

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Julio - Septiembre 2025

ISSN:2683-2607

No. 143

CARACTERIZACIÓN DE
MICROPLÁSTICOS EN PLAYA
MANZANILLO, ACAPULCO, GRO.

GEOFÍSICA O EL ARTE ZAHORÍ: ¿QUÉ
USAR PARA BUSCAR AGUA
SUBTERRÁNEA?

IMPORTANCIA DEL CUIDADO DE LA SALUD
MENTAL MATERNA EN CHIAPAS:
UN RETO PARA LA SALUD PÚBLICA
MEXICANA.

APLICACIÓN DE LOS TARDÍGRADOS EN LA
MEDICINA, UNA REVISIÓN



Contenido

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

No. 143 Julio - Septiembre 2025

Editorial	3	<i>POSIBLES EFECTOS DE LOS DESECHOS DE GRANJAS AVÍCOLAS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DE LA MICROCUENCA DE PASO DE OVEJAS, VERACRUZ.</i>	56
<i>CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN PLAYA MANZANILLO, ACAPULCO, GRO.</i>	5	<i>HDAC: LAS GUARDIANAS SILENCIOSAS DE LA EXPRESIÓN GÉNICA.</i>	63
Flores Mejía, M. A Flores Hernández, M		Dra. Mario Torres Becerril Dr. Gustavo López Romero	
<i>GEOFÍSICA O EL ARTE ZAHORÍ: ¿QUÉ USAR PARA BUSCAR AGUA SUBTERRÁNEA?</i>	17	<i>LA LUZ QUE NO VEMOS Y LAS SEÑALES QUE NO ESCUCHAMOS.</i>	73
M. en C. Luis Gerardo Vázquez Guevara Dr. René Ventura Houle Dr. Tomás Alejandro Peña Alonso Dr. Oscar Guevara Mansilla		Ing. Martín Guevara Martínez	
<i>IMPORTANCIA DEL CUIDADO DE LA SALUD MENTAL MATERNA EN CHIAPAS: UN RETO PARA LA SALUD PÚBLICA MEXICANA.</i>	27	<i>ANTROPOENTOMOFAGIA COMO MEDIADORA DEL CONSUMO ALIMENTARIO SUSTENTABLE DE CHAPULINES Y GRILLOS EN MÉXICO.</i>	80
Maestrante. Esmeralda Morales Castañeda Dra. María de la Luz Sevilla González Dr. Mauricio Megchún Hernández		Dra. María de la Luz Sevilla Gonzalez Dr. Nelson Alvarez Licona Dr. Ricardo Alvarez Sevilla	
<i>DE MICROBIOS A ROCAS: LA BIOMINERALIZACIÓN COMO HERRAMIENTA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO.</i>	35	<i>DINÁMICA A OTRO NIVEL: ECOLOGÍA DE METACOMUNIDADES.</i>	94
Dr. Héctor Ferral Perez Dr. Felipe Adrián Vázquez Gálvez Dra. Edith Flores Tavizon Dra. Marisela Yadira Soto Padilla Dr. Luis Gerardo Bernadac Villegas		Dra. Monserrat Jiménez Dr. José Alejandro Zavala Hurtado Dra. Esperanza Córdova Acosta Dr. Ernesto Vega	
<i>APLICACIÓN DE LOS TARDÍGRADOS EN LA MEDICINA, UNA REVISIÓN.</i>	44	<i>ENFOQUE BIOECONÓMICO PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE RECUPERACIÓN ANTE UN CONTEXTO CLIMÁTICO INCIERTO: EL CASO DE LA PESQUERÍA DE ABULÓN AZUL EN MÉXICO.</i>	103
Biól. Yocelin Sánchez Jiménez Dra. Alba Dueñas Cedillo Dr. Luis M. Guevara Chumacero		Dr. Víctor G. Vargas López Dr. Francisco J. Vergara Solana Dr. Luis C. Almendarez Hernández	

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería
en la WEB

Lea los artículos publicados en
<https://contactos.izt.uam.mx>

Rector General

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia

Secretaria General

Dra. Norma Rondero López

UNIDAD IZTAPALAPA

Rectora

Dra. Verónica Medina Bañuelos

Secretario

Dr. Javier Rodríguez Lagunas

Director de la División de Ciencias

Básicas e Ingeniería

Dr. Román Linares Romero

Director de la División de Ciencias

Biológicas y de la Salud

Dr. José Luis Gómez Olivares

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería:

Consejo Editorial:

Dra. Verónica Medina Bañuelos

Dr. Javier Rodríguez Lagunas

Dr. Román Linares Romero

Dr. José Luis Gómez Olivares

UAM- Iztapalapa

Editora en Jefe:

M. C. Alma Edith Martínez Licona

Asistente Editorial:

Ing. Gabriela López Rodríguez

Comité Editorial por CBS:

Dra. Edith Arenas Ríos, Dra. Laura

Josefina Pérez Flores, Dr. Pedro Luis

Valverde Padilla

Por CBI:

Dr. Hugo Ávila Paredes

Por la Universidad Iberoamericana:

Mtro. Adolfo G. Fink Pastrana

CONTACTOS, REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA.

3^a Época, No. 143, Julio-Septiembre 2025, es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería y División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Av. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Rancho los Colorines, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14386, México, Ciudad de México y Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Iztapalapa, Cd. de México. C.P. 09310, Edificio T144, Tel. 5804 – 4600. Ext. 1144. Página electrónica de la revista: <https://contactos.izt.uam.mx/> y dirección electrónica: cts@xanum.uam.mx Editora responsable MC Alma E. Martínez Licona. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2023-061914482700-102, ISSN 2683-2607, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Mtra. Alma E. Martínez Licona; Unidad Iztapalapa, División de CBI y CBS; fecha de última modificación 30 de Septiembre de 2025. Tamaño del archivo 47.1 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Fecha de Publicación:

Julio - Septiembre 2025.

Los artículos publicados en **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería** son sometidos a arbitraje; para ello se requiere enviar

el trabajo en Word a <https://contactos.izt.uam.mx/>

Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería,

UAM – Iztapalapa, T144, Tel. 5804-4600. Ext. 1144

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186. C.P. 09310

e-mail cts@xanum.uam.mx

Editorial

Al equipo de la revista Contactos le complace invitar a nuestros queridos lectores a disfrutar de este tercer número del año, donde podrán encontrar una variedad de temas interesantes. Algunos de estos temas lo son:

Entender que son los microplásticos, lo cual lo encontramos en el artículo “Caracterización de microplásticos en playa Manzanillo, Acapulco, GRO.”, cuyo objetivo de éste es determinar la cantidad y tipo de microplásticos secundarios presentes en la playa Manzanillo.

Otro tema lo es, las diferencias entre el arte zahorí y las técnicas geofísicas para la prospección de agua subterránea, tema que se localiza en el artículo “Geofísica o el arte zahorí: ¿Qué usar para encontrar agua subterránea?”

En el artículo “Importancia del cuidado de la salud mental materna en Chiapas: un reto para la salud pública mexicana” reflexionamos sobre los cuidados en mujeres embarazadas en Chiapas donde existen 12 lenguas indígenas reconocidas, concentrándose la mayoría en 5 lenguas teniendo la necesidad de la atención de mujeres embarazadas por personas nativas o traductoras (es), que les ayuden aclarar sus dudas o temores que experimenta durante el embarazo, parto y puerperio. Este artículo expone la poca existencia de intervenciones de salud con personal nativo o traductores de las distintas lenguas indígenas, que aseguren una correcta atención de la mujer embarazada.

Otro tema interesante es el de los tardígrados que son animales microscópicos conocidos por su capacidad de entrar en criptobiosis, un estado en el que suspenden sus funciones vitales para sobrevivir en condiciones extremas; presentan esta condición, gracias a proteínas especializadas que les confieren protección. En el artículo “Aplicación de los tardígrados en la medicina, una revisión” se hace una revisión sobre la aplicación de los tardígrados en la medicina analizando proteínas especializadas, como Dsup, que protege el ADN de algunas especies de tardígrados frente a altos niveles de radiación, lo que ha despertado interés en la investigación médica.

Esto son algunos de los artículos que encontrarán en este número, dejando al lector que descubra el resto del contenido a través de su lectura.

Atentamente

MC Alma E. Martínez Licona

Editora en Jefe, Revista Contactos

Información para autores

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería, Revista dirigida a profesores y a estudiantes de estas disciplinas. Está registrada en el índice de revistas de divulgación de Conacyt, así como en Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Para publicar, los trabajos deberán ser originales y accesibles a un público amplio con formación media superior o universitaria pero no especializada; los temas deberán presentarse en forma clara. Cada colaboración debe incluir figuras, diagramas, ilustraciones, fotografías, etc. (otorgando el crédito correspondiente en caso de no ser original), que hagan más accesible la presentación.

Las secciones que la constituyen son:

Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).

1. Divulgación. Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).

2. Educación científica. Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).

3. Artículos especializados. Reportes breves de investigación, relacionados con una problemática concreta (15 cuartillas).

4. Crónicas. Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).

5. Divertimentos. Juegos y acertijos intelectuales (5 cuartillas).

6. Noticias breves. Información de actualidad en el mundo de la ciencia (4 cuartillas).

7. Los laureles de olivo. Los absurdos de la vida cotidiana y académica (4 cuartillas). En todos los casos se debe incluir los nombres completos de los autores con su adscripción, dirección, teléfono y dirección de correo electrónico.

Normas

Las colaboraciones a las secciones 1 a 4 deberán ajustarse a las siguientes normas:

1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español e inglés.
3. Cuando se incluya una abreviatura debe explicarse por una sola vez en la forma siguiente: Organización de los Estados Americanos (OEA). . .
4. Cuando se utilice un nombre técnico o una palabra característica de una disciplina

científica deberá aclararse su significado de la manera más sencilla posible.

5. Las citas textuales deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: En cuanto a la publicación del placebo se asevera que “el efecto placebo desapareció cuando los comportamientos se estudiaron en esta forma” (Núñez, 1982, p.126).

6. Las referencias (no más de 10) se marcarán de acuerdo al siguiente ejemplo: Sin embargo, ese no es el punto de vista de la Escuela de Copenhague (Heisenberg, 1958), que insiste en...

7. Al final del artículo se citarán las referencias por orden alfabético de autores. Pueden añadirse lecturas recomendadas (no más de 5).

8. Cada referencia a un artículo debe ajustarse al siguiente formato: Szabadváy, F. y Oesper, E., Development of the pH concept, J. Chem. Educ., 41 [2], pp.105 -107, 1964.

9. Cada referencia a un libro se ajustará al siguiente formato: Heisenberg, W., Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science, Harper Torchbook, Nueva York, pp.44-58, 1958.

10. Para páginas electrónicas: dirección (fecha de acceso).

11. Los títulos de reportes, memorias, etcétera, deben ir subrayados o en itálicas.

Envío y características del artículo

El envío del artículo deberá ser en archivo electrónico, en Word, tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 con interlineado sencillo y uso de editor de ecuaciones.

En el caso de ilustraciones por computadora (BMP, JPG, TIFF, etc.) envíelos en archivos por separado. El material es recibido en:

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería.

UAM – Iztapalapa, T144,

Información: cts@xanum.uam.mx,

Tel. 5804-4600. Ext. 1144.

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186.

C.P. 09310

Arbitraje

El Comité utiliza un sistema de arbitraje anónimo que requiere un mes. Se entiende que los autores no han enviado su artículo a otra revista y que dispondrán de un plazo máximo de un mes para incorporar las observaciones de los árbitros. La decisión final de publicar un artículo es responsabilidad exclusiva del Comité Editorial.

CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN PLAYA MANZANILLO, ACAPULCO, GRO.

Flores Mejía, M. A
Flores Hernández, M
Centro de Estudios Tecnológicos del Mar
Acapulco, Gro.

Abstract

Microplastics are a group of synthetic materials, produced from polymers derived from petroleum or biological bases, they are solid particles smaller than 5 millimeters, which are not soluble in water and whose degradability is low (Sherrington *et al.* 2016).

In Acapulco, the beaches are categorized as sun and sand, however, Manzanillo beach was used as a shipyard and ship cemetery for many decades, causing high levels of pollution from fiberglass polishing dust released into the atmosphere and the dumping of debris, organic solvents to the beach sand, with a high risk of damage to health caused to the neighboring residents of the area and some tourists who ventured to occupy the beach for swimming and resting. This research aims to determine the amount and type of secondary microplastics present in Manzanillo beach. The samples were collected from February to November 2022 following the protocol developed by the Asia-Pacific cooperation. A total of 1100 pieces were registered, 60% being rigid microplastics, blue and green colors were the most abundant during the months of July to September, 30% were flexible with red and transparent colors, finally the pellets presented a 10% abundance and the colors black and white. Therefore, it can be concluded that this beach needs urgent measures for citizen attention and environmental recovery.

Keywords: beach, microplastics, environmental impact.

Resumen

Los micro plásticos son un grupo de materiales sintéticos, producidos a partir de polímeros derivados del petróleo o de bases biológicas, son partículas sólidas

de tamaño inferior a 5 milímetros, que no son solubles en agua y cuya degradabilidad es baja (Sherrington *et al.* 2016).

En Acapulco, las playas se categorizan como de sol y playa, sin embargo, la playa Manzanillo localizada en la zona Náutica (Acapulco Tradicional) se utilizó como astillero y cementerio de embarcaciones por muchas décadas, provocando altos niveles de contaminación por el polvo de pulido de fibra de vidrio libres a la atmósfera y el vertimiento de escombros, solventes orgánicos a la arena de la playa, con alto riesgo de daños a la salud provocado a los vecinos residentes del área y algunos turistas que se aventuraban a ocupar la playa para natación y descanso. Esta investigación tiene como objetivo determinar la cantidad y tipo de microplásticos secundarios presentes en la playa Manzanillo. Las muestras fueron colectadas de febrero a noviembre del 2022 siguiendo el protocolo desarrollado por la cooperación Asia-Pacífico. Se registraron un total de 1100 piezas, siendo el 60% microplásticos rígidos, los colores azul y verde fueron los más abundantes durante los meses de julio a septiembre, el 30% fueron los flexibles con los colores rojo y transparentes, finalmente los pellets presentaron un 10% de abundancia y los colores negro y blanco. Por lo que se puede concluir que esta playa necesita medidas urgentes de atención ciudadana y recuperación ambiental.

Palabras clave: playa, microplásticos, impacto ambiental.

Introducción

Los microplásticos están casi presente en todos lados, de muchas formas, y peor aún, en lugares que no debería

estar (Fig. 1). El mar es uno de los espacios favoritos del microplástico, ahí casi nadie lo percibe. Se estima que el mar está contaminado con al menos 5.25 billones de micropartículas de basura

plástica flotante, lo que equivale a más de 270 mil toneladas (Delgado-Fimia, 2019; Lechner *et al.*, 2014; Sadri y Thompson, 2014).

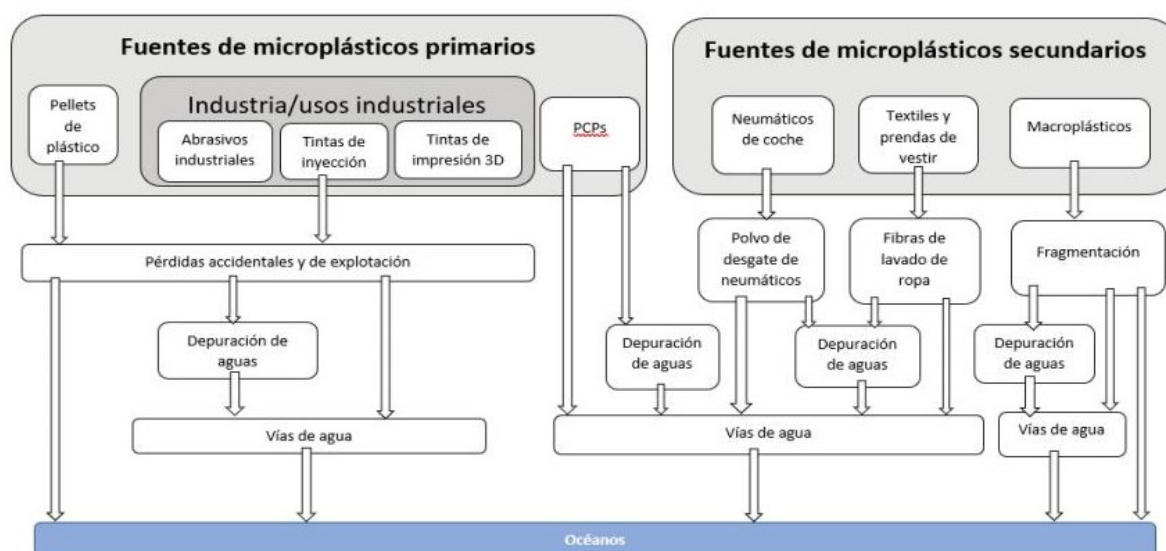


Figura 1: Fuentes de microplásticos. Tomada de: Sánchez-Izquierdo (2019).

Estos pequeños fragmentos de plástico, fibras y gránulos proceden tanto de plásticos grandes que, por efecto de los rayos ultravioleta, el calor y el oleaje se degradan en las playas o el mar, como de los que desde su origen son apenas visibles (Sánchez-Izquierdo, 2019), como las microesferas de exfoliantes cosméticos, abrasivos de las pastas dentales y de productos de limpieza, fibras de pastos artificiales de fútbol, de prendas textiles, llantas de autos, colillas de cigarro, pelotas de tenis, toallitas húmedas para bebés, para manos, toallitas desmaquillantes, bolsitas de té, entre muchos otros (Atarraya y Rodmun, 2019 y Álvarez-Zeferino, *et al.* 2019).

Estudios recientes han determinado que el micro plástico se esconden en el agua de mar y en la sal, no es de sorprender que también puedan estar en las especies marinas. En México, ya se registran los primeros hallazgos de contaminación de microplásticos en nuestras playas y mares.

En el Pacífico mexicano, en playas de Sinaloa, investigaciones recientes de Naciones Unidas, el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, así como de universidades de Brasil y Estados Unidos encontraron partículas de micro plástico. Para 2020 harán muestras en el Golfo de México y el pronóstico es reservado. (Carmona, 2019).

Las playas arenosas de nuestro país las convierten en un paraíso para miles de turistas que año tras año las visitan y que en el año 2018 posicionaron a México en el lugar número 7 por llegada de turistas internacionales y el número 16 por ingreso de divisas por turismo (DATATUR, 2020). Los destinos turísticos más importantes del país se dividen en dos grandes rubros: los destinos no planeados (Acapulco, Puerto Vallarta, Mazatlán) y los planeados (Cancún, los Cabos, Huatulco).

De acuerdo con la CONABIO (2020) diversos estudios cada año se vierten al mar nueve millones de toneladas de plásticos. La invasión la encabezan residuos como envases, botellas y bolsas, pero un millón de toneladas están formadas por los microplásticos. Su abundancia y esa proliferación impacta en los mares, en la salud de peces y aves, y con su ingreso en la cadena alimenticia proyectan cada día más su amenaza sobre los ecosistemas, y por tanto representan un riesgo para la salud humana (Paruga, 2020).

La contaminación por micro plásticos en sistemas acuáticos se origina mayormente de fuentes secundarias. Estos diminutos fragmentos de plástico, con un diámetro inferior a 5 mm, se subdividen en dos categorías principales: microplásticos primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son deliberadamente fabricados en un tamaño pequeño, como los pellets

industriales o las microesferas presentes en productos de higiene personal como cremas dentales, geles de ducha y lociones corporales. Por otro lado, los microplásticos secundarios resultan de la degradación de plásticos más grandes, tanto por procesos químicos (oxidación, por ejemplo), como físicos (acción de la luz ultravioleta, abrasión mecánica) y biológicos (degradación por microorganismos). La fuente de los microplásticos secundarios es diversa e incluye la degradación de plásticos abandonados en el medio ambiente y la liberación de microplásticos de textiles sintéticos (Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016).

Acapulco es desde 1915 el puerto turístico más reconocido a nivel nacional y mundial, alcanzando su plenitud en la década de los años 60's; sin embargo, y al pasar de los años, el puerto comenzó a crecer de manera exponencial y sin ningún tipo de planeación o manejo costero, lo cual tuvo como consecuencia una disminución drástica en sus atractivos naturales y más en específico las playas.

Los micro plásticos son un grupo de materiales sintéticos, producidos a partir de polímeros derivados del petróleo o de bases biológicas, son partículas sólidas de tamaño inferior a 5 milímetros, que no son solubles en agua y cuya degradabilidad es baja (Sherrington *et al.* 2016).

Los micro plásticos son una amenaza y biológicos provocan una pérdida potencial en lo que se refiere a de resistencia de los plásticos y su efectos en la salud humana y en fragmentación en partículas (Fig.2), sin los ecosistemas, y presentan grandes sufrir necesariamente una alteración desafíos para su detección y eliminación en la composición química (ACOREMA, del medio, el efecto de la radiación 2019). solar y otros procesos químicos, físicos

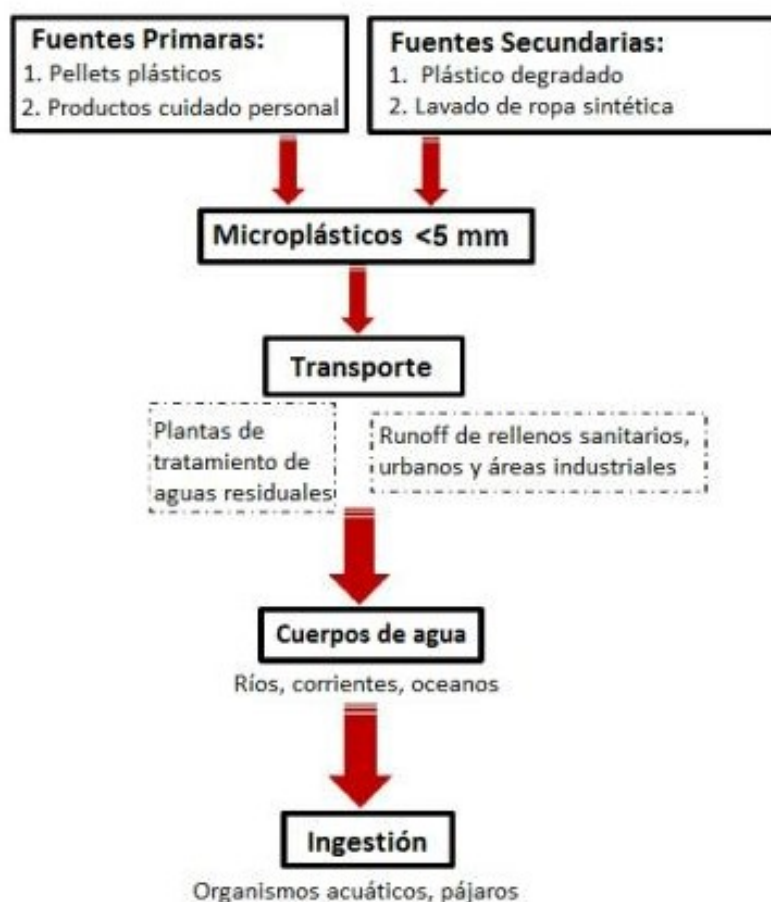


Figura 2: Fuentes y rutas de los micro plásticos en el medio ambiente. Tomada de: Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016.

En Acapulco, Guerrero, las playas se categorizan como de sol y playa, sin embargo, la playa Manzanillo se utilizó como astillero y cementerio de embarcaciones por muchas décadas, provocando altos niveles de contaminación por el polvo de pulido de fibra de vidrio libres a la atmósfera y el vertimiento de escombros, solventes orgánicos a la arena de la playa, con alto riesgo de daños a la salud provocado a los vecinos residentes del área y algunos turistas que se aventuraban a ocupar la playa para natación y descanso. A principios de 2018, fue presentado por

el gobierno estatal un proyecto integral en donde se contemplaba el rescate de la playa, la rehabilitación del Paseo del Pescador, los accesos a Playa Honda, una calle, un parque y una cancha dentro del barrio de Manzanillo. Los trabajos de rehabilitación concluyeron el año siguiente y el conjunto fue inaugurado el 14 de abril de 2019 (Heraldo de México, 2019). Sin embargo, esta playa permanece en la actualidad cerrada y/o no apta para actividades recreativas.

