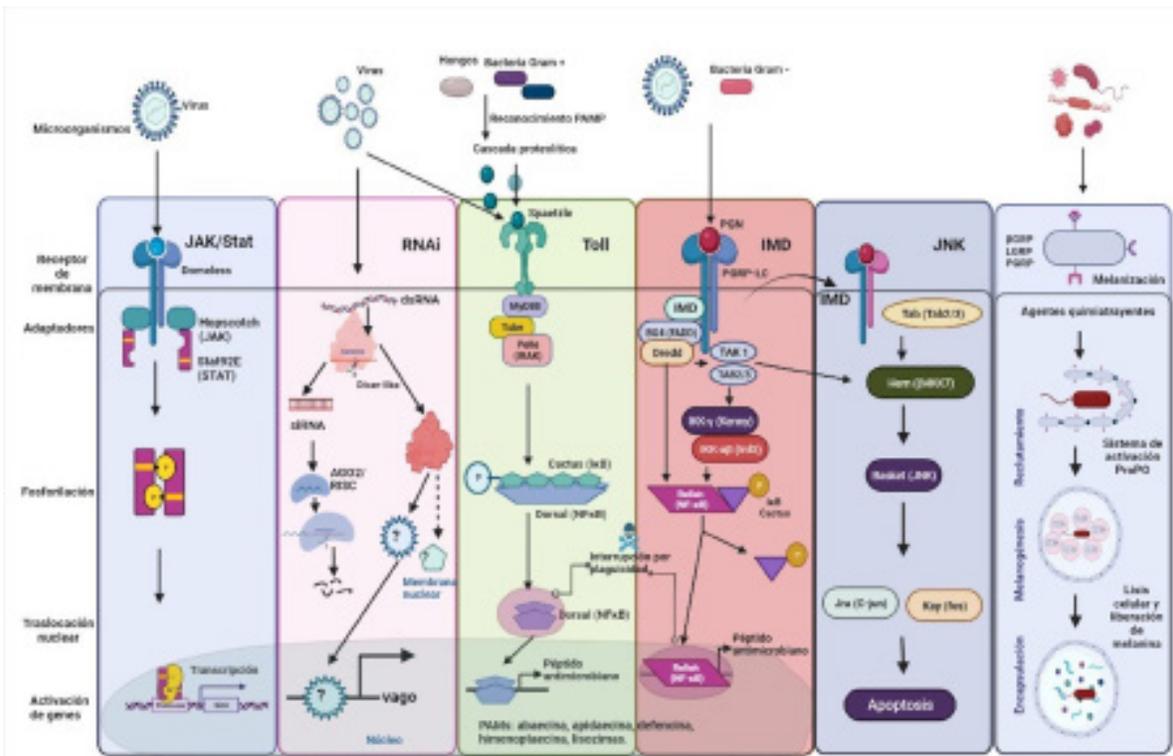


Figura 2. Vías y rutas de activación del sistema inmune de *Apis mellifera*.



Plaguicidas y genotoxicidad en *A. mellifera*

La genotoxicidad que prácticamente está asociado a la carcinogénesis se puede evaluar con la presencia de daño en el ADN, mutación genética, intercambio de cromátidas hermanas, formación de micronúcleos, aberraciones cromosómicas y aneuploidia (Stone *et al.*, 2009). El daño genético por la respiración oxidativa y el metabolismo es un fenómeno natural que está siendo continuamente reparado. Sin embargo, el incremento y acumulación de este daño como sucede en la presencia de algún xenobiótico tiene efectos adversos en la respuesta inmune, pudiendo ser alterada la apoptosis, división y/o proliferación celular, desencadenando la mutagénesis y carcinogénesis (Stice *et al.*, 2019).