Razón por la cual el presente estudio tiene como objeto determinar los tipos de microplásticos secundarios que permanecen en la actualidad en la playa Manzanillo. Ya que desde el 2018 no existe ninguna información y/o publicación que determine el estado actual de esta playa, solo permanece sin acceso al público (no apta para recreaciones marítimas).

Por lo que el estudio que se realizará será uno de los primeros que determinará la caracterización y cantidades de microplásticos secundarios localizados en este destino turístico, que permitirá tener una base con sustento científico que aportará los datos necesarios si se utilizan para poder apoyar en el cambio del status de la playa para uso público recreativo.

Material y métodos

La metodología empleada para este trabajo de investigación se combinaron dos protocolos de investigación la Oficina de Administración Nacional

Oceánica y Atmosférica (NOAA) (2013) y DeFishGear (2015) en el que se establece la selección de las estaciones, la colecta, caracterización y clasificación de muestras. Las etapas para la realización de este trabajo fueron: campo, laboratorio y gabinete.

Metodología de Campo:

Durante un año se realizaron 6 muestreos bimensuales en playa Manzanillo localizadas en la zona del Acapulco tradicional, se analizaron y localizaron un total de 36 muestras de arena, las cuales fueron etiquetadas y georeferenciadas en el punto de recolección.

1. Selección de líneas de marea y estaciones.

Se identificó la línea de marea más alta y establecer un transecto en horizontal al mar (McLachlan's y Defeo, 2018). Se marcaron en el transecto 11 estaciones separadas por 20 metros entre sí (Andrady, 2011).

2. Toma de muestra y tamizados.

En cada estación se marcaron un cuadrado en la arena de 50 x 50 cm, el cual se colocaba sobre la arena (Kunz *et al.* 2016 y Song *et al.* 2015), siguiendo la metodología recomendada por Besley *et al.* (2017).

Todos los residuos de origen natural como madera, huesos, restos animales, y semillas fueron excluidos de manera manual antes de ser introducidos en las bolsas de transporte y/o ziploc (McDermid y McMullen, 2004)

Se tomaron del cuadrado de arena los primeros 5 centímetros de arena con una espátula o las manos y depositarlos en una bandeja (Prata *et al.* 2018). Para obtener un nivel de confianza de al menos el 90% (Besley *et al.*

2016 adaptado por Toledo-Martínez y Fernández-Hernández, 2019) por un integrante del equipo.

Se pasó la muestra por un tamiz de menor malla (1mm o un colador de 2 mm), para separar los microplásticos de la arena, depositando la arena gradualmente.

3. Almacenamiento y pesado de la muestra in situ.

La arena que contenía a los microplásticos encontrados por estación, se colocaron en una bolsa sellada herméticamente (la cual estaba previamente rotulada con el número y fecha del muestreo, número de la estación y peso de la muestra in situ).

La muestra de arena por estación era pesada con ayuda de una balanza digital

El resultado del peso era plasmado en la misma bolsa y registrado en una bitácora de trabajo.

Análisis de laboratorio

La muestra extraída de la playa (in situ) se colocaba en una caja de cartón y se dejaba secar por 7 días.

En el laboratorio los fragmentos mayores a 1 mm se contaron sin necesidad de un microscopio, se utilizó una lupa.

Los determinar el tipo de microplásticos fueron clasificados en seis categorías y doce para el color (Rosado-Piña *et al.* 2018) el cual se puede observar en la tabla 1:

Tipo de microplásticos	Color de microplásticos	
Rígido (plástico duro).	Blanco	Amarillo
Flexible	Arena	Azul
Película	Gris	Rojo
Espuma	Ámbar	Café
Fibra	Marrón	Transparente
Pellets	Verde	Negro

Tabla 1: Clasificación del tipo y color de microplásticos basados en DeFishGear (2015).

Finalmente, los resultados obtenidos se resguardaban/capturaban en una base de Excel.

Todos los valores obtenidos de tamaño y peso se normalizaron a un metro cuadrado para el análisis estadístico descriptivo.

La frecuencia de cada micro plástico por tamaño, forma y color fueron capturados en una base de datos en Excel y mediante estadística básica

se obtuvo el número total por pieza y porcentaje de microplásticos en cada estación de acuerdo con cada una de las clasificaciones, basados en la metodología DeFishGear (2015) y retomada por Rodríguez-Escobedo (2021).

Para el análisis estadístico se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk con la finalidad de contrastar la normalidad, F-Fisher, Bartlett y Cochran para determinar la homocedasticidad de las abundancias

de microplásticos obtenidos en las estaciones durante los periodos de estudio y así determinar o definir la aplicación de una prueba paramétrica o no paramétrica. Los análisis estadísticos se realizaron con una significancia del 5% y usando el programa IBM SPSS Statistics 22.

Resultados y discusión

La playa **Manzanillo** fue la que presentó la mayor abundancia de microplásticos con un total de 3,260 piezas, los meses en los que se

presentaron la mayor abundancia fueron los de agosto y septiembre del 2021, y la estación de 1 y 7 (inicio y central) las que presentaron la mayor cantidad de piezas (300 y 550). Los meses en los que se presentaron la menor cantidad de piezas fue en febrero y marzo de 2021 con 50 y 37 piezas (véase gráfica 1). Prueba de Chi Cuadrado para establecer si existió una relación entre la estación climática y la aparición de microplásticos en relación con otros colores, fue realizada una prueba chi-cuadrado. Chi calculado $1.17 < 2.567$ Chi crítico ($P > 0.05$).

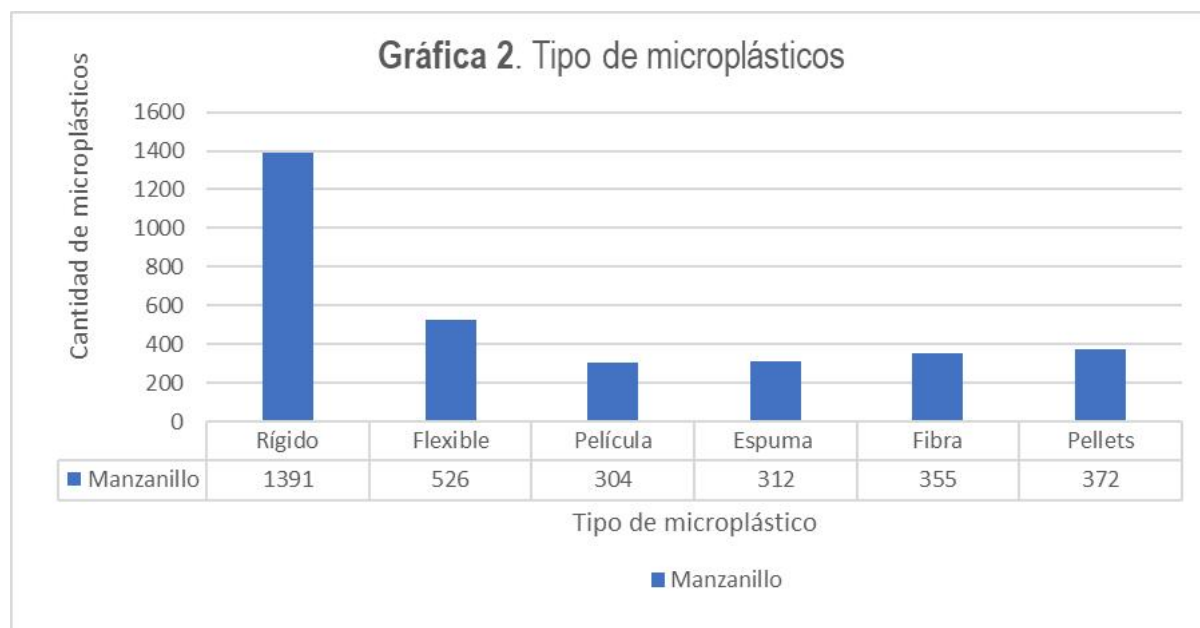


Gráfica 1. En total se obtuvieron 2,980 piezas, los meses que presentaron la mayor cantidad de microplásticos fueron durante los meses de Abril y Agosto de 2021 (periodos vacacionales), las estaciones que presentaron la mayor abundancia fueron 1 y 8.

La composición según los tipos de microplásticos de la playa fueron:

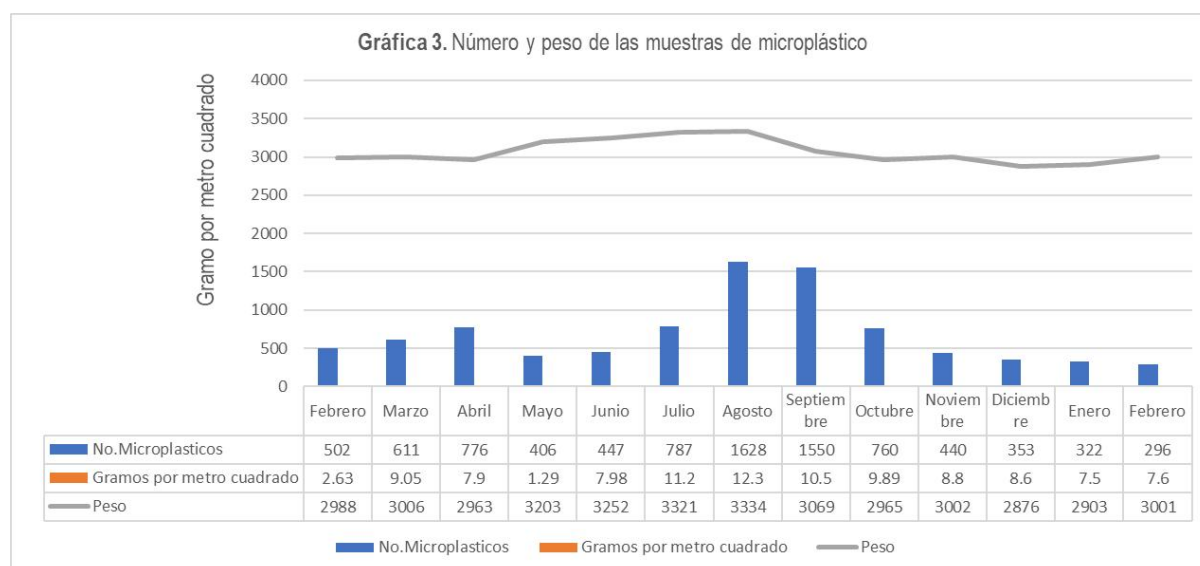
Los rígidos en playa Manzanillo con 1350 piezas representando un 43.21%

Los flexibles fueron los segundos con mayor presencia (16.3%) y en tercera posición las espumas (11.9%) véase gráfica 2.



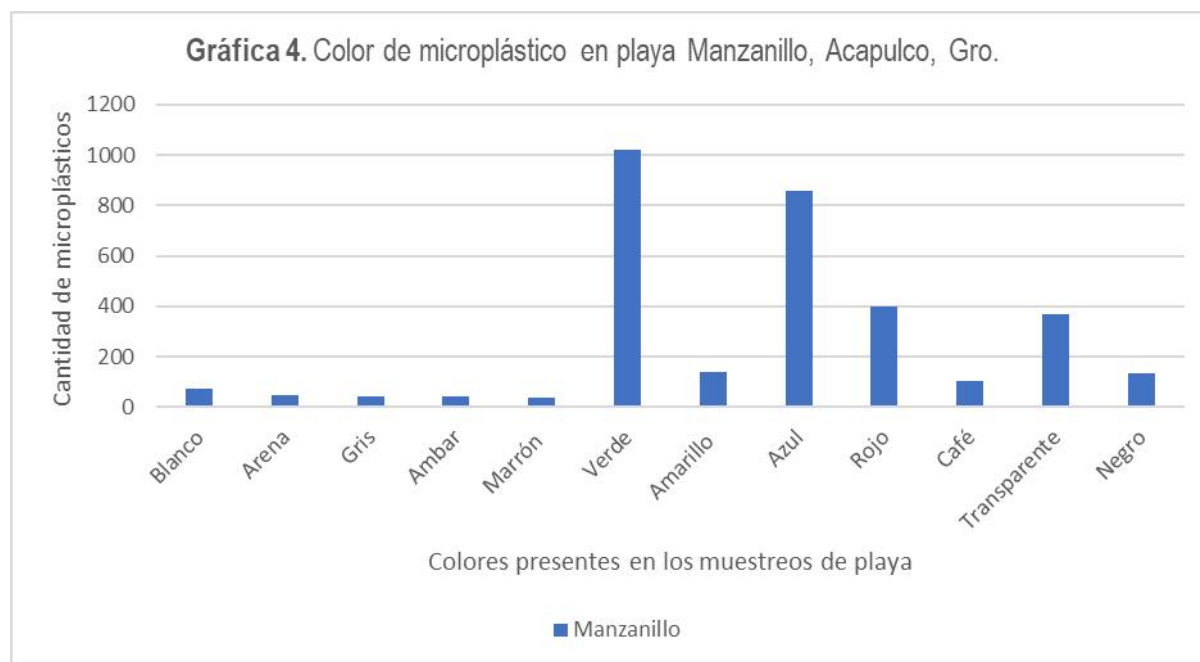
Gráfica 2. Los microplásticos más abundantes en las tres playas fueron los de tipo rígido en todos los muestreos y estaciones, representaron la mayor abundancia de cada muestra (43.21%), los tipos de menos abundantes fueron las fibras en 9.5% y las películas con el 8.5%.

Los gramos máximos por metro mínimos en enero y febrero (7.5 g y 7.6 cuadrado de los microplásticos se g); el peso de las muestras osciló entre presentaron en los meses de agosto los 333.4 g y 287.6 g (véase gráfica 3). y septiembre (12.3 g y 10.5 g) y los



Gráfica 3. Cantidad de microplásticos en las tres playas arenosas y los gramos máximos que se encontraron durante los meses de muestreo. El diámetro de los pellets oscila entre 4.926 ± 2.27 y 5.35 ± 6.00 mm.

Los colores con mayor presencia fueron 11.3%; finalmente los menos presentes los verdes 31.3% y azules MZO=26.3%; fueron los grises 1.3% y marrón 1.1%. seguido del rojo 12.3%, y transparente



Gráfica 4. Los colores azul y verde los más abundantes durante los meses de julio a septiembre, el 45% de microplásticos presentes fueron los flexibles con los colores rojo y transparentes, finalmente los pellets* presentaron un 30% de abundancia y los colores negro y blanco. El peso de las muestras oscila entre: 55.36 ± 12.3 g.

***Pellets:** son pequeñas bolitas de plástico, comúnmente del tamaño de lentejas, que se utilizan como materia prima para fabricar productos plásticos (2 a 5 mm de diámetro). Estos pellets, también conocidos como "nurdles", son una forma de microplástico primario que puede contaminar los océanos y playas. (Hortón *et al.* 2016)

Los datos obtenidos en este trabajo son similares a los reportados por Rodríguez-Escobedo, V. (2021) en su Evaluación de microplásticos en las playas de la bahía de Santiago, Manzanillo y los De la Torre, G. E. (2019). Microplásticos en el medio marino: una

problemática que abordar, ya que en ambos trabajos los meses en los que se presentaban la mayor frecuencia de microplásticos fueron los de lluvias y los colores verde y azul fueron lo que se presentaron en mayor proporción.

Conclusión

La playa Manzanillo en el Acapulco tradicional presentó la mayor presencia de microplásticos durante los meses de agosto y septiembre del 2022. Siendo los rígidos de color azul y verde. Probablemente porque esta playa cuenta con mayor afluencia turística y no se encuentra atendida por el Comité de Playas Limpias y prestadores turísticos. Por lo que se puede concluir que esta playa necesita medidas urgentes

de atención ciudadana y recuperación ambiental.

Referencias

- [1] Acuña, S. (2017). Basuras en playas: tendencias e influencias en la acumulación de residuos en zonas costeras a través de experiencias en ciencia ciudadana. Ed. Ecologistas en Acción. <https://spip.ecologistaseneaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-playas.pdf>
- [2] ACOREMA (2019). La contaminación marina por plásticos. Información básica para maestros de primaria. http://www.acorema.org.pe/documentos/La_contaminacion_marina_por_plasticos-Informacion_basica_para_docentes_de_Primaria_2019.pdf
- [3] AMETEC (Curso de entrenamiento ambiental marino para la cooperación Asia Pacífico). 2014. How to use AMETEC protocol beach debris survey?. Korea Marine Litter Institute. Yong Chang Jang, Jongmyoung Lee, Sunwook Hong, Jong Su Lee (Eds.). AMETEC Workshop, June 30 – July 7, 2014. South Sea Research Institute (KIOST), Geoje- Korea
- [4] Alvares-Zeferino, J.C., Cruz-Salas, A. A. Vázquez, A y Ojeda-Benítez, Sara. 2019. Efecto de la profundidad en el muestreo de microplásticos en playas de arena. Conference: VII Simposio sobre Investigaciones Marinas y Acuícolas en el Pacífico Mexicano y II Reunión del Colaboratorio de Oceanografía SocialAt: Manzanillo, Colima, México. Affiliation: Universidad de Colima
- [5] Atarraya, SN. y Rodmun, L. (2019). El microplástico está casi en todos lados. Rev. Ele. Animal Político. Fecha de consulta: 09 de septiembre de 2020. <https://www.animalpolitico.com/atarraya/el-microplastico-esta-casi-en-todos-lados/>
- [6] CONABIO (2020). Reporte basura marina en México.
- [7] DATATUR (2020). Organización Mundial de Turismo (Panorama OMT de Turismo Internacional, mayo 2019. Años actualizados 2015-2017 y 2018. <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/RankingOMT.aspx>
- [8] Goldstein, M. C., Rosenberg, M., Cheng, L. 2012. Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. Biology Letters Royal Society, 8, 817-820.
- [9] Horton, A. A. Wlaton, A. Spurgeon, D. J. Lahive, E. & Sevensen C. (2016). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. (586): 217-141.
- [10] MARTÍNEZ CARBAJAL, Alejandro (2005). «Etapa Actual: Acapulco Tradicional». Historia de Acapulco (Primera edición edición). Acapulco: DPA Impresores. pp. 675, 676.
- [11] Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica. (2013). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment : recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments <https://www.usa.gov/es/agencias/oficina-nacional-de-administracion-oceanica-y-atmosferica>

- [12] El Herald de México (2019). «Paseo del Pescador, nuevo atractivo de Guerrero para esta Semana Santa». El Herald de México.
- [13] Pintos Lacunza, Rosendo (2004). Acapulco, Monografía Anecdótica Contemporánea. Casa Pintos.
- [14] Purca, S. y Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú.
- [15] Parufa, C. (2020). La invasión de los microplásticos: cómo atestan los mares y afectan nuestra salud. Rev. Ámbito. <https://www.ambito.com/informacion-general/plasticos/la-invasion-los-micro-como-atestan-los-mares-y-afectan-nuestra-salud-n5042292>
- [16] Revista peruana de biología 24(1): 101 - 106 (2017). Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- [17] S.A muestreo de microplásticos en las Playas de arena. Actividad para conocer las cantidades de microplásticos en playas de arena. <http://www.cientificosdelabasura.cl/archivo/documento/documento/34/Muestreo\%20de\%20microplasticos\%20en\%20la\%20playa.pdf>
- [18] Científicos de la UNAM confirman la presencia de microplásticos en las playas de México. <https://www.sopitas.com/noticias/cientificos-unam-confirman-presencia-microplasticos-en-playas-de-mexico/>. Ultima visita 10/11/2020
- [19] Contaminación por plástico, punta del iceberg de lo que ocurre en México. <https://m.oncenoticias.tv/nacional/contaminacion-por-plastico-punta-del-iceberg-de-lo-que-ocurre-en-mexico>.

GEOFÍSICA O EL ARTE ZAHORÍ: ¿QUÉ USAR PARA BUSCAR AGUA SUBTERRÁNEA?

M. en C. Luis Gerardo Vázquez Guevara

Estudiante del Doctorado en Ciencias Sistemas Agropecuarios y Medio Ambiente en Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Dr. René Ventura Houle

Profesor Investigador de Tiempo Completo en Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Dr. Tomás Alejandro Peña Alonso

Profesor Investigador de Tiempo Completo en Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dr. Oscar Guevara Mansilla

Posdoctorante en Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico Madero

Abstract

This article explores some of the difference between dowsing art and the scientifically grounded geophysical techniques in groundwater prospecting. Dowsers, based on sensory perceptions and the use of divining rods or twigs, offer an empirical view rooted in cultural tradition. However, some scientific studies have shown their effectiveness is haphazard. In contrast, geophysical techniques are based on solid physical principles and measurable observations. These techniques can, for example, detect the presence of geological structures capable of storing groundwater. Geophysical techniques provide a more precise and scientific methodology, essential for efficient water resource management today.

Keywords: Groundwater, Search, Dowsers, Geophysics

Resumen

Este artículo explora y discute algunas de las diferencias entre el arte zahorí y las técnicas geofísicas para la prospección de agua subterránea. Los zahoríes, basados en percepciones sensoriales y el uso de horquetas o varillas, ofrecen una visión empírica arraigada en la tradición cultural. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que su efectividad es aleatoria. En contraste, las técnicas geofísicas se fundamentan en principios físicos sólidos y observaciones medibles. Con esas técnicas se puede, por ejemplo, detectar la presencia de estructuras geológicas capaces de almacenar agua subterránea. Las técnicas geofísicas proporcionan una metodología más

precisa y científica, esencial para la gestión eficiente del recurso hídrico en la actualidad.

Palabras clave: Agua subterránea, Búsqueda, Zahoríes, Geofísica

Introducción

El agua subterránea es muy apta para la agricultura y la mayoría de los usos domésticos e industriales porque suelen presentar una buena calidad microbiológica y química (VenkataRao, 2014). Sin embargo, hallar aguas subterráneas es complicado porque no están a la vista. Para su exploración, existen diversos métodos. De acuerdo con Arefayne y Abdi (2016), los principales son el método de superficie, el método subsuperficial y los métodos esotéricos. Estos últimos, llamados así, por ser empíricos y fuera del alcance de la ciencia.

La búsqueda de agua subterránea, o prospección hidrogeológica, es una prioridad tanto a nivel nacional como global gracias a su buena calidad y su adaptabilidad para los distintos usos. Para los pobladores de las zonas rurales en México, contar con un pozo significa agua fresca para uso doméstico cotidiano o consumo, además de la oportunidad de regar sus cultivos. Por ello, contar dentro de su comunidad con un individuo capaz de detectar la presencia de agua bajo tierra con el simple manejo de una horqueta de madera en forma de Y entre sus manos (Figura 1), resulta tan necesario como mágico (San Román, 2007). Estas personas suelen ser referidas como “vareros” o “zahoríes”.



Figura 1: Horqueta utilizada por los vareros o zahoríes.

No obstante, desde la perspectiva técnica y científica, hallar agua subterránea requiere conocimientos especializados que se pueden obtener con estudios geológicos y geofísicos. En el último caso, específicamente, con tomografías eléctricas (TEs) o sondeos eléctricos verticales (SEVs) (López-Loera, 2014).

Bajo ese antecedente, uno podría pensar que el uso de una horqueta no tiene cabida en la prospección hidrogeológica. Sin embargo, es muy común que en las zonas rurales se solicite los servicios de los zahoríes para ubicar pozos de agua. Esto, debido a que es común que haya

personas que digan que son capaces de ubicar un pozo de agua de forma más rápida y barata que con estudios técnicos-científicos. De aquí surge la inquietud de conocer su arte.

El objetivo del presente trabajo es discutir el arte de los zahoríes y compararlo con las técnicas geofísicas utilizadas en la búsqueda de agua subterránea. A través de esta comparación, se pretende ofrecer al lector un panorama claro sobre las diferencias y similitudes entre el conocimiento empírico y el conocimiento científico en la prospección

hidrogeológica.

¿Qué es la radiestesia?

El término radiestesia proviene del latín *radius*, que significa radiación, y del griego *aisthesis*, que significa sensibilidad. Es una técnica con tintes sobrenaturales que se utilizaba para detectar radiaciones sutiles emitidas por toda materia sólida o líquida (San Román, 2007). La radiestesia ha sido históricamente empleada en una amplia gama de escenarios, desde el diagnóstico de enfermedades hasta la localización de recursos naturales y la predicción de eventos futuros.

La identificación a distancia de radiaciones o energías emitidas por cualquier cuerpo que supone que consigue la radiestesia requiere utilizar instrumentos como varillas (Figura 2), ramas y péndulos. Estos instrumentos son aparentemente capaces de detectar la vibración del campo energético emitido por la tierra. Una de las diferencias entre los radiestesistas y los zahoríes radica en los instrumentos que utilizan para la detección. Los radiestesistas emplean varillas de cobre para detectar radiaciones, mientras que los zahoríes utilizan varas de árboles para encontrar agua subterránea.



Figura 2: Varillas de cobre utilizadas por radiestesistas.

¿Qué es el arte zahorí?

El arte zahorí es una forma tradicional de radiestesia. Su nombre proviene del término árabe *zuharí*, que significa mago o adivino de la tierra. En África, las antiguas civilizaciones egipcias y los pueblos del desierto del Sahara solicitaban el apoyo de los zahoríes para

encontrar agua subterránea, cruciales para su supervivencia y la de sus rebaños. Hay una amplia documentación en el uso del arte zahorí en el centro de Europa durante la Edad Media. Su práctica fue llevada después a distintas partes del mundo a raíz de la expansión colonial europea, entre

ellas a Latinoamérica (Chaparro-Tovar y Fernández-Jiménez, 2019).

En términos generales, hablar de un zahorí es imaginar a un campesino paseando por el campo con una vara en forma de horqueta en las manos, buscando un lugar en dónde excavar un pozo de agua (Figura 3). Si la vara se inclina hacia abajo y apunta al suelo,

el zahorí sabe por su experiencia que una perforación allí tendrá éxito. Esto da a suponer que el flujo del agua subterránea en aquel punto, aunque esté a decenas de metros bajo el suelo, de algún modo influye sobre el zahorí, sobre la horqueta que maneja, o sobre ambos a la vez (Stroud, 2017).



Figura 3: Ejemplo de zahorí buscando agua con una horqueta.

Zahoríes, ¿mito o realidad?

Uno de los retos actuales para la educación científica es que la sociedad aprenda a discernir de manera informada y crítica la veracidad de afirmaciones, al igual que distinguir lo que es ciencia y lo que no. Este reto es crucial debido a que las pseudociencias,

como la radiestesia, que sustenta la práctica de los zahoríes, gozan de alto grado de aceptación (Seijas y Uskola, 2024). En este sentido, está claro que la ciencia nada tiene que ver con adivinaciones o elementos sobrenaturales que presupone la radiestesia. En el mismo sentido, la

radiestesia no debería pretender ser una técnica sustentada en la ciencia. Bajo este contexto, al zahorí se le puede considerar como alguien capaz de detectar radiaciones electromagnéticas mediante cualquier mecanismo natural aún desconocido, lo que, de entrada, no puede descartarse.

Comparación con técnicas científicas

En la tradición de los zahoríes, sus prácticas son supuestamente útiles no sólo para encontrar agua, minerales u objetos perdidos. Incluso también dicen ser capaces de adivinar números o combinaciones. Como es de esperarse, la validez científica de estas afirmaciones ha sido puesta bajo escrutinio en múltiples ocasiones.

Estudios controlados han demostrado consistentemente que los resultados de la radiestesia no van más allá del azar (González, 2015). Un argumento que se puede usar para cuestionar la efectividad de las recomendaciones de los zahoríes es que ellos suelen apoyarse en la idea general que el agua subterránea se mueve a través de ríos subterráneos. Sin embargo, el agua subterránea fluye muy lentamente a través de los poros de las rocas o fracturas. En contraste, el desarrollo de ríos subterráneos sucede en raras ocasiones y bajo condiciones muy específicas en el subsuelo. Bajo este antecedente, si esa idea general, como sustento teórico de muchos de los zahoríes, es errónea, ¿por qué las recomendaciones de los zahoríes serían correctas?

Para involucrar a la ciencia en este tema, es imperativo que se pueda medir las capacidades de los zahoríes. Dicho de otra forma, para hacer ciencia con las radiaciones no basta con decir que se detectan, se debe poder demostrar

que se puede cuantificar su intensidad, dirección y frecuencia, entre otros parámetros.

Existe radiación que puede ser detectable por las personas, sí, pero se trata de radiación infrarroja; o sea, la sensación de calor cuando nos acercamos a un objeto caliente o hay una exposición a la luz solar. Si, por el contrario, lo que los zahoríes captaran fueran ondas electromagnéticas, es justo preguntar cómo es que una horqueta las detecta.

Dicho todo lo anterior, no debe descartarse la posibilidad de que el zahorí se apoye del sentido común y conocimientos básicos o empíricos para hallar agua. Es probable que más bien se apoyen las pistas que ofrece el paisaje para localizar agua subterránea. Pistas como el color, la abundancia y tipos de vegetación en el terreno que sean más propicios a aparecer cuando el nivel freático sea más somero.

El papel de la geofísica en la búsqueda de agua subterránea

Aquellas manifestaciones de agua subterránea que suelen ser más claras, como por ejemplo a través de manantiales, se relacionan a acuíferos someros. Los acuíferos relativamente profundos, de más de 200 m de profundidad, difícilmente pueden ser identificados sin la aplicación de herramientas más sofisticadas. De hecho, no hay registro de zahoríes que hayan encontrado agua subterránea a esas profundidades.

Para tener acceso a acuíferos, someros o profundos, es necesario perforar pozos. La perforación y ademe de pozos de agua regularmente tienen costos altos. Según lo que hemos discutido en los párrafos anteriores, poner en manos de un zahorí esa inversión

puede resultar riesgosa. La alternativa técnica-científica para corroborar la presencia de agua subterránea son la aplicación de técnicas indirectas como la geofísica (Aguirre *et al.*, 2022).

La geofísica es el estudio de la física de la Tierra. Se centra en la exploración del interior de la Tierra a partir de propiedades físicas medidas en la superficie terrestre o por encima de ella, junto con modelos matemáticos para predecir dichas propiedades (Wheeler y Cheadle, 2014).

A diferencia de un zahorí, quien asegura poder detectar agua, los métodos geofísicos no detectan directamente la presencia de este recurso. Más bien, permiten registrar de manera indirecta propiedades físicas que, con la integración de datos geológicos, se puede inferir, con un buen grado de certeza, la presencia de aguas subterráneas a una profundidad determinada (Kirsh, 2009).

Para aplicar geofísica en determinada región, sin embargo, es necesario primero conocer su geología; específicamente, la orientación de los estratos del terreno (Estratigrafía) y la presencia de estructuras que corten a esos estratos, como fallas o fracturas (Geología Estructural). Una vez que se tiene idea de cómo suelen orientarse los estratos y las estructuras, es muy recomendable aplicar métodos geofísicos.

Las técnicas de prospección geofísica tienen una gran variedad de aplicaciones para la caracterización del agua subterránea. Por ejemplo, con geofísica se puede definir la geometría de los acuíferos o determinar sus características hidráulicas relacionadas con la litología (Plata Torres, 1999). Estas técnicas geofísicas han servido como un gran apoyo a la hora de

gestionar adecuadamente el uso del agua subterránea y su combinación con variables hidrogeológicas (Guevara *et al.*, 2017; Sánchez-García *et al.*, 2021).

Métodos Geofísicos

Los factores que influyen en la estimación de aguas subterráneas incluyen el grosor del acuífero y el grado de interconexión de los espacios porosos dentro del material geológico, lo cual afecta posteriormente las capacidades de almacenamiento y transmisión de aguas subterráneas de un acuífero (Jimoh *et al.*, 2023).

En la mayoría de los métodos, se despliegan sensores en el área de estudio que evalúan una propiedad física del subsuelo en respuesta a una fuente natural o activada. Para utilizar esta información en la inferencia hidrológica, es fundamental establecer un vínculo entre la propiedad física medida y la presencia de agua. Si existe tal vínculo, el éxito del método dependerá de la capacidad del especialista para deducir sus variaciones.

Qué método aplicar dependerá de distintos criterios, como el tipo de terreno, su topografía o hasta la infraestructura urbana presente. También hay que considerar en qué se desea aplicar, además de la precisión y resolución de la información que se desea conseguir.

Por ejemplo, en México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) recomienda el uso de métodos indirectos para calcular los volúmenes de infiltración de agua subterránea. En este caso, los métodos eléctricos, para muchos, es una de las mejores opciones (Sánchez-García *et al.*, 2021). Esos métodos también son muy utilizados para delimitar acuíferos y acuitardos

o para estimar la salinidad del agua subterránea (Wiederhold *et al.*, 2021).

Los métodos más utilizados para buscar agua subterránea son; resistividad de corriente continua, polarización inducida, potencial espontáneo, radar de penetración terrestre, inducción electromagnética, refracción sísmica, resonancia magnética nuclear y microgravedad (Binley *et al.*, 2015). A continuación, describiremos la resistividad de corriente continua por medio de sondeos eléctricos verticales.

Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Con los métodos de resistividad de corriente continua, también conocidos como geoelectrónicos, se mide la resistividad aparente de las diferentes

capas subterráneas. Para realizar esto, los sensores pueden distribuirse en el terreno de distintas formas. Una de las formas más usadas define a lo que se conoce como Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) (Jha *et al.*, 2008). Esta técnica evalúa las disparidades en la resistividad eléctrica vertical al pasar corriente a través de electrodos insertados y medir las diferencias de potencial utilizando otros electrodos conectados a un resistivímetro (Figura 4), se utiliza corriente continua de una batería seca, formando la base para el análisis de datos geoelectrónicos. Para abordar esto, se utiliza un gráfico que correlaciona la resistividad aparente con el espaciamiento de los electrodos de corriente para identificar cambios de resistividad vertical.



Figura 4: Resistivímetro utilizado para los SEV.

Conclusiones

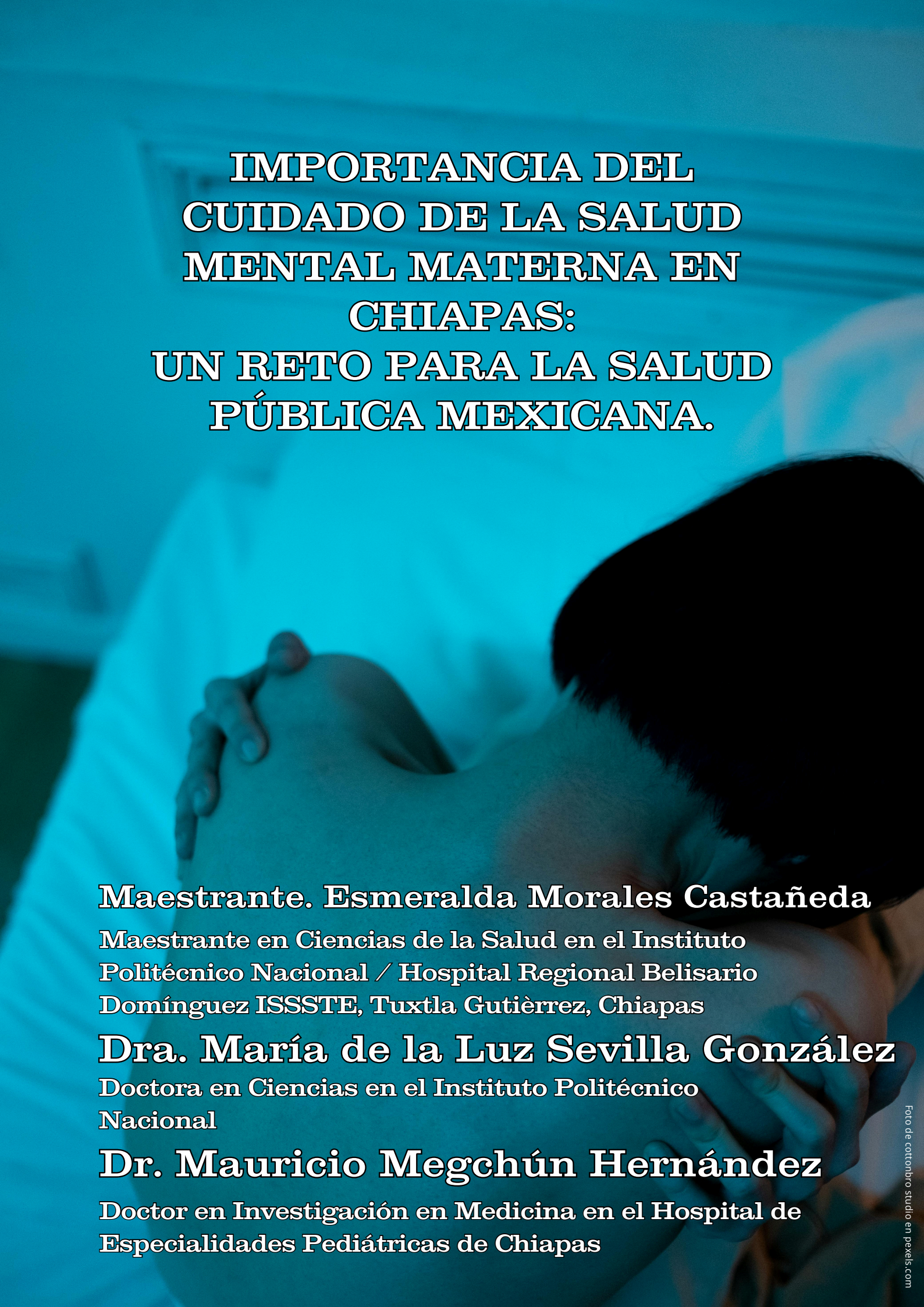
Las técnicas geofísicas, como los sondeos eléctricos verticales (SEV) y las tomografías eléctricas (TEs), se basan en principios físicos establecidos y en la interpretación de datos cuantitativos. Estas técnicas permiten identificar indirectamente la presencia de agua subterránea mediante la medición de propiedades físicas del subsuelo, como la resistividad eléctrica. A pesar de no detectar directamente el agua, la geofísica proporciona una aproximación confiable y precisa para la prospección hidrogeológica. Por otro lado, los zahoríes usan herramientas simples que se basan en la percepción de energías, por lo que su efectividad se cuestiona científicamente.

La combinación de ambas técnicas podría mejorar la gestión del agua subterránea, pues mientras que el arte zahorí sigue siendo popular gracias a su accesibilidad y bajo costo, las técnicas geofísicas representan una opción más segura y científica.

Referencias

- [1] Aguirre, I., Maringue, J., Santibáñez, I. y Yáñez, G., El rol de la exploración geofísica en acuíferos profundos en ambientes semiurbanos y rurales en cuencas andinas de ante arco: caso de estudio en acuífero del río Ñuble, valle central de Chile, *Andean Geol.*, 49[1], pp. 18-54, 2022.
- [2] Arefayne, H. y Abdi, S., Groundwater exploration for water well site locations using geophysical survey methods. *Hydrol. Curr. Res.*, 7[1], 2016.
- [3] Binley, A., Hubbard, S., Huisman, J., Revil, A., Robinson, D., Singha, K. y Slater, L., The emergence of hydrogeophysics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales. *Water Resour. Res.*, 51[6], pp. 3837-3866, 2015.
- [4] Chaparro-Tovar, R. y Fernández-Jiménez, H., Elementos teóricos de un campesino zahorí mediante la realidad como fuente de teoría y atlas, *Observador Conoc.*, 4[2], pp. 44-58, 2019.
- [5] González, A., *Aunque te vistas de seda zahorí, zahorí te quedas*, Orbe, 16, pp 1-3, 2015.
- [6] Guevara, O., Ventura, R. y Andrade, E., Uso de sondeos electromagnéticos en la caracterización hidrológica del acuífero del altiplano de Tula, Tamaulipas. *Investigación Cienc. Univ. Autónoma Aguascalientes*, 70, pp. 23-30, 2017.
- [7] Jha, M., Kumar, S. y Chowdhury, A., Vertical electrical sounding survey and resistivity inversion using genetic algorithm optimization technique. *J. Hydrol.*, 359[1-2], pp. 71-87, 2008.
- [8] Jimoh, M., Opawale, G., Ejepu, J., Abdullahi, S. y Agbasi, O., Investigation of groundwater potential using geological, hydrogeological and geophysical methods in Federal University of Technology, Minna, Bosso Campus, North Central, Nigeria. *HydroResearch*, 6, pp. 255-268, 2023.
- [9] Kirsch, R., *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology* (Kirsch, R.; editor), Springer-Verlag, Berlin, 2009, pp. 568.
- [10] López-Loera, H., Geofísica para la localización de agua subterránea en ambientes volcánicos áridos de la Mesa Central: Caso La Dulcita,

- Villa de Ramos, San Luis Potosí, México, *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 66[1], pp. 165-181, 2014.
- [11] Plata Torres, J., *Técnicas convencionales de geofísica de superficie aplicadas a la hidrogeología*, En M. Olmo Alarcón y J. A. López Geta (Eds.), *Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología*. España: Instituto Tecnológico Geominero de España, pp. 21-32, 1999.
- [12] San Román, S., Zahoríes: adivinos necesarios del mundo rural. Belezos: *Rev. Cult. Pop. Tradic.* Rioja, 4, pp. 46-49, 2007.
- [13] Sánchez-García, M., Bolaina-Vazconcelos, J., Chávez-Hernández, G., Damas-López, D., Estrada-Botello, M., Mendoza-Palacios, J. y Sánchez-Hernández, R., Modelación del agua subterránea en plantaciones de palma de aceite y pastizales mediante técnicas geofísicas. *Ecosist. Recur. Agropec.*, 8[3], 2021.
- [14] Seijas, N. y Uskola, A., Creencias del profesorado en formación sobre los zahoríes y aplicación del modelo acuífero, *Enseñanza Cienc. Rev. Investig. Exp. Didáct.*, 42[1], pp. 125-144, 2024.
- [15] Stroud, B., *Radiestesia: Cómo buscar agua, minerales o incluso gente desaparecida con un sencillo instrumento*, Esenciales Robin Book, Barcelona, 2017, pp. 5-8
- [16] VenkataRao, G., Kalpana, P. y Srinivasa Rao, R., Groundwater investigation using geophysical methods- a case study of Pydibhimavaram industrial area, *Int. J. Res. Eng. Technol.*, 16[03], pp. 13-17, 2014.
- [17] Wheeler, J. y Cheadle, M., *Interactions between micro-plastics and soil fauna*, in Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2014.
- [18] Wiederhold, H., Kallesøe, A., Kirsch, R., Mecking, R., Pechinig, R. y Skowronek, F., Geophysical methods help to assess potential groundwater extraction sites. *Grundwasser*, 26[4], pp. 367-378, 2021.



IMPORTANCIA DEL CUIDADO DE LA SALUD MENTAL MATERNA EN CHIAPAS: UN RETO PARA LA SALUD PÚBLICA MEXICANA.

Maestrante. Esmeralda Morales Castañeda

Maestrante en Ciencias de la Salud en el Instituto
Politécnico Nacional / Hospital Regional Belisario
Domínguez ISSSTE, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Dra. María de la Luz Sevilla González

Doctora en Ciencias en el Instituto Politécnico
Nacional

Dr. Mauricio Megchún Hernández

Doctor en Investigación en Medicina en el Hospital de
Especialidades Pediátricas de Chiapas

Abstract

Maternal mental health care is of great importance because it undergoes physiological and behavioral changes from the beginning of pregnancy until the end of pregnancy, with the arrival of the newborn. In the State of Chiapas, there are 12 recognized indigenous languages; however, the majority of the speaking population speaks only five languages: Tzotzil, Tzeltal, Chol, Zoque, and Tojolabal. Maternal mental health care requires the assistance of native speakers or translators who can help clarify any doubts or fears they experience during pregnancy, childbirth, and the postpartum period. Ensuring good communication between the patient and the attending physician or nurse will establish bonds of trust and security in care. There are few health interventions with native personnel or translators of the different indigenous languages, ensuring proper care for pregnant women.

Keywords: Pregnancy, postpartum, intervention, communication.

Resumen

El cuidado de la salud mental materna es de gran importancia debido a que experimenta cambios fisiológicos como conductuales desde el inicio de la gestación hasta la culminación del embarazo, con la llegada del recién nacido. En el Estado de Chiapas existen 12 lenguas indígenas reconocidas, sin embargo, la mayoría de la población hablante se concentra en 5 lenguas: el tzotzil, tzeltal y chol, zoque y tojolabal, teniendo la necesidad de la atención de su embarazo por personas nativas o traductoras (es), que les ayuden aclarar sus dudas o temores que experimenta durante el embarazo, parto y puerperio. Asegurar una buena comunicación entre la paciente y el médico tratante

o enfermera establecerá lazos de confianza y seguridad en la atención. Existen pocas intervenciones de salud con personal nativo o traductores de las distintas lenguas indígenas, que aseguran una correcta atención de la mujer embarazada.

Palabras clave: Embarazo, puerperio, intervención, comunicación.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud, recomienda disminuir las desigualdades sociales en los países, para poder alcanzar un nivel de equidad relacionadas a los Determinantes Sociales en Salud (DSS), (OMS: 2019). Si bien el embarazo no es una enfermedad, es un estado de salud, que requiere cuidados, atención y seguimiento permanente. La OMS ha definido salud como “estado completo de bienestar físico, mental y social y no solo la ausencia de enfermedad” (ob cit).

La salud mental materna desempeña un papel crucial en el bienestar de las madres, sus familias y las comunidades. La ansiedad en algunos casos, suele aparecer desde el embarazo y sobre todo en las mujeres primerizas, en ocasiones se pueden presentar cambios en la percepción de la responsabilidad que supone tener un hijo, la incertidumbre acerca de los cambios que tendrá su vida a corto o mediano plazo, suelen generar temores acerca de la salud y bienestar de su hijo, otra preocupación suele ser el proceso que vivirá durante el parto (González., *et al* : 2023). Durante la etapa perinatal, que abarca el embarazo y el primer año postparto, las mujeres experimentan cambios físicos, hormonales y emocionales significativos que pueden afectar su estabilidad psicológica. Entre los trastornos mentales más comunes

en esta etapa destacan: la depresión posparto, la ansiedad y el trastorno de estrés postraumático. Estas afecciones no solo repercuten en las madres, sino que también tienen efectos profundos en el desarrollo infantil, la dinámica familiar y, en última instancia, en la salud pública (Howard *et al.*, 2014; Stein *et al.*, 2014).

Es necesario realizar investigaciones que analicen los Determinantes Sociales en Salud, con respecto a la salud materna en áreas rurales e indígenas, debido a que existe otro factor relevante como es la falta de acceso a los servicios de salud, el monolingüismo y la falta de información. En México, la incidencia de los trastornos de salud mental es alarmante, con una prevalencia más acentuada en regiones marginadas, rurales e indígenas, como Chiapas. Donde factores como la pobreza, el aislamiento social, la falta de acceso a servicios de salud y las presiones socioculturales exacerban la vulnerabilidad de las madres en estas áreas. Un estudio realizado en Tuxtla Gutiérrez reportó que el 33.2% de las mujeres encuestadas padecía depresión; de ellas, el 52.6% presentaba depresión grave y el 36.84% tenía síntomas moderados (Rivas Bocanegra *et al.*, 2019). Lo que pone de relieve la falta de intervenciones y programas que vislumbren la importancia de la atención a la salud mental a partir del primer mes de embarazo.

Contexto del estado de Chiapas en México.

El estado de Chiapas se encuentra situado al sur de la república mexicana, el último censo realizado en 2020 por el INEGI reportó una población total de 5 543 828 habitantes, el 51.2% corresponden a mujeres y 48.8% a hombres. La edad mediana en el estado

es de 24 años. (INEGI: 2020). En todo el estado se reporta que 1 387, 295 personas de 5 años y más hablan alguna lengua indígena. INEGI: 2023), Los idiomas indígenas más hablados: Tzeltal, Tzotsil, Chol, Zoque y Tojolabal. En cuanto a la tasa de fecundidad de mujeres con hijos nacidos vivos a partir de 12 años a 80 años es de 2.3 hijos (ob cit).