Se conoce que los plaguicidas afectan el comportamiento y el funcionamiento de las abejas, comprometiendo el funcionamiento fisiológico general, la reproducción, la inmunidad, la cognición, microbiana intestinal, aprendizaje, navegación, memoria, alimentación, resistencia a las enfermedades e inclusive la vida misma (Evans *et al.*, 2006; Blotid *et al.*, 2019), en particular los POCs dañan el ADN y tienen efectos inmunotóxicos e inmunosupresores, lo que presume que por esta vía contribuyen en la disminución de las colonias de abejas (Siede *et al.*, 2012). No obstante, para evaluar el efecto y grado de toxicidad de los plaguicidas se han realizado estudios en genes neurológicos de *A. mellifera* que codifican para las enzimas acetilcolinesterasa (AChE) y carboxilesterasas (CaEs); genes de desintoxicación como el Citocromo P450, glutathion-S-transferasa (GST); y estrés oxidativo como la catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD)

(Koo *et al.*, 2016). Sin embargo, existen muy pocos estudios enfocados a evaluar los efectos de los POCs en *A. mellifera*. Por otro lado, se ha evaluado el efecto otros plaguicidas no organoclorados como la cipermetrina y el clorantraniliprol en genes que codifican para relish, hopscotch y domeless que involucran las vías de activación del sistema inmune. Otros plaguicidas organofosforados como clorpirifós y malatión alteran la expresión de los genes que codifican AMPs, abaecina, apisimina, defensina, receptores de membrana tipo TOLL y PCE (Pro-clotting enzymes) que es un zimógeno de proteasa intracelular y que tiene una acción asociada a la proPO. Los neonicotinoides como la clotianidina alteran la activación del factor nuclear potenciador de cadena ligera kappa de células B activadas (NF- κ B) suprimiendo la actividad viral (Costa *et al.*, 2020). La exposición de *A. Mellifera* a imidacloprid y *Varroa destructor* alteró la expresión de los genes PGRP SC 4300, PGRP LC 710, spaetzle, cactus, dorsal, dónes, relish, basket, kayak, abaecina, apidaecina, himenoptaecina, lisozima, defensina y proPO (Tesovnik *et al.*, 2019).

Por otro lado, los estudios vinculados específicamente con patógenos como la nosema sugirió inmunosupresión con alteración de la activación de los genes inmunológicos que codifican para JNK/bsk, p53, iap-2, caspasas y NF- κ B (Kurze *et al.*, 2015). Así mismo, se observó variación en los niveles de expresión de Toll-7, Tube y Tep-B en abejas infectadas con el virus del ala deformada (DWV) y *Varroa destructor* virus 1 (VDV-1) (Bull *et al.*, 2012).



La expresión de genes en abejas como herramienta en el monitoreo de POCs en México

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020), la producción de miel en México es de gran importancia situándose a nivel internacional en el décimo lugar con mejor producción. Cabe mencionar que en el año 2019 la producción de miel se centró en ocho estados entre los que destacan los estados de Yucatán y Campeche. La producción apícola es una actividad de potencial importancia en el aspecto socioeconómico, que requiere apearse a las especificaciones de la NOM PROY-NOM-004-SAG/GAN-2018 para garantizar su pureza. Actualmente los POCs han afectado los ambientes de todo el mundo y son evaluados en aguas, suelos, sedimentos y organismos acuáticos (Şimşek Uygun y Albek, 2022). En la literatura, hay varios estudios sobre los efectos tóxicos de POCs en organismos y el ambiente, pero existe poca información disponible sobre el efecto de los POCs en las abejas y su impacto en la producción de miel. Hasta ahora, con base al Servicio Nacional

de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica) 2020, los POCs no son determinados en la miel, pero en abejas tienen tolerancia cero, es decir no debe encontrarse ningún residuo de estos contaminantes. La importancia del monitoreo de los POCs deriva de su potencial de causar diversas enfermedades, carcinogénesis, neurotoxicidad, genotoxicidad, destrucción del sistema endocrino, reproductivo e inmunológico (Qi et al., 2022). En este sentido, la aplicación de técnicas altamente sensibles como la qRT-PCR para la evaluación de la expresión de genes de la respuesta temprana de los mecanismos del sistema nervioso, inmune y endocrino que están estrechamente relacionados, permitirá conocer el estado de salud y defensa de las abejas, así como los alcances nocivos de los POCs en estos organismos de importancia ecológica (polinizadores) y económica para las comunidades rurales de México.