Chiapas ocupa uno de los primeros lugares en pobreza y marginación en México. Según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2022), el 67.4% de la población vive en pobreza multidimensional, un entorno que contribuye al desarrollo integral de la población y por tanto influye negativamente al bienestar psicológico de las mujeres embarazadas que son centro de esta investigación. Otros estados con altos índices de pobreza son Guerrero (60.4%) y Oaxaca (58.4%), pero la combinación de pobreza extrema, desigualdad y barreras culturales hace de Chiapas un caso crítico (CONEVAL, 2022).

Por otra parte, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2022) señala que el 18% de las mujeres en el posparto en zonas rurales de México reportaron síntomas de depresión. En Chiapas, esta prevalencia es más elevada debido a factores como inseguridad alimentaria, violencia doméstica y la carencia de servicios médicos especializados (Gómez-Pérez *et al.*, 2022; Lara-Cinisomo & Girdler, 2022). Estas barreras estructurales dificultan el diagnóstico y tratamiento de trastornos mentales, perpetuando un ciclo de desatención en salud mental en las comunidades indígenas y rurales del estado (INEGI, 2021).

Además, los Determinantes Sociales en Salud (DSS) en Chiapas deja patente la falta de Justicia distributiva, en tanto que existe insuficiencia de infraestructura sanitaria, lo que nos lleva a dejar en claro que la salud en este estado se encuentra frente a un desafío crítico. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021), muchas zonas rurales de

Chiapas carecen de hospitales y centros de atención primaria capacitados para tratar trastornos mentales perinatales. Esta falta de acceso a servicios adecuados afecta directamente a las madres y sus familias, intensificando el impacto de la pobreza y la desigualdad. Por estas razones es que es necesario intensificar los recursos a la atención a la salud, educación y prevención.



Figura 1: Las intervenciones interculturales generan: Confianza, seguridad y apego

El Derecho a la salud y al bienestar físico y social:

- Las mujeres embarazadas y sus hijos tienen la protección de la Constitución Política de los estados Unidos mexicanos que establece en su artículo No 4. Que México es un país pluricultural y reconoce la diversidad de los pueblos indígenas y el derecho a la educación y a la salud promoviendo. *“el desarrollo de sus lenguas, culturas, usos y costumbres recursos y formas específicas de organización social y garantizará a sus integrantes el efectivo acceso a la jurisdicción del Estado (DOF: 2025).*
- También deja patente que “Los niños y las niñas tienen derecho a la satisfacción de sus necesidades de alimentación, salud, educación

y sano esparcimiento para su desarrollo integral”.

- *“Los ascendientes, tutores y custodios, tienen el deber de preservar estos derechos. El Estado proveerá lo necesario para propiciar el respeto a la dignidad de la niñez y el ejercicio pleno de sus derechos”.*

La atención de la salud de la mujer embarazada y de su hijo en Chiapas, debe tener las mismas consideraciones de una mujer atendida en cualquier ciudad de la República Mexicana. Es necesario implementar intervenciones en la propia lengua de la mujer monolingüe o bilingüe, la comunicación y rapport que se tiene entre médico - paciente, enfermera-paciente, trabajadora social-paciente, tiene la garantía de establecer una relación de confianza, seguridad y armonía en la atención. De esa manera

se cumple la máxima del derecho supremo del menor.

Impacto de la Salud Mental Materna en la Familia y la Comunidad

El estado de salud mental de las madres tiene repercusiones no solo a nivel individual, sino también en el desarrollo de sus hijos y la estabilidad de la unidad familiar, lo que repercute directamente en la comunidad. Los trastornos mentales maternos, tales como la depresión, ansiedad y estrés, alteran los procesos vitales tanto para la madre como para su familia, y pueden prolongarse a lo largo de la vida del niño y su entorno cercano. Es necesario focalizar la urgencia de programas de atención que respondan a necesidades reales y además de ello realizarlas en sus idiomas de origen, ya que de no hacerlo las mujeres embarazadas sufren una segunda marginación debido al monolingüismo. El embarazo y el puerperio son parte sustancial del bienestar psicológico no solo de la mujer embarazada, sino del recién nacido y la familia. Razón por la cual debiera de existir una atención integral y permanente y seguimiento más allá del egreso hospitalario.

1. Desarrollo Infantil

Es importante destacar que la salud mental materna, impacta significativamente en el desarrollo infantil. Una atención integral en la alimentación, higiene y cuidados maternos en los primeros días del RN (recién nacido), son fundamentales para su desarrollo integral. Los hijos de madres con problemas de salud mental presentan un mayor riesgo de retrasos en áreas claves como el desarrollo cognitivo, emocional y social. Estos retrasos pueden manifestarse en dificultades de aprendizaje, problemas conductuales y dificultades para

establecer relaciones interpersonales, afectando la capacidad de adaptación a lo largo de la vida (Goodman *et al.*, 2011). Además, el riesgo de trastornos psiquiátricos en la niñez, como la ansiedad y la depresión, aumenta considerablemente cuando la madre no recibe el apoyo necesario durante y después del embarazo (Stein *et al.*, 2014).

2. Vínculo Madre-Hijo

La relación madre-hijo es fundamental para el bienestar emocional del niño. La ansiedad y el estrés materno pueden influir y dificultar la creación de un vínculo afectivo sólido entre madre e hijo, afectando la capacidad del niño para sentirse seguro y desarrollado emocionalmente. Existen estudios que evidencian que el sistema inmunológico se eleva en cuanto más afecto, seguridad y tranquilidad tenga el recién nacido (Molano P. .2014). Esto puede resultar en problemas emocionales y conductuales, como la inseguridad y dificultades en la formación de relaciones saludables en etapas posteriores de la vida (Stein *et al.*, 2014).

El vínculo afectivo temprano es crucial para el desarrollo de una base emocional segura, que influye en el bienestar del niño a largo plazo.

3. Dinámica Familiar

La salud mental materna también desempeña un papel crucial en la dinámica familiar. Cuando las madres experimentan trastornos mentales no tratados, como la depresión postparto o la ansiedad, esto puede aumentar los conflictos intrafamiliares, la tensión y el estrés. La falta de atención a estos problemas puede llevar a un incremento en la violencia doméstica y en los niveles de estrés de otros miembros de la familia, lo que a su vez debilita la cohesión

familiar y la funcionalidad del núcleo familiar (Bauer *et al.*, 2016). El consumo de alcohol y otras sustancias suelen aparecer durante estas situaciones estresantes para la mujer.

En este contexto, es esencial que la salud mental materna sea abordada de manera integral para mejorar la

estabilidad y el bienestar de la familia.

Modelo de estrategias para Mejorar la Salud Mental Materna en Chiapas

La atención integral de la salud mental materna requiere la implementación de estrategias específicas y adaptadas a las realidades de Chiapas:

I.- Fortalecimiento de la infraestructura sanitaria

La mejora en la cobertura de servicios de salud es fundamental. Invertir en infraestructura sanitaria adecuada y en la capacitación de personal de salud para el diagnóstico y tratamiento de trastornos mentales perinatales contribuirá a reducir la brecha en la atención en zonas rurales e indígenas. La creación de centros de salud mental especializados en áreas rurales puede aliviar la carga y mejorar el acceso a servicios (Gómez-Pérez *et al.*, 2022).

II.- Implementación de programas de intervención psicosocial culturalmente sensibles.

Es esencial adaptar los programas de salud mental a las características socioculturales de las mujeres chiapanecas, especialmente en las comunidades indígenas. La inclusión de profesionales que hablen lenguas indígenas y entiendan las tradiciones culturales puede mejorar la aceptación y efectividad de los servicios de salud mental (Lara-Cinisomo & Girdler, 2022). Además, se deben ofrecer espacios de acompañamiento emocional y psicoeducación sobre la salud mental en el embarazo y postparto.

III.- Estrategias de empoderamiento y apoyo social

El fortalecimiento de redes de apoyo social, que incluyan familiares, comunidades y grupos de apoyo, es esencial para reducir el aislamiento social de las madres. Programas de sensibilización en las comunidades rurales e indígenas que promuevan el bienestar psicológico y reduzcan el estigma asociado a los trastornos mentales son necesarios para facilitar el acceso a la atención. Además, el empoderamiento de las mujeres en la toma de decisiones sobre su salud mental puede mejorar los resultados a largo plazo (Bauer *et al.*, 2016).

IV.- Promoción de la salud mental desde el embarazo

El diseño de programas de prevención que se enfoquen en la salud mental de la madre durante el embarazo es clave. La atención prenatal debe incluir evaluación del estado mental de la madre, con la implementación de estrategias de intervención temprana en caso de identificar trastornos como la depresión y la ansiedad. Estos programas deben trabajar de manera conjunta con los servicios de salud materna y ofrecer soporte psicológico durante la gestación y el postparto (Howard *et al.*, 2014).

La salud mental materna en Chiapas requiere un enfoque integral que considere las particularidades socioculturales de la región. Es indispensable fortalecer el sistema de salud con infraestructura adecuada y personal capacitado; principalmente traductores, así como implementar programas culturalmente sensibles que aborden los factores de riesgo específicos de las madres en comunidades rurales e indígenas.

Los determinantes económicos inciden de forma definitiva para tener acceso a los servicios de salud, es importante reflexionar que la justicia distributiva debe existir en México, y Chiapas es un sitio dónde se pueden impulsar políticas de interculturalidad aprovechando que hay profesionales de salud sensibles y responsables con una visión humanista.

Atender esta problemática no solo beneficiará a las madres, sino también a sus familias y comunidades, contribuyendo a un desarrollo más equitativo y sostenible en el estado.

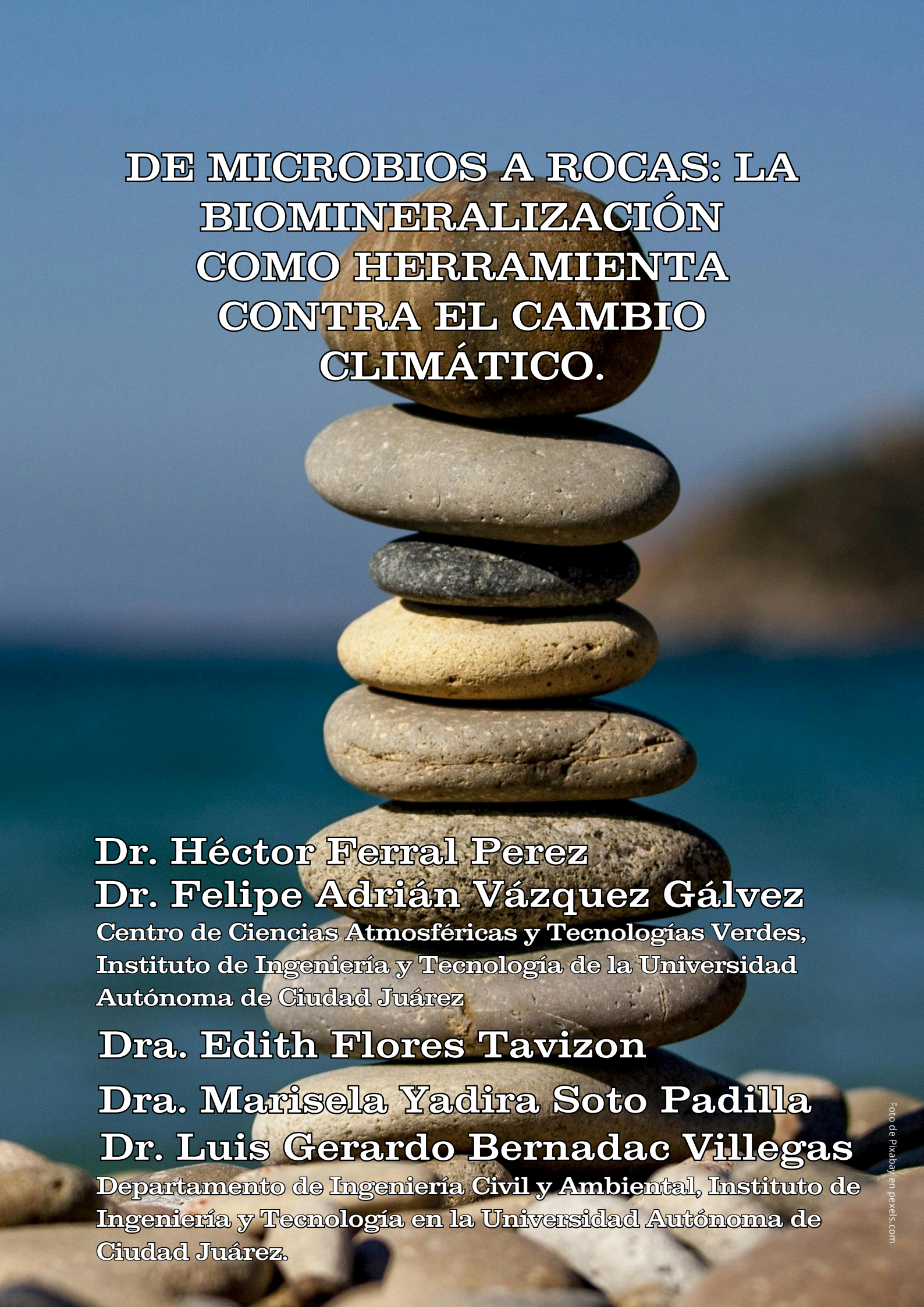
La revisión de la literatura científica

evidencia la existencia de pocas intervenciones en el idioma indígena no solo de la mujer durante en el embarazo sino también en otros padecimientos. Lo que indica la poca atención a este enfoque de salud intercultural.

Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud. Informe final de la Comisión Sobre Determinantes Sociales de la Salud. Ediciones Journal S.A ed. Buenos Aires, Argentina; 2009.
- [2] Bauer, A., Parsonage, M., Knapp, M., Iemmi, V., & Adelaja, B. (2016). The costs of perinatal mental health problems. *Journal of Affective Disorders*, 192(1), 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2015.12.013>
- [3] CONEVAL. (2022). Informe sobre la pobreza en México. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- [4] Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Diario Oficial de la Federación (DOF Última Reforma DOF 17-01-2025) .

- <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- núm 37/21 26 de enero de 2021
Tuxtla Gutiérrez, chis. página 1/3.
- [5] Gómez-Pérez, M., Salvatierra, B., Sánchez-Ramírez, G., & Ramírez-López, D. K. (2022). Factores relacionados con la sintomatología depresiva en mujeres en edad reproductiva de Chiapas, México. *Acta Universitaria*, 32, e3609. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3609>
- [6] Gonzalez Oviedo L. N, Valdés Borjas C. A. , Martínez Chacon C.R. ; Nivel de Ansiedad y Control Prenatal en Embarazadas de la Unidad de Medicina Familiar 73, Noviembre 2023, Revista Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, vol 7(5): 5698-5712, DOI:10.37811/cl_rcm.v7i5.8170
- [7] Howard, L. M., Molyneaux, E., Dennis, C. L., Rochat, T., Stein, A., & Milgrom, J. (2014). Non-psychotic mental disorders in the perinatal period. *The Lancet*, 384(9956), 1775–1788. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61276-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61276-9)
- [8] INEGI. (2021). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- [9] INEGI. (2020). Censo Nacional de Población. comunicado de prensa
- [10] INEGI .(2023) Encuesta intercensal. <https://www.inegi.org.mx/temas/lengua/>
- [11] Lara-Cinisomo, S., & Girdler, S. S. (2022). Salud mental perinatal y recomendaciones para su atención integral. *Gaceta Médica de México*, 158(4), 564-573. <https://doi.org/10.24875/GMM.21000073>
- [12] Efecto del estímulo táctil kinestésico en la respuesta al estrés del recién nacido pretérmino en la unidad de cuidado neonatal. Molano Pirazán, María Luisa, 2014. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Repositorio.unal.edu.co
- [13] Rivas Bocanegra, A., *et al.*, (2019). Prevalencia y características de la depresión en mujeres de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- [14] Stein, A., Pearson, R. M., Goodman, S. H., Rapa, E., Rahman, A., McCallum, M., Howard, L. M., & Pariante, C. M. (2014). Effects of perinatal mental disorders on the fetus and child. *The Lancet*, 384(9956), 1800–1819. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61277-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61277-0)



DE MICROBIOS A ROCAS: LA BIOMINERALIZACIÓN COMO HERRAMIENTA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO.

Dr. Héctor Ferral Perez

Dr. Felipe Adrián Vázquez Gálvez

Centro de Ciencias Atmosféricas y Tecnologías Verdes,
Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez

Dra. Edith Flores Tavizon

Dra. Marisela Yadira Soto Padilla

Dr. Luis Gerardo Bernadac Villegas

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de
Ingeniería y Tecnología en la Universidad Autónoma de
Ciudad Juárez.

Abstract

Microbial biomineralization represents a promising and innovative approach to reducing atmospheric carbon dioxide (CO_2) levels. This natural process is widely observed in various organisms capable of utilizing environmental CO_2 to mineralize it into carbonates, forming biominerals such as shells, spicules, and, in the case of microbes, structures like stromatolites. In this context, microbially induced biomineralization has emerged as a biotechnological strategy for CO_2 capture and storage. This method offers an energy-efficient alternative to physicochemical technologies, using bacterial enzymatic and metabolic activities to convert CO_2 into stable minerals that can be applied in various engineering solutions, including self-healing concrete, heavy metal removal, and soil stabilization. These applications highlight the versatility of biomineralizing microbes in promoting carbon neutrality and mitigating emissions. This promising biotechnology addresses climate change, supports net-zero emissions targets, and fosters community sustainability.

Keywords: Biomineralization, climate change, CO_2 capture, environmental biotechnology

Resumen

La biomineralización microbiana representa un enfoque prometedor e innovador para reducir los niveles de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. Este proceso natural es ampliamente observado en diversos organismos, los cuales son capaces de utilizar el CO_2 del entorno para mineralizarlo en carbonatos, formando biominerales como conchas, espículas y, en el caso de los microbios, estructuras como los estromatolitos. En este contexto,

la biomineralización inducida por microorganismos ha surgido como una estrategia biotecnológica para la captura y almacenamiento de CO_2 . Este método ofrece una alternativa eficiente en términos energéticos a las tecnologías fisicoquímicas, utilizando las actividades enzimáticas y metabólicas de las bacterias para convertir el CO_2 en minerales estables que pueden ser utilizados en distintas aplicaciones ingenieriles, como el concreto autorreparable, la remoción de metales pesados y la estabilización de suelos. Estas aplicaciones demuestran la versatilidad de los microbios biomineralizantes para promover la neutralidad de carbono y mitigar las emisiones, lo cual representa una biotecnología prometedora para enfrentar el cambio climático, alcanzar el balance cero de emisiones y fomentar la sostenibilidad de las comunidades.

Palabras clave: Biomineralización, cambio climático, captura de CO_2 , biotecnología ambiental

Introducción

Las rocas suelen asociarse con la ausencia de vida y la inmutabilidad ante el paso del tiempo. Históricamente, han sido el principal material de construcción, incluyendo el concreto, que permite usar estos materiales de origen mineral de forma artificial y moldearlos según las necesidades del proyecto. En el contexto de la actual crisis climática, las rocas podrían ofrecer una solución al aumento del dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera, ayudando a reducir su concentración.

Aunque normalmente se asume que el origen de las rocas está ligado a procesos geológicos, como la formación de rocas metamórficas e ígneas, las rocas sedimentarias esconden un origen

biológico dentro de sus duras capas. Uno de los minerales más abundantes en este tipo de rocas son los de la familia de los carbonatos, que se generan a partir de la interacción del CO_2 disuelto en el agua con diferentes metales, como el calcio, que es el 3er elemento más abundante en el suelo y en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Para que estos minerales se formen, se requiere diversas condiciones ambientales como una alta concentración de metales y CO_2 disuelto en forma de carbonatos y un pH alcalino ($pH > 7$). Sin embargo, este proceso no es completamente fisicoquímico ya que existe una gran diversidad de organismos capaces de formar minerales, que los llamaremos biominerales. Los biominerales más comunes que se conocen son los huesos y dientes, pero también muchos otros como los esqueletos de los corales, las conchas de los moluscos, las espículas de foraminíferos y otras estructuras similares a las piedras como los estromatolitos y microbialitos.

¿Qué es la Biomineralización?

La capacidad de los organismos para formar minerales se conoce como biomineralización, donde éstos promueven que ocurra la formación de minerales, este proceso puede ser controlado por el organismo o también puede inducirlo. La biomineralización controlada es realizada por aquellos, que como dice su nombre, que controlan la

formación de los biominerales gracias a que poseen enzimas, proteínas, metabolismos y genes específicos para crear biominerales (Weiner y Dove, 2003), un ejemplo son las proteínas SOM, que se traduce como matriz orgánica esquelética. Estas proteínas atrapan el CO_2 disuelto en el agua (Carbón Inorgánico Disuelto, CID) y lo mineralizan con el calcio del medio, dando lugar a estructuras minerales ordenadas para los fines del organismo. Algunos ejemplos son los biominerales que forman los corales, las esponjas, protozoarios conocidos como foraminíferos, crustáceos, moluscos y todos los vertebrados (Figura 1a).

Por otro lado, la biomineralización inducida ocurre en los organismos que no cuentan con proteínas o genes especializados para mineralización, dando como resultado biominerales con crecimientos aleatorios; la mineralización inducida se genera como un subproducto de su metabolismo, ya que los desechos de los microorganismos, como el CO_2 de la respiración, aniones alcalinos, proteínas y otras moléculas en la membrana de sus células, generan un ambiente propicio para la mineralización (Dupraz y col. 2009).

Un ejemplo son los estromatolitos, microbialitos y espeleotemas bacterianos (Figura 1b), estructuras rocosas biológicas creadas por comunidades bacterianas y cianobacterias.

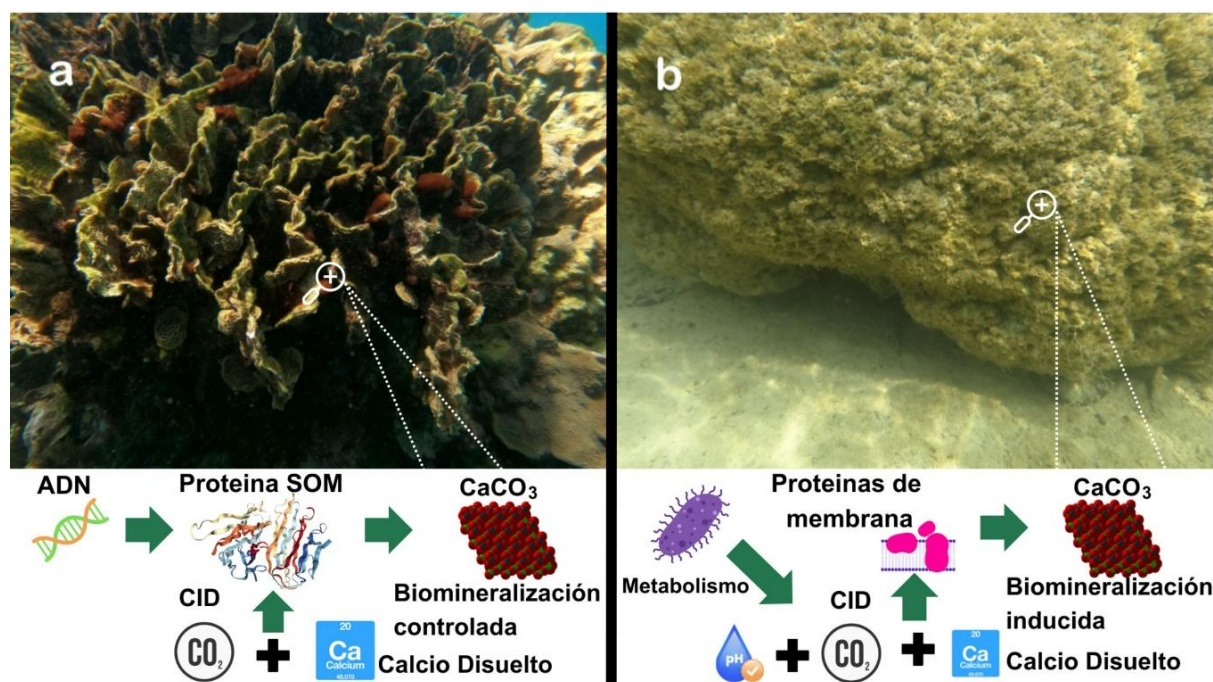


Figura 1: Ejemplos de biomineralización de carbonato de calcio (CaCO_3). a. Biomíneralización controlada: Los biominerales son ordenados por proteínas SOM (Skeletal Organic Matrix) que están codificadas en el ADN de los organismos y le dan forma a los biominerales, por ejemplo, los corales. b. Biomíneralización inducida: Los microorganismos cuyo metabolismo aumentan el pH y la concentración de Carbón Inorgánico Disuelto (CID) más el calcio, inducen la nucleación y precipitaciones del CaCO_3 en las estructuras protéicas que forman parte de la membrana, por ejemplo, los estromatolitos.

Biomínerales y ciclo del CO_2

De igual forma que las cianobacterias, muchos otros también son capaces de formar biominerales mediante el proceso de biomineralización inducida y son responsables de la formación de una parte de las rocas sedimentarias en ríos, lagos, océanos, suelos y cavernas (Jawar y col. 2022). Estos microorganismos juegan un papel fundamental en el ciclo biogeoquímico del carbono, al contribuir al equilibrio del CO_2 en la atmósfera, junto con organismos fotosintéticos (la vegetación y la biota marina) que capturan CO_2 en forma de biomasa (Figura 2). Las concentraciones de CO_2 en la atmósfera varían en función del

balance de los flujos naturales (como la respiración de los organismos y los procesos de descomposición) y las fuentes antropogénicas (principalmente la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento). Estos flujos interactúan con los principales sumideros de CO_2 que capturan y fijan el gas, regulando así la temperatura y el clima.

Esto se debe a que el CO_2 en la atmósfera atrapa la radiación infrarroja del sol, fenómeno conocido como calentamiento global.

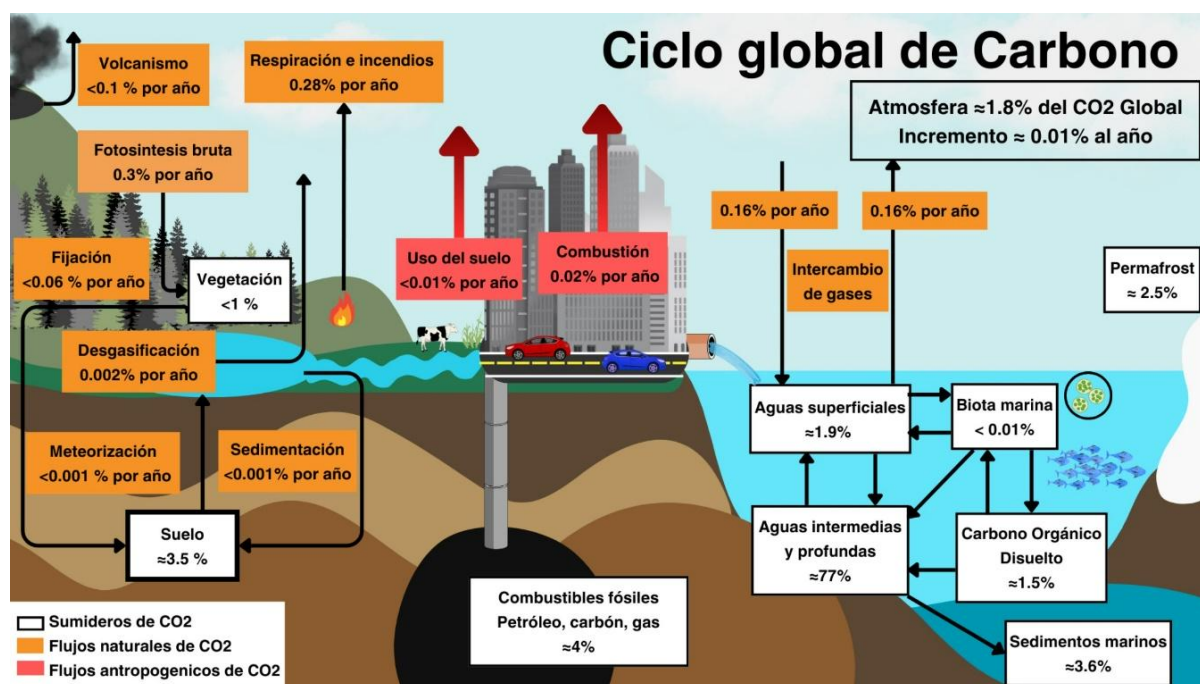


Figura 2: Ciclo del carbono que ejemplifica los principales sumideros y flujos globales del CO_2 en la atmósfera. En la atmósfera se estima que hay 870 ± 5 Gigatoneladas de CO_2 que representa el 1.8% de CO_2 total, este se distribuye en los distintos sumideros de CO_2 , siendo el océano en sus aguas profundas donde se absorbe el 77% de este, seguido del suelo y los sedimentos marinos (7.1%), las reservas de combustibles fósiles (4%), y el permafrost (2.5%). El CO_2 se distribuye entre los diferentes sumideros por diferentes procesos bioquímicos como la fotosíntesis y la respiración, y fisicoquímicos como el intercambio de gases y la mineralización de sedimentos, que permite que se mantenga un equilibrio entre ellos. Sin embargo, la liberación de CO_2 antropogénica principalmente por la quema de combustibles está modificando el equilibrio del ciclo.

Desde la Revolución Industrial, el uso intensivo de combustibles fósiles ha liberado grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera lo que ha provocado aumento en sus concentraciones, en el periodo del 2010 – 2019 se estima que el incremento es aproximadamente de 5 Gigatoneladas anuales. Ha pesar de que este incremento representa únicamente el 0.01% del CO_2 total del planeta, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial en el 2020 se alcanzó una concentración en la atmósfera de 149% más de los niveles preindustriales. Este aumento tiene como consecuencia un desbalance en

el ciclo del carbono debido a la acidificación en el océano reduciendo significativamente su capacidad de captura de CO_2 y provocando la muerte de la biota marina, además de que sumado con el efecto invernadero incrementa la frecuencia de incendios, la deforestación y erosión, muerte de la vegetación y el derretimiento del permafrost, liberando aún más CO_2 a la atmósfera.

El calentamiento global también altera la dinámica atmosférica y los niveles oceánicos, afectando el clima de los ecosistemas y aumentando la frecuencia e intensidad de fenómenos naturales

extremos como sequías, inundaciones, huracanes y tormentas.

Captura de CO_2 por micro-organismos

En la 21^a Conferencia del Cambio Climático de las Naciones Unidas en la Conferencia de las Partes (COP21) del 2015, conocida como el Acuerdo de París, los países se comprometieron a realizar esfuerzos para limitar el incremento de la temperatura global a 1.5°C y reducir las emisiones de CO_2 hasta alcanzar un balance negativo para 2050. Asimismo, las Naciones Unidas adoptaron formalmente los Objetivos de Desarrollo Sostenible como parte de su agenda para 2030, donde la meta 13 establece la Acción Climática. Esta meta implica tomar medidas para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para alcanzar la neutralidad de emisiones, que quiere decir que la cantidad de gases de efecto invernadero que se genere sea igual a lo que se remueve de la atmósfera.

Las principales fuentes de emisión de GEI provienen de la producción de energía, seguido del transporte, donde la combustión de carbón, gas natural y productos derivados del petróleo produce un gas de salida compuesto principalmente por nitrógeno, vapor de agua y entre un 7-15% de CO_2 .

Una de las estrategias para reducir las emisiones provenientes de estos procesos es el uso de energías provenientes de

fuentes no dependientes de combustibles fósiles, como la energía solar y eólica, sin embargo, debido a la demanda energética todavía no podemos depender exclusivamente de ellas. En este panorama, se han desarrollado tecnologías que nos permiten capturar el CO_2 tanto en los procesos de combustión como el que ya está presente en la atmósfera que se conocen como de Captura y Secuestro de Carbono (Carbon Capture and Storage, CCS).

Existen diversas tecnologías CCS que están basadas en procesos fisicoquímicos, como la adsorción, el looping químico, la reducción electroquímica, separación por membranas, entre otras. Una de las tecnologías más estudiadas y utilizadas, destacan los "scrubbers", son dispositivos que permiten eliminar el CO_2 de un gas por medio de la absorción con sustancias químicas como las aminas y cal viva (Figura 3a) (Ashirov y Coskun, 2024). Sin embargo, estos sistemas purificar el CO_2 y grandes cantidades de energía térmica para regenerar los absorbentes, lo que limita su aplicabilidad. Una vez capturado, el CO_2 puede mineralizarse mediante un proceso químico o su inyección en basaltos a presiones supercríticas. No obstante, esta técnica presenta desventajas como la pérdida de capacidad adsorbente, alto coste energético, producción de subproductos no deseables y la ubicación geográfica de la planta CCS (De Oliveira y col. 2022).

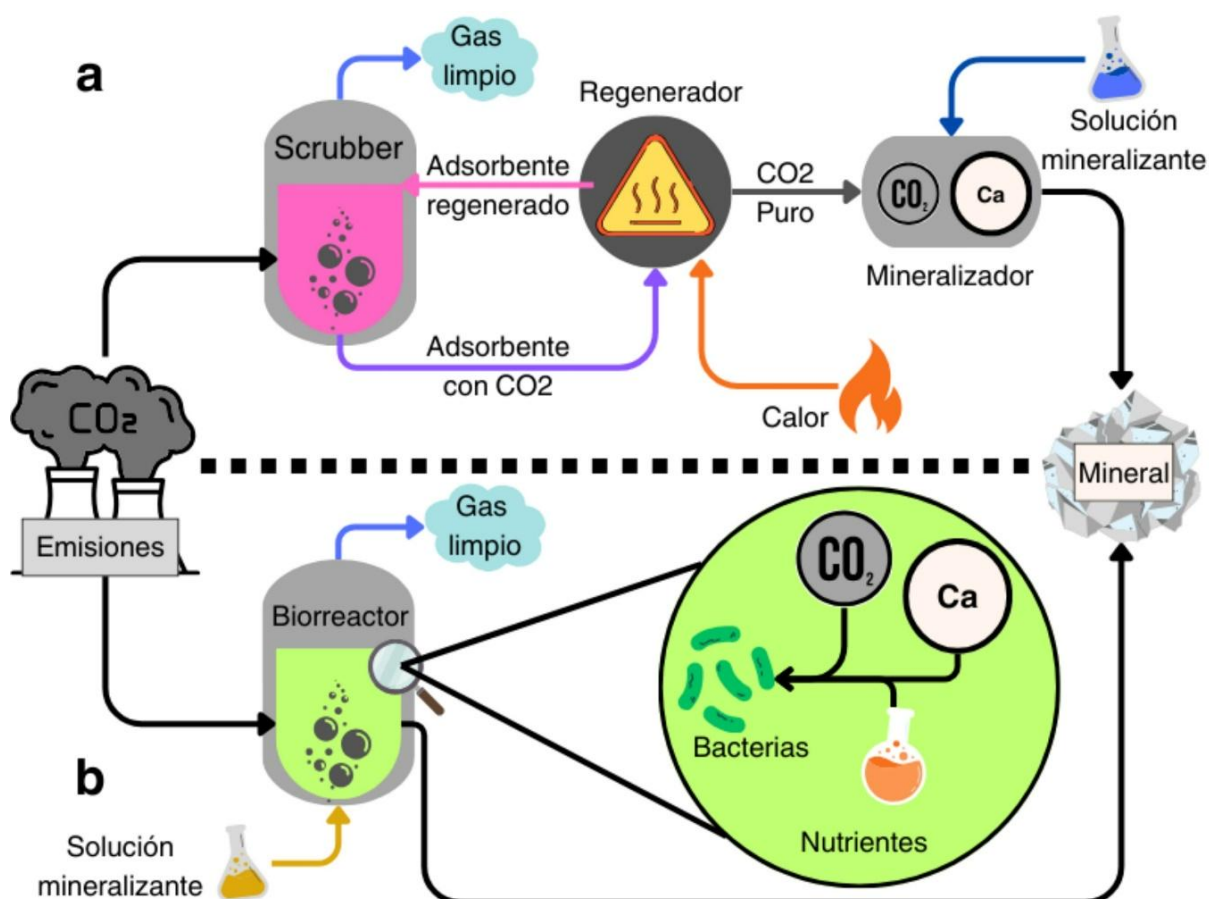


Figura 3: Esquema del proceso de captura de CO_2 utilizando (a) scrubbers químicos y un mineralizador y (b) biotecnología, en ambos casos el producto final son los minerales, pero en el proceso biotecnológico no requiere de calor, ya que las bacterias funcionan como adsorbentes y promueven la mineralización.

Por otro lado, las bacterias mineralizantes ofrecen una alternativa viable para las tecnologías CCS, ya que promueven la disolución del CO_2 en el agua y facilitan su mineralización a bajo costo energético y bajo condiciones de presión y temperatura normales (Figura 3b). Aunque la biomineralización es un fenómeno estudiado desde 1989 por Lowenstam y Weiner, quienes describieron este proceso en distintos organismos, no fue hasta la década de 2010 cuando Henk Jonkers y su grupo de investigación utilizaron bacterias como agentes reparadores del concreto. Estas bacterias podían tomar el CO_2 de la atmósfera y convertirlo en carbonato, sellando las grietas del concreto. Desde entonces, varios investigadores han propuesto distintas aplicaciones para este proceso biotecnológico, como la remoción de metales pesados mediante su inmovilización en matrices minerales, la estabilización de suelos, la producción de concreto autorreparable y la captura del carbono, siendo ésta última de particular interés para alcanzar la neutralidad en emisiones (Fang y Achal, 2024)

La aplicación tecnológica de la biomineralización inducida mediada por microbios se le conoce como Precipitación de Carbonatos Inducida por Microbios (MICP, por sus siglas en inglés, Microbial Induced Carbonate Precipitation). La MICP puede ser llevada a cabo por una gran diversidad de microorganismos con distintos tipos de metabolismo, como los fotosintéticos, sulfatoredutores, oxidadores de metano, desnitrificantes, productores de anhidrasa carbónica y ureolíticos, siendo estos dos últimos los más estudiados (Mwandira y col. 2023).

El factor de mayor influencia dentro de este bioproceso es el tipo de bacteria, ya que proporcionan los sitios de nucleación donde se forman los biominerales, producen las enzimas que aceleran las reacciones de precipitación y sobreviven a las condiciones de mineralización, que implican pH alcalino y altas concentraciones de sales. El pH y la temperatura tienen un impacto significativo en el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, así como en la solubilidad del CO_2 y la cristalización de los biominerales. Finalmente, la concentración de CO_2 , la fuente de calcio y los nutrientes del medio de cultivo, afectan el metabolismo bacteriano y por consecuencia, velocidad de precipitación y forma de los biominerales.

Actualmente la investigación continúa para identificar posibles microorganismos más eficientes para la MICP que

se pueden aislar de condiciones extremas, como cuevas húmedas que presentan temperaturas mayores a $50^{\circ}C$, sedimentos de fuentes de agua con alta alcalinidad y salinidad, así como sedimentos marinos. Por otro lado, el diseño, control y desarrollo de biorreactores para manejar los parámetros de crecimiento microbiano, es un área de oportunidad para mejorar y escalar este proceso a nivel industrial.

Conclusiones

Las tecnologías CCS basadas en MICP son una alternativa potencial para alcanzar las metas de neutralidad de emisiones establecidas en el Acuerdo de París y alineados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Gracias a esto, se puede ver a futuro la construcción de granjas de rocas donde se capture el CO_2 , promoviendo una infraestructura ambiental innovadora. Estas granjas podrían convertirse en puntos clave de almacenamiento de carbono a gran escala y proporcionar oportunidades de empleo en sectores relacionados con la biotecnología y la construcción sostenible. Además, estas rocas biológicas podrían ser utilizadas para crear bioladrillos, con un impacto ambiental significativamente menor que los materiales de construcción tradicionales. Al reducir la dependencia de materiales como el cemento, que tiene una alta huella de carbono, se contribuye a la descarbonización de la industria de la construcción. El desarrollo de estos procesos biotecnológicos, no solo ofrecen una solución eficiente y sostenible para la captura de carbono, sino que también representan un avance en la mitigación del cambio climático, al integrar procesos naturales en la industria y la construcción. Asimismo, esta tecnología abre nuevas posibilidades

en la revalorización de residuos y subproductos industriales, fortaleciendo el enfoque hacia una economía circular. Por lo tanto, al aprovechar la capacidad de los microorganismos para mineralizar el CO_2 , se abren posibilidades nuevas para el manejo de emisiones, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono en sectores clave, como el energético y la construcción, apoyando así la transición hacia una economía verde y circular.

Referencias

- [1] Ashirov, T., and Coskun, A., Carbon Dioxide Capture: Current Status and Future Prospects, *Chimia*, 78[6], pp. 415–422, 2024.
- [2] De Oliveira Maciel, A.; Christakopoulos, P.; Rova, U.; Antonopoulou, I. Carbonic Anhydrase to Boost CO_2 Sequestration: Improving Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS). *Chemosphere*, 299, p. 134419, 2022.
- [3] Dupraz, C.; Reid, R. P.; Braissant, O.; Decho, A. W.; Norman, R. S.; Visscher, P. T., Processes of Carbonate Precipitation in Modern Microbial Mats. *Earth-Science Reviews*, 96[3], pp. 141–162, 2009.
- [4] Fang, C., and Achal, V., Enhancing Carbon Neutrality: A Perspective on the Role of Microbially Induced Carbonate Precipitation (MICP), *Biogeotechnics*, 2[2], p. 100083, 2024.
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Global Carbon and Other Biogeochemical Cycles and Feedbacks, in Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 673–816, 2023.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Special Report on Global Warming of 1.5°C*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. Accessed: 2024-10-22. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- [7] Jarwar, M. A.; Dumontet, S.; Pasquale, V.; Chen, C. Microbial Induced Carbonate Precipitation: Environments, Applications, and Mechanisms. *Geomicrobiology Journal* 2022, 39 [10], pp. 833–851, 2022.
- [8] Jonkers, H. M.; Thijssen, A.; Muyzer, G.; Copuroglu, O.; Schlangen, E. Application of Bacteria as Self-Healing Agent for the Development of Sustainable Concrete. *Ecological Engineering*, 36, 230–235, 2010.
- [9] Lowenstam, H.A. and Weiner, S., *On biomineralization*. New York: Oxford University Press, 1989.
- [10] Mwandira, W.; Mavroulidou, M.; Gunn, M. J.; Purchase, D.; Garelick, H.; Garelick, J. Concurrent Carbon Capture and Biocementation through the Carbonic Anhydrase (CA) Activity of Microorganisms -a Review and Outlook. *Environ. Process.*, 10[4], 56, 2023.
- [11] Weiner, S. and Dove, P.M. An overview of biomineralization processes and the problem of the vital effect, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 54[1], pp. 1–29, 2003.

APLICACIÓN DE LOS TARDÍGRADOS EN LA MEDICINA, UNA REVISIÓN

Biól. Yocelin Sánchez Jiménez

Departamento de Biología. Universidad
Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

Dra. Alba Dueñas Cedillo

Estancias Posdoctorales por México, Facultad de
Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de
Nuevo León.

Dr. Luis M. Guevara Chumacero

Departamento de Biología. Universidad
Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

Abstract

Tardigrades are microscopic animals known for their ability to enter cryptobiosis, a state in which they suspend their vital functions to survive extreme conditions. They achieve this state thanks to specialized proteins that provide protection. This article presents a review on the application of tardigrades in medicine, analyzing specialized proteins such as Dsup, which protects the DNA of certain tardigrade species against high levels of radiation. This has sparked interest in medical research. Potential applications are discussed, including the protection of human DNA from radiation and the treatment of human diseases such as cancer, as well as the preservation of biological material, offering new perspectives for medicine.

Keywords: Tardigrades; medicine; cryptobiosis; proteins.

Resumen

Los tardígrados son animales microscópicos conocidos por su capacidad de entrar en criptobiosis, un estado en el que suspenden sus funciones vitales para sobrevivir en condiciones extremas; presentan esta condición, gracias a proteínas especializadas que les confieren protección. En este artículo se hace

una revisión sobre la aplicación de los tardígrados en la medicina analizando proteínas especializadas, como Dsup, que protege el ADN de algunas especies de tardígrados frente a altos niveles de radiación, lo que ha despertado interés en la investigación médica. Se discuten sus aplicaciones potenciales en la protección de ADN humano frente a la radiación y en el tratamiento de enfermedades humanas como el cáncer, así como en la conservación de material biológico, ofreciendo nuevas perspectivas para la medicina.

Palabras clave: Tardígrados; medicina; criptobiosis; proteínas.

Introducción

Los tardígrados (latín *tardus*: lento + *gradus*: paso, paso lento), llamados “osos de agua” (Figura 1), son animales invertebrados, microscópicos (<1mm) con hábitos acuáticos, que fueron descubiertos en 1773 por el naturalista alemán Johann August Ephraim Goeze. El cuerpo de los tardígrados es cilíndrico, segmentado, cubierto de cutícula con quitina que se muda periódicamente, tienen cuatro pares de patas en forma ancha y globosa, con uñas; su boca está adaptada para absorber, por lo que se alimentan de líquidos vegetales y jugos de nemátodos, rotíferos y otros diminutos animales.



Figura 1: Tardígrado. Foto tomada por Alba Dueñas y Yocelin Sánchez.

Pertenecen al filo Tardigrada que cuenta con 1, 488 especies y se divide en dos principales clases, Heterotardigrada y Eutardigrada. La diferencia entre la clase Heterotardigrada y Eutardigrada radica en que los heterotardígrados tienen clavos y cirros cefálicos, cutícula con placas dorsales y patas retráctiles con cuatro a 13 garras simples terminadas en uñas o en discos adhesivos; mientras que los eutardígrados no poseen placas dorsales, y tienen las patas no retractiles con cuatro garras fusionadas formando diplogarras (término usado en la morfología y taxonomía de tardígrados. Se refiere a la fusión de las garras en su base, formando diplogarras). Existe una tercera clase denominada Mesotardigrada que solo cuenta con una especie descrita en Japón (*Thermozodium esakii*), sin embargo, debido a eventos sísmicos, los ejemplares tipo de la especie desaparecieron y hasta la fecha no han sido encontrados otros individuos de la especie. Los tardígrados se encuentran en los musgos, líquenes, suelos húmedos, cuerpos de agua dulce y de agua salada. Dentro de los ecosistemas actúan como controladores de poblaciones de otros organismos y son bioindicadores ambientales. Lo más extraordinario de estos animales es su capacidad para sobrevivir en condiciones extremas, como altas y bajas temperaturas, alta radiación, altas presiones y desecación completa (Lagos-Tobías *et al.*, 2013).

Los tardígrados han sido un foco de estudio dentro de la medicina por su gran capacidad de bajar su tasa metabólica a casi un punto muerto (criptobiosis) para su supervivencia y por sus proteínas especializadas para su protección contra la radiación; su estudio renueva la medicina actual dentro del cuidado del ADN, el envejecimiento, enfermedades malignas como el cáncer, preservación de material biológico para trasplantes o vacunas e incluso aplicaciones para la resistencia espacial. Dada la importancia de los tardígrados en este tópico, el objetivo del presente trabajo fue efectuar una revisión sobre las aplicaciones que tienen estos increíbles animales en el área de la medicina.