Conclusión

Existen muy pocos estudios para el conocimiento de los efectos subletales de los plaguicidas organoclorados (POCs) en *A. mellifera*, en particular el daño genotóxico asociado a la respuesta inmunológica. Es imperante conocer el impacto de los xenobióticos en los mecanismos inmunológicos que pudieran estar involucrados en la respuesta ante enfermedades infecciosas y sugerir posibles alternativas que puedan mitigar la vulnerabilidad de las abejas ante los patógenos. Este estudio contribuye al conocimiento del impacto de POCs que son potencialmente carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos y bioacumulables sobre los genes asociados al sistema inmunológico de las abejas *Apis mellifera* que son organismos de gran importancia ecológica

(polinizadores) y que sus productos como la miel, son destinados para el consumo humano.

El impacto de la contaminación antropogénica continuará incrementado. Por lo tanto, es de vital importancia generar conocimiento que permita conocer los mecanismos de defensa de las abejas y aumentar la resistencia a patógenos. Para ello, la biología molecular como la PCR en tiempo real es una herramienta de especial importancia para evaluar la expresión de genes y determinar biomarcadores en *A. mellifera*. Así como, biomarcadores de las señales tempranas de alerta de exposición con el fin de evitar resultados irreversibles como el cáncer. Por otro lado, está la selección genética de especies resistentes a través del barcoding.



Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca del autor principal, en el marco de la Convocatoria de estancias posdoctorales por México Modalidad 2: Estancia Posdoctoral de Incidencia en la Universidad Autónoma de Campeche, para desarrollar el proyecto “Impacto genotóxico de plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos ambientales en el sistema endocrino e inmunológico de las abejas (*Apis mellifera*) de la península de Yucatán”.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que han proporcionado apoyo financiero para las investigaciones sobre la situación actual de las abejas melíferas y sus subproductos como la miel, a través del Proyecto No. 139025, Ciencia de Frontera 2019, titulado “Monitoreo de plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos en abejas (*Apis mellifera*) y miel procedentes de zonas de cultivos de la península de Yucatán y su aplicación en el manejo sostenible y la trazabilidad de la miel.” Universidad Autónoma de Campeche (FORDECYT-PRONACES/139025/2020).

Referencias

- Akashé, M. M., Pawade, U. V. and Nikam, A. V., 2018. Classification of pesticides: A review. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy* 9, 144–150.
- Al Naggar, Y., Wiseman, S., Jianxian, S., Cutler, G. C., Aboul-Soud, M., Naiem, E., Mona, M., Seif, A. and Giesy, J. P., 2015. Effects of environmentally-relevant mixtures of four common organophosphorus insecticides on the honey bee (*Apis mellifera* L.). *Journal of Insect Physiology* 82, 85–91.
- Andrade Herrera, M., Escalona Segura, G., González Jáuregui, M., Reyna Hurtado, R., Vargas Contreras, J. A., Rendón von Osten, J., 2018. Presence of organochlorine pesticides and characterization of biomarkers in wild mice living in crop fields. *Therya* 9(3), 209-218.
- Anguiano Vega, G. A., Cazares Ramirez, L. H., Rendon Von Osten, J., Santillan Sidon, A. P., Vazquez Boucard, C. G., (2020). Risk of genotoxic damage in schoolchildren exposed to organochloride pesticides. *Scientific Reports* 10,17584.
- Ben Mukiibi, S., Nyanzi, S. A., Kwetegyeka, J., Olisah, C., Taiwo, A. M., Mubiru, E., Tebandeke, E., Matovu, H., Odongo, S., Abayi, J. J. M., Ngeno, E. C., Sillanpää, M. and Ssebugere, P., 2021. Organochlorine pesticide residues in Uganda's honey as a bioindicator of environmental contamination and reproductive health implications to consumers. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 214, 112094.
- Blotid, N., Veillat, L., Rouzé, R. and Delatte, H., 2019. Glyphosate, but not its metabolite AMPA, alters the honeybee gut microbiota. *PLoS ONE* 14, hal-02356123.
- Brown, M. J. F. and Paxton, R. J., 2009. The conservation of bees: A global perspective. *Apidologie* 40, 410–416.
- Brutscher, L. M., Daughenbaugh, K. F. and Flenniken, M. L., 2015. Antiviral defense mechanisms in honey bees. *Current Opinion in Insect Science* 10, 71–82.
- Bull, J. C., Ryabov, E. V., Prince, G., Mead, A., Zhang, C., Baxter, L. A., Pell, J. K., Osborne, J. L. and Chandler, D., 2012. A strong immune response in young adult honeybees masks their increased susceptibility to infection compared to older bees. *PLoS Pathogens* 8, e1003083.
- Chmiel, J. A., Daisley, B. A., Pitek, A. P., Thompson, G. J. and Reid, G., 2020. Understanding the effects of sublethal pesticide exposure on honey bees: A role for probiotics as mediators of environmental stress. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8, 22.
- Costa, C., Briguglio, G., Catanoso, R., Giambò, F., Polito, I., Teodoro, M. and Fenga, C., 2020. New perspectives on cytokine pathways modulation by pesticide exposure. *Current Opinion in Toxicology* 19, 99–104.
- Cunningham, M. M., Tran, L., McKee, C. G., Ortega Polo, R., Newman, T., Lansing, L., Griffiths, J. S., Bilodeau, G. J., Rott, M. and Marta Guarna, M., 2022. Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change. *Ecological Indicators* 134, 108457.
- El-Nahhal, Y., 2020. Pesticide residues in honey and their potential reproductive toxicity. *Science of the Total Environment* 741, 139953. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139953.
- Escamilla-López, A., Ruiz-Piña, H. A., Rendón-von Osten, J., 2020. Organochlorine Pesticides Residues in Blood of