PROTECCIÓN Y REPARACIÓN DEL ADN

Como se mencionó anteriormente, los tardígrados tienen la extraordinaria capacidad de resistir a ambientes o condiciones adversas, como los altos niveles de radiación, pero ¿qué les permite resistir a dichas condiciones? De acuerdo con estudios recientes, se sabe que los tardígrados cuentan con proteínas especializadas que le confieren protección. La más renombrada, es la proteína que se encontró en la secuenciación del genoma de la especie *Ramazzottius varieornatus* Bertolani & Kinchin, 1993 denominada Proteína Supresora de Daños (Dsup por sus siglas en inglés). Esta proteína contiene una alta flexibilidad y proporción de aminoácidos mayormente con carga positiva y crea una capa protectora alrededor del ADN del tardígrado reduciendo significativamente el daño que pueda presentar por factores

estresantes (Chavez *et al.*, 2019). Mínguez-Toral *et al.*, (2020) obtuvieron una imagen dinámica de la interacción de Dsup con el ADN mediante experimentos computacionales con modelos moleculares, cálculos de potenciales electrostáticos, campos eléctricos y simulaciones de la dinámica molecular de todos los átomos, concluyendo que la proteína Dsup está intrínsecamente desordenada, aunque Rolsma *et al.*, (2024) al hacer estudios de cristalografía (formas que toman los cuerpos al cristalizarse) de rayos X han encontrado estructuras ordenadas en al menos un solo caso. La estructura intrínsecamente desordenada permite adaptar su estructura para ajustarse al ADN del tardígrado, es decir, se unen a lugares de alta afinidad (alta fuerza de atracción) en los nucleosomas sin importar la secuencia de ADN (Figura 2).

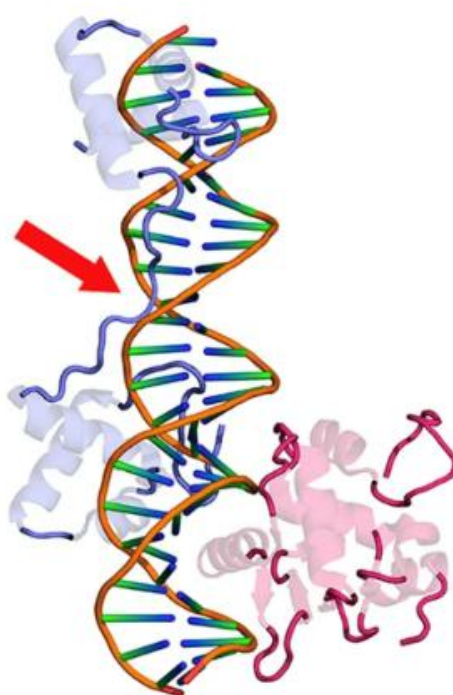


Figura 2: Unión de la proteína Dsup a la secuencia de ADN. La flecha roja señala el segmento desordenado particularmente largo que se adapta a la estructura del ADN (Mínguez-Toral *et al.*, 2020).

Asimismo, se demostró que los efectos electrostáticos (transferencia de electrones de un átomo a otro) son fuertes y juegan un papel importante en la unión de la proteína Dsup con el ADN, por lo que esta proteína tiene una asociación de tipo blindaje con el ADN. Klomchitcharoen *et al.*, (2022) mencionan que, en células renales embrionarias humanas se ha comprobado que al añadir Dsup, mejoraron significativamente la viabilidad celular y redujeron las roturas de la cadena de ADN después de la irradiación con rayos X. Esto se debe a que la similitud de las secuencias entre los genes Dsup y el dominio de unión al nucleosoma humano (estructura que se

forma cuando el ADN se enrolla) permite que la proteína Dsup proteja contra el daño al ADN causado por la radiación, evitando la fragmentación del ADN.

La radiación ultravioleta también puede causar daños al ADN, sobre todo cuando se expone a ella durante un largo tiempo. Puede ser responsable de daños moleculares en el ADN, principalmente de la formación de Dímeros de Pirimidina de Ciclobutano (CPD por sus siglas en inglés); este daño se debe a que dos nucleótidos de pirimidinas (ácidos nucleicos, citosina y timina) se unen de forma anormal, formando un anillo de ciclobutano (compuesto orgánico) y es responsable de algunos cánceres de piel y melanoma. Al respecto, Ricci *et al.*, (2021) mencionan que al incluir Dsup en cultivos de células humanas, estas no formaron dímeros de pirimidina de ciclobutano cuando se expusieron a alta radiación de luz ultravioleta, de igual forma se observó una reducción de la muerte celular y un aumento de la supervivencia. De igual manera, Shaba *et al.*, (2023) ha demostrado que la proteína Dsup, en las células humanas transfectadas (incluir material genético de Dsup en células humanas), media la protección celular contra los rayos ultravioleta que dañan los telómeros (extremo del cromosoma), y contribuyen a la inestabilidad genética y aceleran la muerte celular por apoptosis (muerte celular programada); la proteína Dsup protege a la célula contra la radiación

ultravioleta al activar mecanismos más eficientes de reparación de daño del ADN, estabilidad del ARN mensajero, elongación y mantenimiento de los telómeros. Adicionalmente, se ha encontrado que la proteína Dsup del tardígrado *Ramazzottius varieornatus* y el ortólogo (genes homólogos) de Dsup encontrado en el tardígrado *Hypsibius exemplaris* Gąsiorek, Stec, Morek & Michalczyk, 2018, protegen la cromatina (líquido portador de ADN y proteínas) de los radicales hidroxilo. Cabe señalar que los radicales hidroxilo, mejor conocidos como radicales libres, son moléculas de alta reactividad, por lo que tienen efectos severos en los organismos, como la generación de cáncer, diabetes mellitus, psoriasis, aterosclerosis, etc. Lo más interesante y sorprendente de esto, es según Chavez *et al.*, (2019) que una región conservada en las proteínas Dsup de los tardígrados, exhibe una similitud de secuencia con el dominio de unión a nucleosomas de las Proteínas de Unión a Nucleosomas del Grupo de Alta Movilidad (HMG-N por sus siglas en inglés) de vertebrados (incluyendo los seres humanos) y es funcionalmente importante para la unión a nucleosomas y la protección de radicales hidroxilo. Esto podría ayudar a los especialistas a desarrollar células animales que puedan vivir más tiempo en condiciones ambientales normales o extremas.

Por otro lado, la proteína Dsup ha sido utilizada en la medicina espacial para proteger las células de la radiación

ionizante. La radiación ionizante es un tipo de energía que comprende los rayos X, los rayos gamma y parte del espectro electromagnético ultravioleta, la cual se ha convertido en el riesgo más peligroso para la salud humana cuando se efectúa exploración espacial a largo plazo, debido a que puede causar pérdida de cabello, quemaduras por radiación, síndrome de radiación aguda, hematopoyesis deteriorada, alteraciones gastrointestinales, síndrome cerebrovascular, cáncer o enfermedad cardiovascular, además de inducir daños cromosómicos y cambios epigenéticos. Considerando la información anterior y con fines de aplicación en la medicina espacial, se encuentra en proceso la misión “MINERVA,” que, de acuerdo a Klomchitcharoen *et al.*, (2022), consiste en transferir proteínas Dsup del tardígrado *Ramazzottius varieornatus* a *Caenorhabditis elegans* Maupas, 1900 (Figura 3), un nematodo perteneciente a la familia Rhabditidae que contiene hasta un 83% de genes homólogos humanos; se optó por la proteína Dsup ya que se ha comprobado que evita la fragmentación del ADN y por su semejanza de las secuencias entre los genes Dsup y el dominio de unión al nucleosoma humano. La transferencia de Dsup se realizará amplificando la secuencia del gen Dsup a través del método de Clonación de Reacción en Cadena Polimerasa (PCR), y se transferirá por microinyección. Una vez modificado el organismo, se planeó enviar un satélite (Figura 4) al espacio

con biosensores capaces de sustentar y cultivar *C. elegans* en condiciones ambientales espaciales durante cuatro meses. Esta misión tiene el objetivo de utilizar tecnología espacial para poner a prueba la efectividad de la proteína Dsup de tardígrados para inhibir el daño del ADN contra la exposición a la radiación del espacio profundo mediante el uso de modificación genética. Y de esta manera, propiciar que sea utilizada en el ser humano para que resista mayor tiempo en el espacio sin dañar su salud e incluso considerar la posible colonización de Marte.

TARDÍGRADOS Y PADECIMIENTOS HUMANOS

La regeneración de los tejidos ha sido un reto en la medicina, tópico dentro del cual los tardígrados ocupan un papel importante dado que mantienen sus tejidos vivos mientras están en criptobiosis. En humanos, la medicina regenerativa ha utilizado a las células madre derivadas de tejido adiposo (ASC por sus siglas en inglés) en tejidos enfermos, dañados, avasculares y envejecidos, dado que son fáciles de extraer del tejido adiposo. Sin embargo, su potencial regenerativo ha sido afectado por condiciones estresantes durante su aplicación, por ejemplo, para su crio preservación se ha utilizado el enfriamiento lento, lo que ha causado deshidratación celular; mientras que el uso del Crioprotector Dimetilsulfóxido (DMSO por sus siglas en inglés) (compuesto químico ampliamente



Figura 3: Nematodo *Caenorhabditis elegans* (tomado de Mayoral-Peña *et al.*, 2017).



Figura 4: Diseño de satélite para la misión Minerva (tomado de Klomchitcharoen *et al.*, 2022).

utilizado como crioprotector), ha causado convulsiones, hipertensión cardíaca y reacciones alérgicas graves en pacientes que reciben terapias con células madre.

Por otro lado, el injerto de células madre por inyección es un método de tratamiento común para la regeneración de tejidos, pero se ha comprobado que este método disminuye la viabilidad celular debido al esfuerzo cortante, lo que provoca daño a la membrana, lisis

celular, cambios en la morfología y apoptosis (muerte celular programada) (Rolsma *et al.*, 2024).

Considerando estos ejemplos de condiciones estresantes para las células madre humanas, la modificación genética de proteínas derivadas de tardígrados en estas células permitiría una solución para volverlas más resistentes al estrés en su aplicación, además de que es un campo en

crecimiento para la regeneración de tejidos. Contemplando esta solución, recientemente se realizó una experimentación por Rolsma *et al.*, (2024) con la Proteína Mitocondrial Soluble en calor (MAHS) (encargada de proteger las mitocondrias del tardígrado en condiciones de sequía), para mejorar la resistencia de las células madre en humanos, dando como resultado que las células madre a las que se le añadió MAHS demostraron tener el 61% más de supervivencia celular después de 72 horas de incubación. Además, se mejoró la viabilidad celular hasta un 39%. Estos resultados revelan una gran oportunidad de la mejora de las células madre dentro de la medicina regenerativa.

De igual forma, Hashimoto *et al.*, (2016) mencionó que al exponer células humanas a las que se le añadió la proteína Dsup presente en el tardígrado *Ramazzottius variornatus*, a altos niveles de radiación, conservaban su morfología normal, gracias a que Dsup generaba la sobreexpresión de genes reparadores de ADN (XRCC6, ERCC6, ATR y BRCA1). Por otro lado, al cultivar células humanas y añadir la proteína Dsup, y posteriormente irradiarlas con rayos X, las células humanas, redujeron a la mitad la ruptura del material genético (comparadas con células no tratadas con Dsup), lo cual tiene gran potencial en el combate de algunas enfermedades como el cáncer. Por estas razones, Dsup podría ser una opción para ser utilizada en personas con cáncer que tienen que ser sometidas a quimioterapia; además, también podría emplearse para radiografías o cualquier tratamiento que tenga que ver con la aplicación de radiaciones. Por último, las células humanas cultivadas con adonimientu de la proteína Dsup también fueron expuestas a peróxido

de hidrógeno, un tipo de Especies Reactivas de Oxígeno (ROS por sus siglas en inglés), que se definen como moléculas con oxígeno que se producen en el metabolismo celular; los ROS son moléculas inestables y reaccionan fácilmente con otras moléculas. Por esta razón los ROS son peligrosos ya que su acumulación en la célula puede dañar el ADN, ARN y proteínas, causando muerte celular, también son responsables de enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer, Parkinson y Huntington. Las células humanas con Dsup al ser expuestas a peróxido de hidrógeno redujeron de manera significativa la fragmentación del ADN, por lo que se concluyó que Dsup tiene la capacidad de proteger a las células contra los ROS.

Considerando la información anterior, el “estrés oxidante” que se produce cuando hay un desequilibrio entre la producción de radicales libres y los mecanismos antioxidantes, causando diferentes enfermedades humanas como la diabetes, trastornos neurológicos, enfermedades cardiovasculares y el cáncer, podrían reducirse con la transfección de Dsup en células humanas, y, por ende, ayudaría a disminuir el desarrollo de las enfermedades mencionadas.

PRESERVACIÓN DE MATERIAL BIOLÓGICO

La capacidad de los tardígrados de preservarse durante condiciones ambientales no favorables como la sequía, radiación extrema, falta de oxígeno, etc. ha sido un foco relevante de investigación dentro de la ciencia. Esta capacidad llamada Criptobiosis fue definida en 1959 por el naturalista y bioquímico David Keilin como el estado de un organismo cuando no tiene signos de vida visibles y cuando su actividad metabólica es difícilmente mensurable

o viene reversible de un punto muerto. Esto ocurre gracias a la síntesis de dos azúcares, la trehalosa y la sacarosa que, durante las condiciones ambientales adversas, se transforman en cristales amorfos que protegen a la célula y detienen sus procesos metabólicos. También es importante señalar que los tardígrados tienen diferentes tipos de criptobiosis, anhidrobiosis (deseccación), criobiosis (congelación), anoxibiosis (falta de oxígeno) y osmobiosis (alta concentración osmótica) (Lagos-Tobías *et al.*, 2013).

Se han descubierto ciertas familias de proteínas en tardígrados, que están asociadas con los diferentes tipos de criptobiosis en tardígrados. Se denominan “Proteínas Desordenadas de Tardígrados” (TDP, por sus siglas en inglés), que incluyen a las proteínas solubles en calor abundantes en el citoplasma (CAHS), secretadas (SAHS) y mitocondriales (MAHS). Por la importancia de estas proteínas en la criptobiosis, se están implementando en la conservación de vacunas, como la de ARNm que necesita temperaturas muy bajas para su almacenamiento. Además, considerando que la conservación de fármacos y el trasplante de órganos

requieren de temperaturas frías constantes, y que los métodos que se utilizan actualmente conllevan un gasto económico y una infraestructura considerable, mediante las proteínas TDP se está buscando almacenar y transportar dichos compuestos biológicos de forma segura (Packebush *et al.*, 2023).

Particularmente, la anhidrobiosis (Figura 5) ha sido motivo de estudio como punto de partida en el desarrollo de una tecnología de almacenamiento en seco, donde actualmente el método más utilizado es el almacenamiento en frío conocido como cadena de frío, el cual es un sistema de refrigeradores que se utiliza durante la producción, el transporte y el almacenamiento de los productos biológicos. En este procedimiento, se busca reducir el movimiento molecular y minimizar la cristalización durante esta cadena de frío, y congruente a esta lógica la anhidrobiosis es un modelo ideal para permitir el mantenimiento de los productos biológicos en un estado desecado no solo a temperatura ambiente sino también a temperaturas elevadas, que evitaría daños en los productos biológicos.

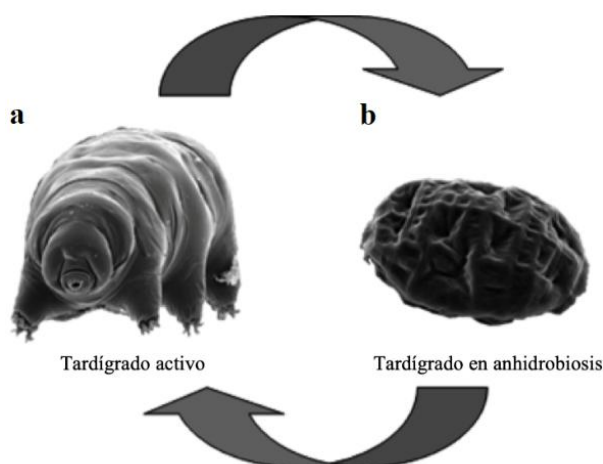


Figura 5: Cambio de estado entre un tardígrado activo y uno en estado anhidrobiótico.

Para la aplicación de la anhidrobiosis en preservación de productos biológicos, Packebush *et al.*, (2023) están recurriendo a las llamadas “Proteínas Solubles en Calor Abundantes en el Citoplasma” (CAHS por sus siglas en inglés) del tardígrado *Hypsibius exemplaris*, para aumentar la vida útil del factor VIII de coagulación sanguínea humana (proteína que ayuda a la sangre a coagular y se produce en el hígado, conocido como factor antihemofílico A). El factor VIII es importante porque aparte de que es un componente esencial en la coagulación sanguínea, además tiene aplicaciones terapéuticas en el tratamiento de enfermedades genéticas (por ejemplo, hemofilia A, que afecta a 1 de cada 5000 hombres), hasta casos de trauma físico extremo. Actualmente uno de los métodos para la conservación de productos biológicos como el factor VIII es el estado en seco, consiste en eliminar toda la humedad con altas temperaturas. La integración de CAHS como nuevo método de conservación para FVIII puede permitir el almacenamiento no solo a temperatura ambiente sino también a temperaturas elevadas, ya que las proteínas CAHS formen geles que ralentizan la difusión, evitando que las proteínas sensibles a la desecación sean no funcionales durante la desecación y tras la rehidratación. A medida que estos geles protectores se deshidratan, permanecen amorfos, formando una matriz solidificada no cristalina en la que las proteínas sensibles a la desecación están

incrustadas y protegidas de los efectos nocivos del criptobioseado. Esto ayudará al despliegue del factor VIII que salva vidas en entornos remotos (por ejemplo, misiones espaciales), subdesarrollados (por ejemplo, clínicas que carecen de electricidad) y austeros (por ejemplo, campos de batalla o áreas que experimentan desastres naturales), así como también brindar a los usuarios domésticos en regiones más desarrolladas una opción alternativa para un almacenamiento más seguro y confiable, incluso a temperaturas superiores a 30 °C.

Por último, los tardígrados cuentan con otras proteínas especializadas llamadas “Proteínas Abundantes en la Embriogénesis Tardía” (LEA por sus siglas en inglés), que les ayudan a soportar la desecación. Estas proteínas también pueden ser utilizada para conservar materiales biológicos, ya que la unión de las proteínas LEA con la membrana celular es reversible, lo cual ayuda a proteger la membrana en estados secos sin influir en sus funciones y ayuda a las células a restablecer su estructura y función después de ser hidratadas. Por lo tanto, estas proteínas podrían ayudar a la conservación de células.

CONCLUSIONES

Los tardígrados cuentan con características sorprendentes, que les confiere ser una fuente de inspiración en el campo de la medicina. Sus mecanismos de tolerancia al estrés,

especialmente la criptobiosis, ofrecen oportunidades para el desarrollo de terapias innovadoras en tratamientos de enfermedades como el cáncer, así como para la conservación de material biológico como vacunas, medicamentos y órganos para trasplantes. La proteína Dsup es un gran elemento, con un gran potencial para la protección celular, que podría abrir caminos para aplicaciones en oncología y biotecnología.

Es importante mencionar que el estudio de la aplicación de los tardígrados en la medicina está en etapas iniciales y falta mucho camino por recorrer; por esta razón, es crucial fomentar estudios interdisciplinarios que permitan explorar a aspectos básicos de la biología de estos organismos y traducir el conocimiento del grupo en avances médicos tangibles. Con esto, los tardígrados serían clave para el progreso científico y el bienestar humano.

Referencias

- [1] Chavez, C., Cruz-Becerra, G., Fei, J., Kassavetis, G.A. y Kadonaga, J.T., The tardigrade damage suppressor protein binds to nucleosomes and protects DNA from hydroxyl radicals, *eLife*, 8:e47682, 2019. <https://doi.org/10.7554/eLife.47682>
- [2] Hashimoto, T., Horikawa, D. D., Saito, Y., Kuwahara, H., Kozuka-Hata, H., Shin-i, T., Minakuchi, Y., Ohishi, K., Motoyama, A., Aizu, T., Enomoto, A., Kondo, K., Tanaka, S., Hara, Y., Koshikawa, S., Sagara, H., Miura, T., Yokobori, S., Miyagawa, K., Suzuki, Y., Kubo, T., Oyama, M., Kohara, Y., Fujiyama, A., Arakawa, K., Katayama, T., Toyoda, A. y Kunieda, T., Extremotolerant tardigrade genome and improved radiotolerance of human cultured cells by tardigrade-unique protein. *Nat. Commun.*, 7[1]:12808, 2016. <https://doi.org/10.1038/ncomms12808>
- [3] Klomchitcharoen, S., Tangwattanasirikun, T., Gallup, S., Smerwong, N., Arunwiriakit, P., Tachavises, P., Tangkijngamwong, J., Phatthanaanukun, P., Jirapanyalerd, B., Chattanupakorn, S., Rungpongvanich, V., Nangsue, N., Meemon, K., Wongtrakoonkate, P., Hongeng, S. y Wongsawat, Y., MINERVA: A CubeSat for demonstrating DNA damage mitigation against space radiation in *C. elegans* by using genetic modification., *Heliyon*, 8[8]:e10267, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10267>
- [4] Lagos-Tobías, A. M., Daza, A., Sánchez, C., León, M. V., Caicedo, M., Londoño, M. y Quiroga, S. Ositos de agua: Phylum tardigrada, *Infozoa, Bol. de Zool.*, [2], pp. 1-16, 2013.
- [5] Mayoral-Peña, Z., Piña-Vazquez, D. M., Gómez-Sánchez, M., Salazar-Olivo, L. A., Aguilar-Tipacamú, G., y Arellano-Carbajal, F., El nematodo *Caenorhabditis elegans* como modelo para evaluar el potencial antihelmíntico de extractos de plantas. *Rev. Mex. de Cienc. Pec.*, 8[3], pp. 279-289, 2017.
- [6] Mínguez-Toral, M., Cuevas-Zuviría, B., Garrido-Arandia, M. y Pacios, L.F., A computational structural study on the DNA-protecting role of the tardigrade-unique Dsup protein, *Sci. Rep.*, 10[1]:13424, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70431-1>
- [7] Packebush, M.H. Sanchez-Martinez, S., Biswas,

- S., KC, S., Nguyen, K.H., Ramírez, J. F., Nicholson, V. y Boothby, T. C., Natural and engineered mediators of desiccation tolerance stabilize Human Blood Clotting Factor VIII in a dry state, *Sci. Rep.*, 13[1]:4542, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31586-9>
- [8] Ricci, C., Riolo, G., Marzocchi, C., Brunetti, J., Pini, A., y Cantara, S., The tardigrade damage suppressor protein modulates transcription factor and DNA repair genes in human cells treated with hydroxyl radicals and UV-C, *Biol.*, 10[10]:970, 2021. <https://doi.org/10.3390/biology10100970>
- [9] Rolsma, J.L., Darch, W., Higgins, N.C. y Morgan, J. T., The tardigrade-derived mitochondrial abundant heat soluble protein improves adipose-derived stem cell survival against representative stressors, *Sci. Rep.*, 14:11834, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62693-w>
- [10] Shaba, E., Landi, C., Marzocchi, C., Vantaggiato, L., Bini, L., Ricci, C. y Cantara, S., Proteomics Reveals How the Tardigrade Damage Suppressor Protein Teaches Transfected Human Cells to SurvV-C Stress, *Int. J. Mol. Sci.*, 24[14]:11463, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms241411463>

**POSIBLES EFECTOS DE LOS
DESECHOS DE GRANJAS
AVÍCOLAS EN LA CALIDAD
DEL AGUA DE LOS RÍOS DE
LA MICROCUENCA DE PASO
DE OVEJAS, VERACRUZ.**

Dr. Mario Torres Becerril

Dr. Gustavo López Romero

Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

Abstract

The water is a resource of significant importance and of primary need for human beings. However, some human-caused processes can influence water quality. One of the activities that could affect the water quality of rivers and streams are poultry farms. Currently, in the Paso de Ovejas micro-watershed region between the communities of Angostillo and Xocotitla, poultry farms have been under construction. Therefore, the objective of this work is to present the possible effects that bee farms could have on the water quality of the Paso de Ovejas, Veracruz micro-watershed. of Paso de Ovejas, Veracruz. It was found that among the pollutants generated by a poultry farm include animal carcasses, plastic packaging and, in some cases, chicken manure or manure runoff, as well as other types of products such as agrochemicals, disinfectants and veterinary medicines, which could also affect the quality of the soil and ecosystems. For this reason, the government must carry out periodic inspections of these establishments to verify these establishments comply with the requirements of the standard.

Keywords: water quality, poultry, poultry farming, contamination.

Resumen

El agua es un recurso de gran importancia y de primera necesidad para el ser humano. Sin embargo, algunos procesos causados por el ser humano pueden influir en la calidad del agua. Una de las actividades podría afectar la calidad del agua de los ríos y arroyos, se encuentran las granjas avícolas. Actualmente, en la región de la microcuenca de Paso de Ovejas entre las comunidades de Angostillo y Xocotitla se han estado construyendo este tipo

de granjas. Por lo que el objetivo del trabajo es presentar los posibles efectos que podrían tener las granjas apícolas en la calidad del agua de la microcuenca de Paso de Ovejas, Veracruz. Se encontró, que entre los contaminantes que generan una granja avícola se encuentran cadáveres de animales, empaques de plástico y en algunos casos escurrimiento de gallinaza o estiércol, además de otro tipo de productos como agroquímicos, desinfectantes y medicamentos veterinarios, que también podrían afectar en la calidad del suelo y los ecosistemas. Es por esto, que el gobierno debe realizar inspecciones periódicas en estos establecimientos para verificar que cumplan con los requerimientos conforme a la norma.

Palabras clave: calidad del agua, pollo, avicultura, contaminación.

Introducción

Como es bien sabido, el agua es un recurso de gran importancia y de primera necesidad para el ser humano. A nivel mundial, ha sido importante abastecer de agua a la población y que además posea una calidad adecuada, esto quiere decir, que pueda ser consumida sin tener efectos nocivos a la salud. Algunos procesos naturales y otros más causados por el ser humano, pueden influir en gran medida con la calidad del agua subterránea (Pantelic *et al.*, 2017).

En la actualidad, la calidad del agua se ha vuelto un tema de vital importancia, ya con el propósito que la población tenga acceso a agua libre de contaminantes. Sin embargo, la actividad industrial, el aumento de las áreas urbanas; y el aumento de la población ha afectado de manera negativa la calidad del agua. Si la calidad del agua no es adecuada

podría afectar diversas actividades de subsistencia como la agricultura, ya que, si el agua no cumple con las características adecuadas, el agua podría afectar a las plantas, el suelo y otros elementos.

Entre las actividades que también podrían afectar la calidad del agua de los ríos y arroyos, se encuentran las granjas a gran escala, como las avícolas. Una granja avícola es un establecimiento agropecuario para la cría de aves de corral tales como pollos, patos, gansos entre otros, con el propósito de usarlos como alimento que será vendido a la población.

Este tipo de granjas genera de forma considerable emisiones, vertimientos y desechos afectando negativamente al medioambiente, principalmente al agua, por su incorporación de estos contaminantes en ríos, arroyos y lagunas. Actualmente, en la región que forma la microcuenca de Paso de Ovejas en el transecto que esta entre las

comunidades de Angostillo y Xocotitla se han estado construyendo este tipo de granjas a gran escala. Por lo que el objetivo del presente trabajo es presentar los posibles efectos que podrían tener las granjas apícolas en la calidad del agua de la microcuenca de Paso de Ovejas, Veracruz.

Granjas avícolas

La Avicultura se define como rama de la Zootecnia que estudia la producción intensiva de aves, controlando todos los factores que pueden incidir en ella. Esta actividad genera miles de empleos directos, participa dentro del PIB nacional, donde estima un crecimiento del 1.6% para el año 2024, lo cual se traduce a una producción de 3.9 millones de toneladas métricas (MMT). A nivel mundial, actualmente México el sexto mayor productor de carne de pollo y satisface cerca del 80% del consumo nacional, teniendo un aumento del 30% en los últimos 10 años (figura 1).

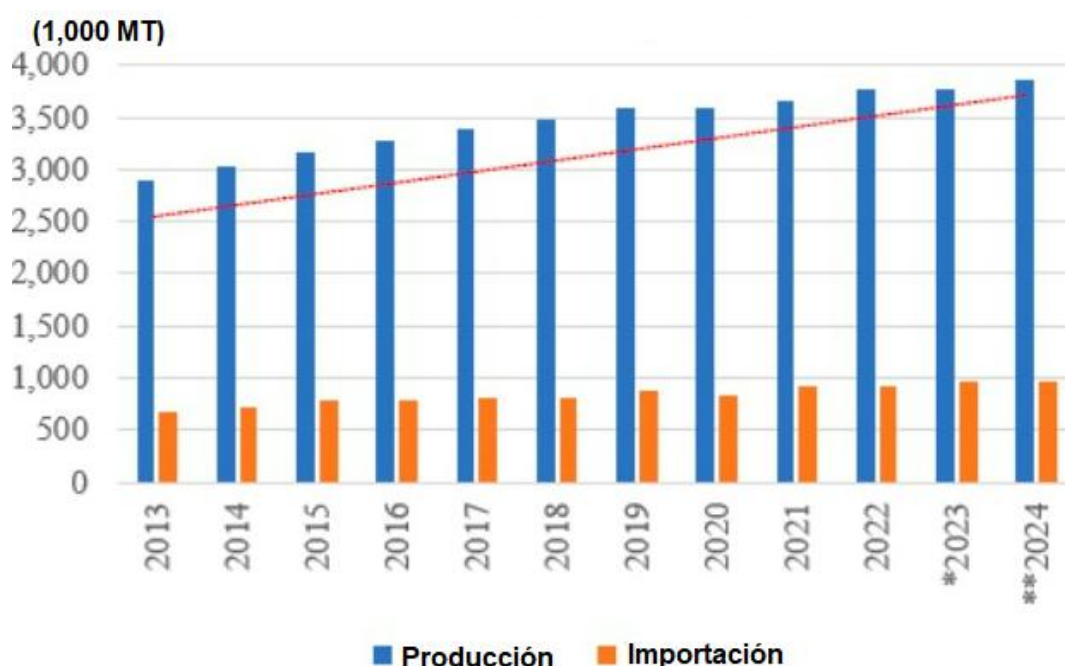


Figura 1: Producción nacional anual de carne de pollo en los últimos 10 años.

En cuanto al consumo, México es el quinto mayor consumidor de pollo a nivel mundial y la demanda sigue creciendo año con año. Además, la carne de pollo es la proteína más consumida a nivel nacional, teniendo un consumo per cápita de 30-40 kg al año.

La Avicultura varía dependiendo del tipo de especie de ave que se cría y el propósito o uso que se le dará. La engorda de pollos se encuentra dentro de esta sub-división y es la actividad en la que se basa este estudio. Las granjas de engorda han sido establecidas por grandes empresas tales como Bachoco,

Proan y Gena.

A pesar de que estas granjas ayudan a la generación de pollo para satisfacer la alimentación de la población, estas presentan muchos problemas donde se establecen. Muchas de estas granjas incumplen con la normativa ambiental, muchas no cuentan con los permisos y licencias necesarios, tampoco con concesiones ni registros. Por ejemplo, la Organización Igualdad Animal México en el año ha presentado denuncias contra 44 granjas por daños al medio ambiente y desequilibrio ecológico.



Figura 2: Daño ecológico provocado por granjas avícolas.

Entre los daños al medio ambiente se encuentran elevación de los niveles de gases de efecto invernadero (Nitrógeno, Fosforo y Azufre), que se formaban de los excesos de excremento que se depositan en contenedores y depósitos. También contaminación del agua por la descarga de desechos a ríos y arroyos.

Recientemente, en el transecto que se encuentra entre las comunidades de

Angostillo y Xocotitla, se han establecido este tipo de granjas a gran escala. Es de gran preocupación este tipo de granjas, principalmente por los ríos que forman parte de la microcuenca de Paso de Ovejas, ya que como se mencionó este tipo de asentamientos arroja los contaminantes que genera al agua y esto afectaría a las poblaciones ya mencionadas.

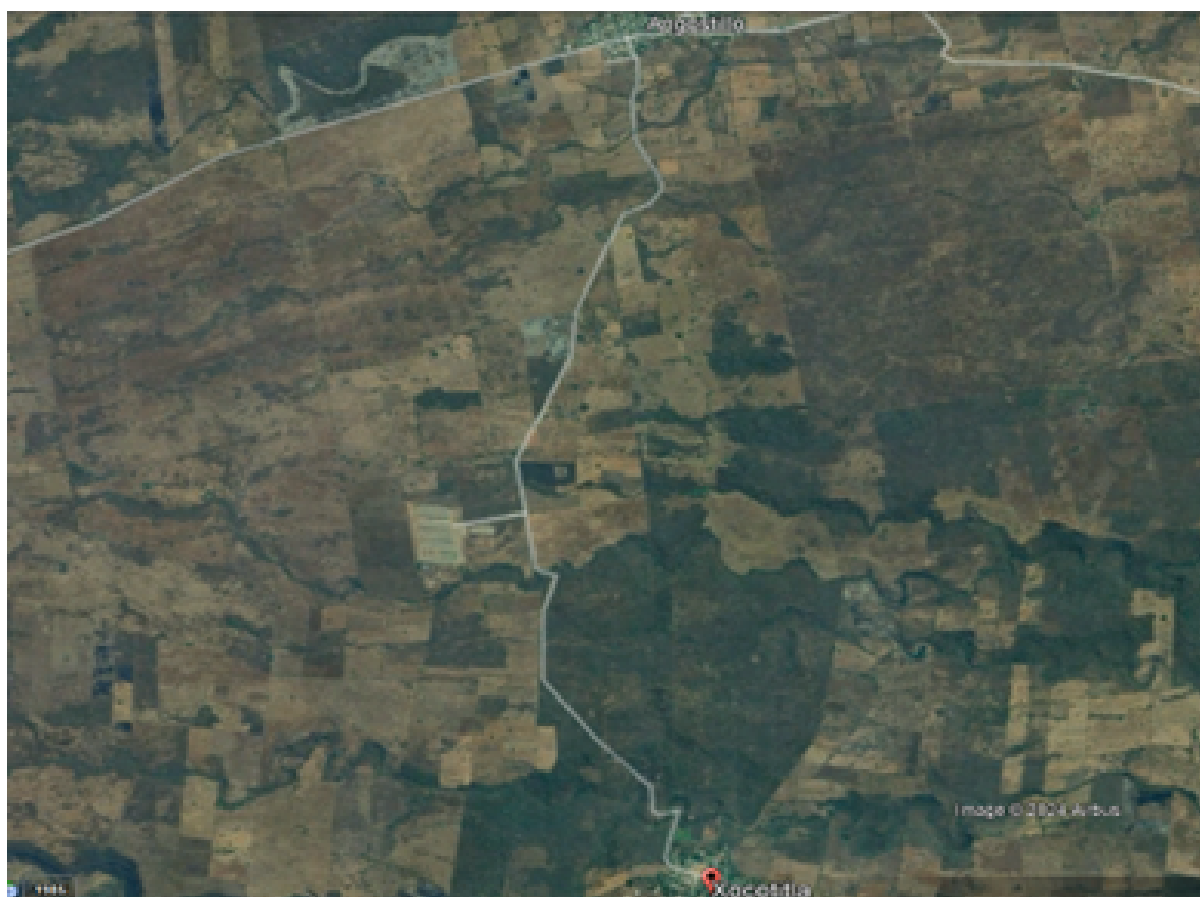


Figura 3: Mapa de la región.

Entre los contaminantes que generan una granja avícola que podrían ocasionar daños a los ríos u otras fuentes de agua se encuentran cadáveres de animales, empaques de plástico y en algunos casos escurrimiento de gallinaza o estiércol, además de otro tipo de productos como agroquímicos, desinfectantes y medicamentos veterinarios (Sanmiguel, 2014).

Hay que mencionar, que esta

contaminación no solo sería al agua ya que esta podría afectar al suelo y a otro tipo de ecosistemas. En el caso del suelo, se pueden escurrir productos químicos, gallinaza u otros residuos por el cauce del agua provocando contaminación en estos. Mientras que, en los ecosistemas por la volatilización del Nitrógeno a la atmósfera en forma de amoníaco, produciendo olores desagradables que afectan en la organización de los ecosistemas.



Figura 4: Acercamiento de la granja de la región.

Como se ha venido mencionando este tipo de desechos no solo afectan a la calidad del agua, sino que también a otros elementos que se encuentren cerca del agua, además, que afectan a las actividades productivas de la región tales como la agricultura y ganadería. También este tipo de contaminantes afectan a la salud del ser humano ya que la acumulación de estos desechos puede causar la transmisión de *Salmonella*, *Lysteria* y *Brucellao campilobacter* (Hómez-Sanchez, 2004).

Es por estas razones y por los efectos negativos que estas granjas podrían causar al medio ambiente, a la productividad y a la población en general, que el gobierno debe realizar inspecciones periódicas con el objetivo de registrar que estos establecimientos para que cumplan con los requerimientos necesarios conforme a la norma. De igual manera se deben realizar análisis a el agua de la zona para verificar que no haya contaminación y futuros brotes de

infecciones y enfermedades.

Conclusiones

La avicultura es una de las actividades económicas más importantes del país ya que forma parte del producto interno bruto.

El pollo es la proteína de origen animal más consumida a nivel nacional teniendo un promedio de 40 kilos por persona al año.

Las granjas avícolas generan diversos contaminantes que afectan a los ecosistemas terrestres y acuáticos, afectando la calidad del agua y del suelo, además de afectar con las actividades de la zona.

La microcuenca de Paso de Ovejas es un recurso hídrico importante en la región, específicamente para los poblados de Angostillo y Xocotitla, ya que su principal actividad económica es la agricultura y la ganadería, por lo que es importante cuidar el agua y mantenerla libre de los contaminantes de los ríos.

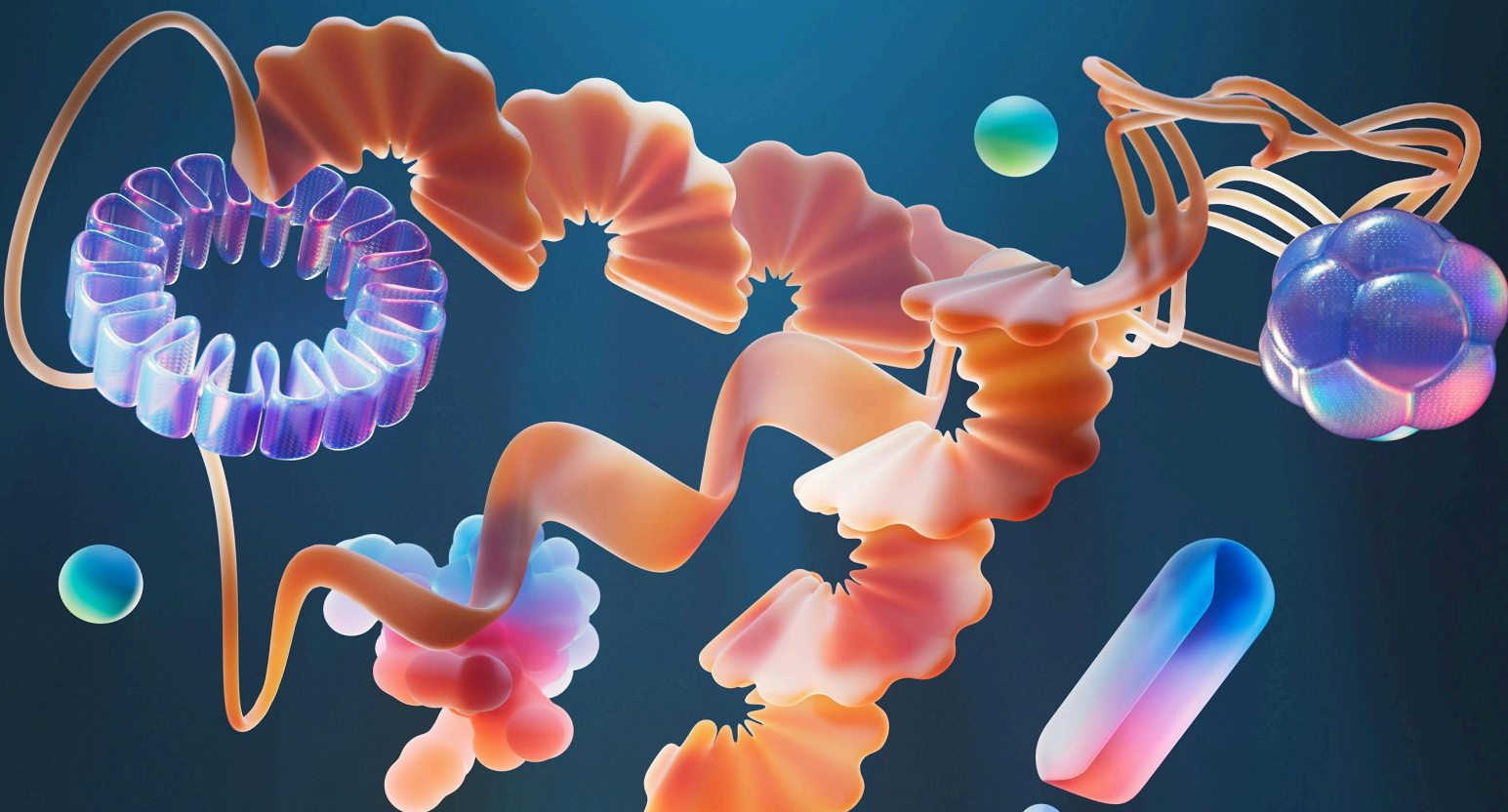
El gobierno debe establecer revisiones periódicas a las granjas para salvaguardar la calidad del agua y por

consiguiente de los suelos.

Literatura citada

- [1] El sitio avícola. <https://www.elsitioavicola.com/poultrynews/34470/produccion-comercio-y-consumo-avicola-de-maxico-para-2023-y-2024/>. Fecha de consulta: 16/05/24.
- [2] Hómez-Sánchez, J.O. (2014). *Formulación de un plan de buenas prácticas ambientales para la prevención, control y seguimiento de la generación de olores ofensivos en el subsector avícola* (Tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [3] Pantelic, N., Dramicanin, A.M., Milovanovic, D.B., Popovic-Dordevic, J.B., Kostic, A.Ž. (2017): Evaluation of the quality of drinking water in Rasina district, Serbia: physicochemical and bacteriological viewpoint, Rom. J. Phys., 62: 818.
- [4] Sanmiguel, P.R.A., Aguirre, P.W.J., Rondón, B.I.S. (2014). Perspectivas sobre el uso de sustancias húmicas en la producción aviar, Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 9(1), 104-113.

HDAC: LAS GUARDIANAS SILENCIOSAS DE LA EXPRESIÓN GÉNICA



Dra. Mayra Lozano Espinosa

CONAHCyT-Universidad Autónoma

Metropolitana Unidad Cuajimalpa. Departamento
de Ciencias Naturales.

Dr. Avelino Cortés Santiago

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Instituto de Ciencias, Posgrado en Dispositivos
Semiconductores.

Dr. Mauricio Pacio Castillo

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Instituto de Ciencias, Posgrado en Dispositivos
Semiconductores.

Abstract

Histone deacetylases (HDACs) are a group of enzymes that play a crucial role in regulating gene expression by modifying the structure of chromatin. They achieve this by removing acetyl groups from histone proteins, which are the proteins around which DNA is wrapped in the cell nucleus. This process is known as deacetylation.

Their activity is tightly regulated, and their dysregulation can contribute to diseases, making them significant targets for therapeutic intervention.

Keywords: Acetylation, Epigenetics, Gene regulation, Gene expression

Resumen

Las desacetilasas de histonas (HDACs) son un grupo de enzimas que desempeñan un papel crucial en la regulación de la expresión génica al modificar la estructura de la cromatina. Logran esto eliminando grupos acetilo de las proteínas histonas, que son las proteínas alrededor de las cuales el ADN está enrollado en el núcleo celular. Este proceso se conoce como desacetilación. Su actividad está estrictamente controlada, y su desregulación puede contribuir a enfermedades, lo que las convierte en objetivos significativos para la intervención terapéutica.

Palabras clave: acetilación, epigenética, regulación génica, expresión génica

Introducción

Un organismo contiene la información necesaria para la producción de

proteínas vitales para su supervivencia en su genoma. Esta información es heredada y se pasa de una generación a otra. En el material que una célula madre hereda a otra célula se deben considerar varios aspectos epigenéticos y no limitarlos únicamente a la secuencia de nucleótidos de sus genes.

La epigenética, en términos generales, incluye todos los procesos y mecanismos moleculares que afectan la regulación y expresión de los genes, y que, aunque no están codificados en la secuencia de ADN, se heredan entre generaciones. Entre los mecanismos de regulación epigenética más comunes en humanos y otros mamíferos se encuentran la metilación del ADN y, en particular, las modificaciones postraduccionales de las histonas asociadas al ADN, como la fosforilación, metilación y acetilación.

CLASIFICACIÓN DE LAS HDAC

El ADN en las células eucariotas está empaquetado en cromatina, un complejo de ADN y proteínas histonas. Las histonas pueden experimentar varias modificaciones postraduccionales, como acetilación, fosforilación y metilación, que afectan la expresión génica.

La acetilación de las histonas típicamente afloja la estructura de la cromatina, haciendo que el ADN sea más accesible para la transcripción, promoviendo así la expresión génica. Por el contrario, la desacetilación por las HDACs conduce a una estructura de cromatina más condensada, lo que reprime la expresión *génica*¹.

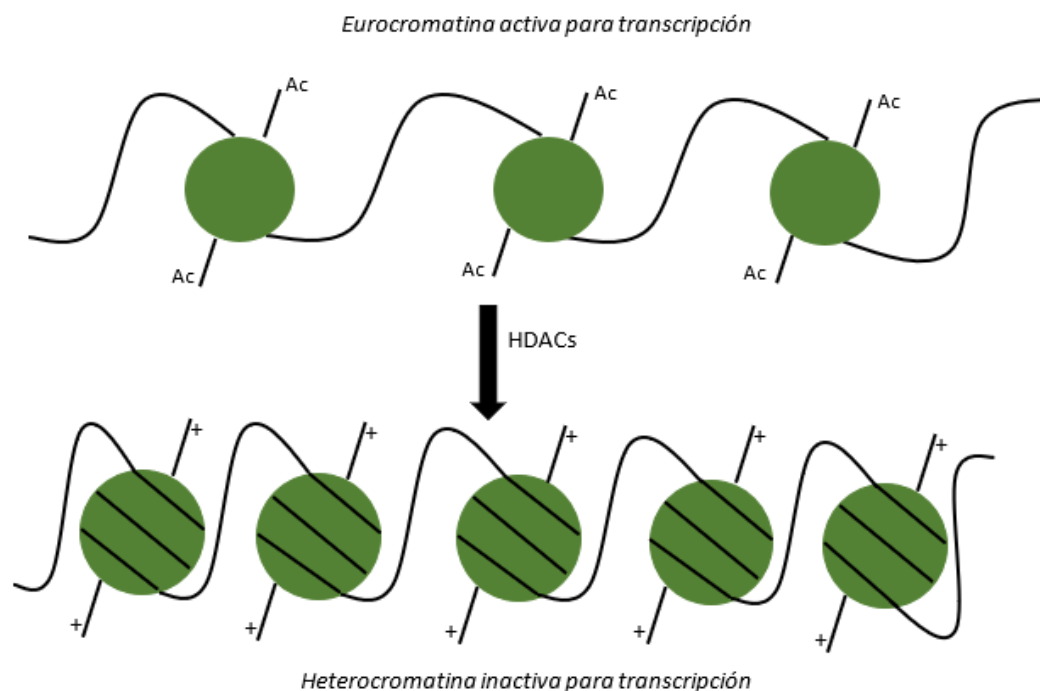


Figura 1: Regulación de la actividad transcripcional por la cromatina. La desacetilación de histonas induce el cierre de la cromatina y la acetilación induce una estructura de cromatina abierta.