- Peridomestic Populations of *Virginia Opossum (Didelphis virginiana)* from Ex-Henequen Rural Localities of Yucatan, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 78(2), 303-309.
- Evans, J. D., Aronstein, K., Chen, Y. P., Hetru, C., Imler, J. L., Jiang, H., Kanost, M., Thompson, G. J., Zou, Z. and Hultmark, D., 2006. Immune pathways and defence mechanisms in honey bees *Apis mellifera*. *Insect Molecular Biology* 15, 645–656.
- Faita, M. R., Chaves A., Corrêa C. C. G., Silveira V. and Nodari, R. O., 2022. Proteomic profiling of royal jelly produced by *Apis mellifera* L. exposed to food containing herbicide-based glyphosate. *Chemosphere* 292, 133334.
- García-Besné, G., Valdespino, C. and Rendón-von Osten, J., 2015. Comparison of organochlorine pesticides and PCB residues among hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) and green (*Chelonia mydas*) turtles in the Yucatan Peninsula and their maternal transfer. *Marine Pollution Bulletin* 91, 139–148.
- García-Hernández, J., Leyva-Morales, J. B., Martínez-Rodríguez, I. E., Hernández-Ochoa, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Rojas-García, A. E., Betancourt-Lozano, M., Perez-Herrera, N. E. and Perera-Rios, J. H., 2018. Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34, 29–60.
- Glavan, G. and Božič, J., 2013. The synergy of xenobiotics in honey bee *Apis mellifera*: mechanisms and effects. *Acta Biologica Slovenica* 56, 11–25.
- Gold-Bouchot, G., Rubio-Piña, J., Montero-Muñoz, J., Ramirez-Miss, N., Echeverría-García, A., Patiño-Suarez, V., Puch-Hau, C. A. and Zapata-Pérez, O., 2017. Pollutants and biomarker responses in two reef fish species (*Haemulon aurolineatum* and *Ocyurus chrysurus*) in the Southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 116, 249–257.
- González-Santoyo, I. and Córdoba-Aguilar, A., 2012. Phenoloxidase: A key component of the insect immune system. *Entomología Experimentalis et Applicata* 142, 1–16.
- Huerta-Barrientos, A., Vera-Morales, A. E., Avila-Callejas, L. P., Saldaña-Cabrera, M. A., García-López, E. and Gutiérrez-Ayala, E., 2021. Sustainable beekeeping cooperative societies: The case of Mexico city. *International Journal of Food Science and Agriculture* 5, 76–84.
- Jayaraj, R., Megha, P. and Sreedev, P., 2016. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary Toxicology* 9, 90–100.
- Kablau, A., Eckert, J. H., Pistorius, J., Sharbati, S. and Einspanier, R., 2020. Effects of selected insecticidal substances on mRNA transcriptome in larvae of *Apis mellifera*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 170, 104703.
- Koo, H.-N., Lee, S.-G., Yun, S.-H., Kim, H. K., Choi, Y. S. and Kim, G.-H., 2016. Comparative analyses of Cu-Zn superoxide dismutase (SOD1) and thioredoxin reductase (TrxR) at the mRNA level between *Apis mellifera* L. and *Apis cerana* F. (Hymenoptera: Apidae) under stress conditions. *Journal of Insect Science* 16, 1–6.
- Kumar, D., Banerjee, D., ChaKraBarti, P., SarKar, S. and Basu, P., 2022. Oxidative stress and apoptosis in Asian honey bees (*A. cerana*) exposed to multiple pesticides in intensive agricultural landscape. *Apidologie* 53, 1–19.
- Kurze, C., Le Conte, Y., Dussaubat, C., Erler, S., Kryger, P., Lewkowski, O., Müller, T., Widder, M. and Moritz, R. F. A., 2015. Nosema tolerant honeybees (*Apis mellifera*) escape parasitic manipulation of apoptosis. *PLoS ONE* 10, 1–8.
- Larsen, A., Reynaldi, F. J. and Guzmán-Novoa, E., 2019. Fundamentals of the honey bee (*Apis mellifera*) immune system. Review. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 10, 705–728.
- Laughton, A. M., Boots, M. and Siva-Jothy, M. T., 2011. The ontogeny of immunity in the honey bee, *Apis mellifera* L. following an immune challenge. *Journal of Insect Physiology* 57, 1023–1032.
- Ma, J., Yu, Z., Liu, S., Chen, Y., Lv, Y., Liu, Y., Lin, C., Ye, X., Shi, Y., Liu, M. and Tian, J., 2022. Efficient extraction of trace organochlorine pesticides from environmental samples by a polyacrylonitrile electrospun nanofiber membrane modified with covalent organic framework. *Journal of Hazardous Materials* 424, 127455.
- McMenamin, A. J. and Genersch, E., 2015. Honey bee colony losses and associated viruses. *Current Opinion in Insect Science* 8, 121–129.
- Olisah, C., Okoh, O. O. and Okoh, A. I., 2020. Occurrence of organochlorine pesticide residues in biological and environmental matrices in Africa: A two-decade review. *Heliyon* 6, e03518.
- Polanco-Rodríguez, A. G., Navarro-Alberto, J. A., Solorio-Sánchez, J., Mena-Rejón, G. J., Marrufo-Gómez, J. and Del Valls-Casillas, T. A., 2015. Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the ring of cenotes in Yucatán, México. *Water and Environment Journal* 29, 140–150.
- Polanco-Rodríguez, A. G., Araujo-León, J. A., López-Cetz, R., Long, D., Álvarez-Cervera, F. J., Barache, U. and Rosas-Sánchez, D. H., 2022. Organochlorine pesticides in the drinking water of Merida and its metropolitan zone, a karst region. *Urban Water Journal* 19, 40–50.
- Qi S-Y, Xu X-L, Ma W-Z, Deng S-L, Lian Z-X. and Yu K. (2022) Effects of organochlorine pesticide residues in maternal body on infants. *Frontiers in Endocrinology* 13, 890307
- Raffa, C. M. and Chiampo, F., 2021. Bioremediation of agricultural soils polluted with pesticides: A review. *Bioengineering* 8, 2–29.
- Rodas-Ortiz, J. P., Ceja-Moreno, V., González-Navarrete, R. L., Alvarado-Mejía, J., Rodríguez-Hernández, M. E. and Gold-Bouchot, G., 2008. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls levels in human milk from Chelem, Yucatán, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 80, 255–259.
- Ruiz-Suárez, L. E., Castro-Chan, R. A., Rivero-Pérez, N. E., Trejo-Acevedo, A., Guillén-Navarro, G. K., Geissen, V. and Bello-Mendoza, R., 2014. Levels of organochlorine



- pesticides in blood plasma from residents of malaria-endemic communities in Chiapas, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11, 10444–10460.
- Ruiz-Toledo, J., Vandame, R., Castro-Chan, R. A., Penilla-Navarro, R. P., Gómez, J. and Sánchez, D., 2018. Organochlorine pesticides in honey and pollen samples from managed colonies of the honey bee *Apis mellifera* linnaeus and the stingless bee *Scaptotrigona mexicana* guérin from southern, Mexico. *Insects* 9, 1–18.
- Salvarani, P. I., Morgado, F., Vieira, L. R., Rendón-von Osten, J., 2019. Organochlorines Contaminants in Eggs of Hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) and Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) from Mexico coast. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 76(3), 425-434.
- Sánchez-Bayo, F., Goulson, D., Pennacchio, F., Nazzi, F., Goka, K. and Desneux, N., 2016. Are bee diseases linked to pesticides? - A brief review. *Environment International* 89–90, 7–11.
- Santillán-Sidón, P., Pérez-Morales, R., Anguiano, G., Ruiz-Baca, E., Rendón-Von Osten, J., Olivas-Calderón, E., Vazquez-Boucard, C., 2020. Glutathione S-transferase activity and genetic polymorphisms associated with exposure to organochloride pesticides in Todos Santos, BCS, Mexico: a preliminary study. *Environmental Science and Pollution Research* 27(34), 43223-43232.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones. DOF: 29/04/2020
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), 2020. Tabla de límites máximos de residuos 2020.
- Siede, R., Meixner, M. D. and Büchler, R., 2012. Comparison of transcriptional changes of immune genes to experimental challenge in the honey bee (*Apis mellifera*). *Journal of Apicultural Research* 51, 320–328.
- Singh, C. and Venkataramgowda, S., 2013. Organochlorine residues in bees and hive products in Karnataka. *International Journal of Science and Research* 4, 2319–7064.
- Şimşek Uygun B. and Albek E. A., 2022. Seasonal monitoring of organochlorine pesticides in water, soil, and sediment in a small pond and determining ecotoxicological risk assessment. *Environmental Quality Management*. 9;13:890307
- Stice, S. A., Beedanagari, S. R., Vulimiri, S. V., Bhatia, S. P. and Mahadevan, B., 2019. Genotoxicity biomarkers: Molecular basis of genetic variability and susceptibility. In *Biomarkers in Toxicology*, pp. 807–821. Elsevier Inc.
- Stone, V., Johnston, H. and Schins, R. P. F., 2009. Development of in vitro systems for nanotoxicology: Methodological considerations. *Critical Reviews in Toxicology* 39, 613–626.
- Tremblay, N., Ortíz Arana, A., González Jáuregui, M., Rendón-von Osten, J., 2017. Relationship between organochlorine pesticides and stress indicators in hawksbill sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting at Punta Xen (Campeche), Southern Gulf of Mexico. *Ecotoxicology* 26(2), 173-183.
- Tesovnik, T., Zorc, M., Gregorc, A., Rinehart, T., Adamczyk, J. and Narat, M., 2019. Immune gene expression in developing honey bees (*Apis mellifera* L.) simultaneously exposed to imidacloprid and *Varroa destructor* in laboratory conditions. *Journal of Apicultural Research* 2078–6913.
- UNEP, 2020. Convenio de Estocolmo: Sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP). 38.
- Valdovinos-Flores, C., Alcantar-Rosales, V. M., Gaspar-Ramírez, O., Saldaña-Loza, L. M. and Dorantes-Ugalde, J. A., 2017. Residuos de plaguicidas agrícolas en miel y cuadros de cera procedentes del sureste, centro y noreste de México. *Journal of Apicultural Research* 56, 667–679.
- Zhang, X., Zhong, H., Han, Z., Tang, Z., Xiao, J., Guo, Z., Wang, F., Luo, Y. and Zhou, Y., 2020. Effects of waterborne exposure to 17 β -estradiol on hepatic lipid metabolism genes in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports* 17, 100382.
- Zou, E., 2020. Invisible endocrine disruption and its mechanisms: A current review. *General and Comparative Endocrinology* 293, 113470.