Tabla 1. Clasificación de las HDAC: Miembros y Localización Subcelular

HDAC	Miembros	Localización Subcelular
Clase I	HDAC1 HDAC2 HDAC3 HDAC8	Principalmente en el núcleo
Clase IIa	HDAC4 HDAC5 HDAC7 HDAC9	Núcleo y citoplasma (translocación nucleocitoplasmática)
Clase IIb	HDAC6 HDAC10	Principalmente en el citoplasma
aClase III (Sirtuinas)	SIRT1 SIRT2 SIRT3 SIRT4 SIRT5 SIRT6 SIRT7	Núcleo, citoplasma y mitocondrias (dependiendo del miembro)
Clase IV	HDAC11	Núcleo y citoplasma

Las desacetilasas de histonas (HDACs) se clasifican en 2 familias basadas en la arquitectura de su dominio y la dependencia de cofactores: HDACs dependientes de Zn^{2+} y HDACs dependientes de dinucleótido de nicotinamida y adenina (NAD).

Las HDACs dependientes de NAD son mejor conocidas como la familia de proteínas sirtuinas. Las HDACs dependientes de Zn^{2+} , que son una parte clásica y significativa de la familia de HDAC, tienen funciones biológicas cruciales.

A partir de esta clasificación podemos encontrar cuatro clases principales, cada una cuenta con un conjunto de miembros y localizaciones subcelulares particulares, tal como se muestra en la *tabla 1*².

Además de conocer la localización subcelular y que miembros pertenecen a cada clase, a las HDACs mostradas en la *tabla I* también las podemos clasificar según su estructura y función.

Las desacetilasas de histonas de Clase I son enzimas fundamentales en la regulación de la expresión génica. Operan mediante la desacetilación de histonas, lo que condensa la estructura de la cromatina y disminuye la accesibilidad del ADN a la maquinaria de transcripción, reprimiendo así la expresión de genes. Estas enzimas están principalmente involucradas en procesos esenciales como el control del ciclo celular, la apoptosis y la diferenciación celular, todos ellos ocurren en el núcleo.

Estructuralmente, las HDAC Clase I poseen un dominio catalítico central altamente conservado, que incluye un sitio activo con iones de zinc indispensables para su actividad enzimática. Estas enzimas están localizadas en el núcleo celular y suelen estar asociadas a complejos multiprotéicos que les permiten dirigir su acción hacia la desacetilación de histonas y la regulación precisa de la expresión génica.

Las desacetilasas de histonas de Clase II son enzimas cruciales en la regulación de la expresión génica mediante la modificación de la estructura de la cromatina. Estas enzimas remueven grupos acetilo de las histonas, lo que genera una cromatina más condensada y reprime la transcripción génica. Aunque comparten esta función general con otras HDACs, las HDAC de Clase II tienen características estructurales y funcionales que las distinguen.

Además de regular la expresión génica, estas HDACs están involucradas en la translocación nucleocitoplasmática y la desacetilación de proteínas no histonas. Así mismo, esta clase de desacetilasas de histonas se encuentran relacionadas con varias enfermedades, incluidas el cáncer, enfermedades cardíacas y neurodegenerativas.

Las HDAC de Clase II se dividen en las subclases IIa y IIb. Las de la subclase IIa, poseen dominios regulatorios que les permiten moverse entre el núcleo y el citoplasma, facilitando su función en diferentes compartimentos celulares. Por otro lado, las HDAC de

Clase IIb, como HDAC6, contienen dos dominios catalíticos y se encuentran principalmente en el citoplasma, donde desacetilan proteínas no histonas, influyendo en la migración celular y la respuesta al estrés.

Las desacetilasas de histonas de Clase III, conocidas como sirtuinas (SIRT1-7), son un grupo especial de enzimas que se distinguen por su dependencia del NAD^+ para llevar a cabo su actividad desacetiladora. A diferencia de otras HDACs, las sirtuinas desacetilan no solo histonas, sino también una amplia variedad de proteínas no histonas, lo que las hace cruciales en la regulación de diversos procesos celulares. Estas enzimas desempeñan funciones clave en la regulación de la expresión génica, el metabolismo, la longevidad, la respuesta al estrés, y la regulación de la muerte celular. También están implicadas en la inflamación y el sistema inmune.

Las sirtuinas poseen un dominio catalítico central común, pero su diversidad estructural en los extremos N-terminal y C-terminal les permite localizarse en diferentes partes de la célula, como el núcleo, el citoplasma o las mitocondrias, lo que les confiere una variedad de funciones específicas.

Por su parte, HDAC11, es el único

miembro conocido de las desacetilasas de histonas de Clase IV, es una enzima que comparte propiedades con las HDACs de Clase I y Clase II, pero se distingue por sus funciones y características específicas.

Esta enzima está implicada en la regulación de la expresión génica, la modificación de proteínas no histonas, la regulación de la apoptosis, y en la función del sistema inmune y el metabolismo.

Estructuralmente, HDAC11 posee un dominio catalítico similar al de otras HDACs y cuenta con dominios adicionales que facilitan su interacción con otras proteínas y su localización dentro de la célula. HDAC11 se diferencia de otras HDACs por su regulación específica del sistema inmunológico, su implicación en el metabolismo lipídico, y su papel en la neuroprotección y la oncología, lo que lo convierte en una enzima clave en varios procesos celulares únicos.

La tabla 2 compara las características estructurales y funciones asociadas de las diferentes clases de HDAC, destacando su papel en la regulación de la expresión génica y otros procesos *celulares*³.

Tabla 2. Comparación de las características estructurales y funciones de las HDAC

Clase de HDAC		Características Estructurales	Función Principal	Otros Procesos Asociados
I		Dominio catalítico conservado con un sitio activo que contiene iones de zinc. Bolsillo de unión para colas de histonas acetiladas.	Regulación de la transcripción génica a través de la desacetilación de histonas	Control del ciclo celular Regulación de la apoptosis y diferenciación celular
II	IIa	Dominios regulatorios en N-terminal y C-terminal. Capacidad de translocarse entre el núcleo y el citoplasma, regulada por fosforilación.	Regulación de la expresión génica	Translocación nucleocitoplasmática Interacción con proteínas no histonas (ej. HDAC6)
	IIb	Dos dominios catalíticos de desacetilasa (ej. HDAC6). Estructura única que permite la desacetilación de histonas y proteínas no histonas.		Regulación del citoesqueleto. Migración celular. Degradación de proteínas a través de la autofagia.
Sirtuinas (III)		Dependencia de NAD⁺ para la actividad desacetiladora. Dominio catalítico central común. Diversidad en extremos N-terminal y C-terminal.	Regulación de la expresión génica, metabolismo (ej. SIRT1, SIRT6, SIRT3) y la regulación de la muerte celular.	Respuesta al estrés y longevidad Regulación de la muerte celular y supervivencia Inflamación
IV		Dominio catalítico similar a otras HDACs. Dominios adicionales para la interacción con otras proteínas y localización celular. Homología con HDACs Clase I y II.	Regulación de la expresión génica a través de la desacetilación de histonas	Modificación de proteínas no histonas. Regulación de la apoptosis, control de proliferación celular. Afecta el sistema inmune Modulación del metabolismo.

RELEVANCIA TERAPEÚTICA

Las HDACs de Clase I tienen una gran relevancia terapéutica debido a su papel clave en la represión de genes importantes, como los genes supresores de tumores, y en la regulación del ciclo celular. Su capacidad para controlar la expresión génica y modificar la estructura de la cromatina las convierte en dianas atractivas para el desarrollo de tratamientos contra el cáncer. Los inhibidores de HDACs (HDACi) permiten la reactivación de genes supresores de tumores, induciendo apoptosis y deteniendo la proliferación celular, lo que ha demostrado ser efectivo en cánceres como leucemias, linfomas y carcinomas sólidos. Los HDACi ya están aprobados para ciertos tratamientos oncológicos, como el vorinostat y el romidepsin en linfomas, y se están estudiando para otros tipos de cáncer. Es importante mencionar, que su potencial terapéutico no se limita a la oncología, ya que hay investigaciones que sugieren que la inhibición de estas enzimas podría restaurar el equilibrio inmunológico y aliviar trastornos inflamatorios crónicos⁴.

La combinación de HDACi con otras terapias, como la quimioterapia y la inmunoterapia, ha mostrado mejorar los resultados en el tratamiento de cáncer, resaltando su relevancia no solo en la monoterapia, sino como parte de estrategias terapéuticas combinadas.

Las HDACs de Clase II regulan tanto la cromatina como proteínas no histonas, y tienen la capacidad de translocarse entre el núcleo y el citoplasma, lo que les

permite participar en diversos procesos celulares. Son objetivos terapéuticos en desarrollo para el tratamiento de cáncer y otras enfermedades debido a su amplio papel en la regulación de funciones celulares. La inhibición específica de estas HDACs podría ofrecer nuevas estrategias terapéuticas para tratar enfermedades cardíacas, incluyendo la hipertrofia y la insuficiencia cardíacas, al modular la expresión de genes implicados en la función cardíaca. Se ha observado que contar con inhibidores selectivos de HDACs de clase II pueden tener efectos neuroprotectores al influir en la estabilidad de proteínas clave y en la función neuronal, lo anterior, proporciona un enfoque potencial para el tratamiento de enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson.

Las sirtuinas (HDAC clase III) son cruciales en la regulación de procesos celulares como envejecimiento, metabolismo, inflamación y supervivencia celular. SIRT1, SIRT3 y SIRT6 son clave en la longevidad, la reparación del ADN y la reducción del daño oxidativo, lo que las convierte en objetivos terapéuticos prometedores en enfermedades relacionadas con el envejecimiento, como Alzheimer y Parkinson. También regulan el metabolismo energético, siendo SIRT1 relevante para el tratamiento de enfermedades metabólicas como diabetes tipo 2 y obesidad. En el campo oncológico, las sirtuinas tienen un papel dual, ya que pueden suprimir o favorecer el crecimiento tumoral, lo que ha motivado la investigación de moduladores específicos para tratar el cáncer.

HDAC11 único miembro de la Clase IV, desempeña un papel clave en la regulación de diversos procesos celulares, lo que le otorga un interés terapéutico significativo.

Su capacidad para modular el sistema inmunológico lo convierte en un objetivo prometedor en el tratamiento de enfermedades inflamatorias y autoinmunes, ya que regula la producción de citocinas proinflamatorias y controla la diferenciación de células T reguladoras, fundamentales para mantener la homeostasis inmunológica. Así mismo, HDAC11 ha demostrado ser un mediador crucial en la proliferación y supervivencia celular, lo que sugiere su potencial como blanco terapéutico en oncología. La inhibición de HDAC11 reduce la proliferación celular y favorece la apoptosis en varios tipos de cáncer, incluyendo linfomas y leucemias. Además, su capacidad para desacetilar proteínas no histonas, que influyen en la señalización celular, añade una capa de complejidad a su función reguladora, abriendo nuevas vías para su uso en tratamientos dirigidos. Por último, su papel neuroprotector lo convierte en

una diana terapéutica atractiva para enfermedades neurodegenerativas, lo que refuerza aún más su relevancia en la medicina moderna.

Lo anterior nos permite ver que cada clase de HDAC tiene implicaciones terapéuticas específicas, lo que hace que sean objetivos clave para el desarrollo de nuevos tratamientos en el cáncer, enfermedades metabólicas, neurodegenerativas e inmunológicas.

Es importante mencionar que las HDACs también tienen como objetivo proteínas no histonas, como factores de transcripción, moléculas de señalización y otras proteínas involucradas en procesos celulares. Esto amplía su papel más allá de la expresión génica para incluir funciones como la estabilidad de proteínas, la interacción proteína-ADN y la señalización celular.

La tabla 3 proporciona una visión general de la relevancia terapéutica de las diferentes clases de HDAC en el contexto de diversas enfermedades y tratamientos potenciales.

Tabla 3. Relevancia Terapéutica de las clases de HDAC

Clase de HDAC	Funciones Principales	Relevancia Terapéutica	Áreas Terapéuticas
Clase I	Represión de genes clave, incluyendo genes supresores de tumores. Regulación del ciclo celular.	Objetivo para el tratamiento de cánceres. Inhibidores de HDACs (HDACi) pueden reactivar genes suprimidos, inducir apoptosis y detener la proliferación celular.	Tratamiento de diferentes tipos de cáncer.
Clase II	Regulación de la cromatina y proteínas no histonas. Translocación entre núcleo y citoplasma.	Desarrollo de inhibidores específicos para tratamiento de enfermedades cardíacas y neurodegenerativas. Efectos neuroprotectores y modulación de la función cardíaca.	Cáncer Enfermedades cardíacas (hipertrofia cardíaca, insuficiencia cardíaca) Enfermedades neurodegenerativas (Alzheimer, Parkinson).
Clase III (Sirtuinas)	Regulación de procesos de envejecimiento, metabolismo, cáncer y enfermedades neurodegenerativas. Dependencia de NAD ⁺ para su función.	Objetivo para terapias en enfermedades relacionadas con el envejecimiento, metabolismo y neurodegeneración. Regulación de la respuesta al estrés y longevidad celular.	Envejecimiento Metabolismo Cáncer Enfermedades neurodegenerativas.
Clase IV (HDAC11)	Regulación del sistema inmune, metabolismo y expresión génica. Funciones distintivas y únicas.	Potencial terapéutico en la modulación del sistema inmune y metabolismo. Áreas de investigación emergentes.	Sistema inmune Metabolismo Expresión génica.

CONCLUSIÓN

Las características y funciones de las HDAC, desde su capacidad para remodelar la cromatina hasta su influencia en la expresión génica y la regulación de proteínas no histonas, subrayan su papel central en numerosos procesos celulares críticos.

Esta versatilidad funcional no solo las hace esenciales para el mantenimiento de la homeostasis celular, sino que también las posiciona como objetivos terapéuticos de gran relevancia. Al intervenir en procesos clave como la proliferación celular, la apoptosis, y la respuesta al estrés, las HDAC están directamente implicadas en la etiología de diversas enfermedades, incluyendo el cáncer, trastornos metabólicos, y enfermedades neurodegenerativas. Por ello, la comprensión detallada de sus mecanismos de acción no solo proporciona una base sólida para la investigación biomédica, sino que también abre nuevas vías para el

desarrollo de terapias innovadoras que puedan modificar de manera efectiva estas rutas patológicas.

Referencias

- [1] King, J., Patel, M., & Chandrasekaran, S. (2021). Metabolism, HDACs, and HDAC inhibitors: A systems biology perspective. *Metabolites*, 11(11), 792. <https://doi.org/10.3390/metabo11110792>
- [2] Marks, P. A., & Xu, W. S. (2009). Histone deacetylase inhibitors: Potential in cancer therapy. *Journal of Cellular Biochemistry*, 107(4), 600-608. <https://doi.org/10.1002/jcb.22185>
- [3] Yang, X.-J., & Seto, E. (2008). The Rpd3/Hda1 family of lysine deacetylases: From bacteria and yeast to mice and men. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 9(3), 206-218. <https://doi.org/10.1038/nrm2346>
- [4] West, A. C., & Johnstone, R. W. (2014). New and emerging HDAC inhibitors for cancer treatment. *Journal of Clinical Investigation*, 124(1), 30-39. <https://doi.org/10.1172/JCI69738>

**La luz que no vemos y las
Señales que no escuchamos**



Ing. Martín Guevara Martínez

**Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,
CONAGUA.**

Introducción.

Se dice que el lenguaje de la naturaleza son las matemáticas, quizá para muchos de nosotros las matemáticas no se nos dan de la mejor manera, batallamos para entender alguna ecuación, y más aún entender alguna teoría, sin embargo muchas de las matemáticas han ayudado a descifrar y entender toda una gama de situaciones de la vida cotidiana y es justo eso, el tener esa capacidad de entender ese lenguaje que puede llevarnos por una aventura interesante y quizá emocionante, dado por ejemplo, que vivimos en una era digital donde las señales u ondas, viajan a través del espacio, en su mayoría con información que puede parecer compleja pero que gracias a las matemáticas puede ser decodificada, analizada y dar un resultado.

Y es justamente el campo de la medicina, donde se han dado acontecimientos muy interesantes que tienen que ver con señales u ondas de luz que no vemos. Es un viaje, un poco atrás en el tiempo en una época quizá no muy lejana donde no se conocía del todo, lo que ocurría al interior del cuerpo humano, la medicina no contaba con el equipo necesario para poder dar con certeza un diagnóstico y poco se conocía de los procesos de los órganos del cuerpo humano, tales como cerebro, circulación de la sangre, etc. Se conocía a medias, algunas partes del cuerpo humano, ya que se contaba con imágenes de la máquina de *rayos-X*¹, muy solicitadas para radiografías -esta máquina produce un tipo de radiación compuesta de ondas electromagnéticas, parecidas a la luz del Sol, pero de gran intensidad- que tienen la capacidad de atravesar cualquier objeto, dando una imagen parcial del elemento a estudiar- las imágenes, muy útiles a la hora de diagnosticar una rotura de huesos e incluso se dice que

en un tiempo atrás, algunas zapaterías tomaban radiografías a los pies de sus clientes con el simple hecho de observar cómo se ajustaba el pie al calzado-. Y es que una radiografía, de rayos X es el resultado de una imagen bidimensional, en la cual no hay una apreciación de la profundidad, esto se debe, a las distintas densidades que presentan los tejidos del cuerpo humano. Fig. 1.

Palabras clave: rayos-x: radiacion electromagnetica, parecida a la luz del Sol, pero de mayor intensidad con graves daños a la salud sino se tiene precaución.

Introduction.

It is said that the language of nature is mathematics, perhaps for many of us mathematics is not given to us in the best way, we struggle to understand any equation, and even more so to understand theory, however many of the mathematics have helped decipher and understand a whole range of everyday life situations and it is just that, having that ability to understand that language that can take us on an interesting and perhaps exciting adventure, given, for example, that we live in a digital age where signals or waves, travel through space, mostly with information that may seem complex but thanks to mathematics can be decoded, analyzed and give a result.

And it is precisely the field of medicine, where very interesting events have occurred that have to do with signals or light waves that we do not see. It is a journey, a little back in time in a time perhaps not too distant where what was happening inside the human body was not completely known, medicine did not have the necessary equipment to be able to give a diagnosis with certainty and little It was known about the processes of the organs of the

human body, such as the brain, blood circulation, etc. Some parts of the human body were half-known, since there were images from the X-ray machine, highly requested for x-rays - this machine produces a type of radiation composed of electromagnetic waves, similar to sunlight, but of great intensity - which have the ability to pass through any object, giving a partial image of the element to be studied - the images, very useful when diagnosing a broken bone and it is even said that in the past, some shoe stores took x-rays to the feet of his clients by simply observing how the foot adjusted to the shoe. And an x-ray is the result of, a two-dimensional image, in which there is no appreciation of depth, this is due to the different densities that the tissues of the human body have.

El principio del Tomógrafo.

Gracias al ingenio y talento de algunos científicos, para desarrollar aparatos tenemos a : Geoffrey Newbold Hounsfield fue un ingeniero en electrónica y que desarrollo su idea a partir de sus conocimientos sobre el radar, el radar es un aparato que emite ondas electromagnéticas, estas al “toparse” con el objetivo son reflejadas y así se puede conocer su posición, o velocidad, también trabajo para una compañía disquera donde, tuvo la idea de diseñar una computadora con la capacidad de interpretar las señales procedentes de una fuente de rayos X, que antes hubiese interactuado y/o atravesado algún objeto, para así con la información obtenida y las matemáticas adecuadas, poder conformar una imagen bidimensional de dicho objeto. Fig.2.

Allan MacLeod Cormack, por su parte fue un físico que trabajaba con radioisótopos los cuales tienen la propiedad de emitir algún tipo de radiación, esto lo llevo a desarrollar

su idea y de cómo interaccionan estos radioisótopos con cualquier tejido del cuerpo humano, y que información podría obtener de la radiación detectada, trabajo su idea hasta lograr tener un escáner de rayos-X, con el cual obtenía una serie de proyecciones, cuyos detectores, registraban cada señal para después por medio de un algoritmo matemático llegar a obtener una imagen. Fig.3

Cabe mencionar que los inventores de dichos aparatos, tenían algo en común, no eran médicos precisamente, Sin embargo para ellos, era un desafío a su imaginación el desarrollar una máquina, cada uno por su parte, cuyo objetivo era ayudar al avance de la medicina en beneficio a la salud del ser humano, con la obtención de imágenes a partir de recolectar las señales electromagnéticas, de los rayos-X, dando un avance en el conocimiento médico, y que por su esfuerzo y pasión por la investigación, y desarrollo de nuevos conocimientos haya dado frutos, dichos aparatos se les conoce como **Tomógrafos**, muy solicitados en todo el mundo y mucho más sofisticados en la actualidad. Este maravilloso invento les valió a estos dos científicos les otorgaran el premio Nobel de Medicina en 1979.

El funcionamiento, del Tomógrafo o TAC es que por su construcción, en forma de “Dona” “lanza” alrededor del paciente una multitud de haces de rayos-X, desde diferentes ángulos los cuales son atenuados en distinta medida por cada tipo de tejido, por ejemplo, sabemos que el hueso es más duro que el tejido, de esta forma podemos tener una imagen de huesos, músculos, órganos del cuerpo, vasos sanguíneos, etc. Cada imagen muestra varias rebanadas de tejido del cuerpo, toda la información es recopilada por unos

detectores, analizada y procesada en la computadora gracias a los algoritmos matemáticos, para generar las imágenes en 3D. Fig. 4.

El principio de la Tomografía Axial Computarizada: Las Matemáticas

Fueron Johann Radón, y Joseph Fourier, unos matemáticos del siglo pasado quienes desarrollaron cada uno por su parte, las ecuaciones matemáticas para el análisis de señales para la generación de imágenes. Sin imaginar que tendrían una utilidad enorme en la medicina y otras áreas.

En general, la Transformada o análisis de Fourier, o la transformada de Radón son operaciones matemáticas un tanto complicadas, y que aparentemente no tenían relación alguna con algún campo de la ciencia. Pero son herramientas matemáticas que nos ayudan a obtener información, mediante una “transformación”-no es más que un proceso por el cual se reduce lo complejo de una ecuación- que posee una señal u onda cuando es analizada, Radón utiliza integrales y Fourier funciones periódicas, ambas estudian las señales, y lo que hacen ambas en esta “transformación” es que permite extraer información de un ciclo de esta señal u onda. Por ejemplo, un caso muy cotidiano lo tenemos presente, cuando escuchamos música, nuestros cerebros perciben el sonido como vibraciones u ondas de presión que viajan a través del aire, el sonido no es más que un archivo compuesto de diferentes frecuencias, el cual es desglosado matemáticamente, mediante el proceso conocido como análisis de Fourier, pero sucede algo fantástico al interior de nuestro oído, pues dentro de él se encuentran las cócleas, las cuales repiten el proceso de separar los sonidos en sus distintas frecuencias, este proceso lo realizan muy rápido, antes

de enviarlas a nuestro cerebro como señales eléctricas, donde se vuelven a unir, ya como la música que disfrutamos. Increíble lo que la naturaleza y las matemáticas pueden lograr.

A la fecha el análisis por Fourier ha generado una gran cantidad de aportaciones y conocimiento, para casi todas las ramas de la ciencia y la tecnología, así como a la física y las matemáticas.

Como lo que grandes científicos han podido ayudarse del análisis de señales de los Rayos-X, Tal como: Dorothy Crowfoot Hodgkin, una científica de renombre y excelente cristalógrafa, llegó a utilizar, junto con Henry Lipson el método de Fourier, en sus experimentos y estudios por difracción de rayos-X dando como resultado el análisis y desarrollo de las estructuras tan complejas y características de las formas Cristalinas, tal como el de algunas proteínas como la pepsina: esta que es una enzima y que es clave para entender la digestión y la absorción de nutrientes, así también como de la insulina y otras biomoléculas que no se conocía su estructura o como el colesterol, la penicilina y la vitamina B12 y así también algunos virus. Fig. 5.

Gracias a que pudo identificar muchas de estas estructuras le valió que le concedieran el premio Nobel de Química en 1964, un excelente premio por sus aportaciones. Otra gran aportación que realizó fue el descubrimiento de la doble hélice o ADN, descubierta en 1962, a través de la técnica de difracción de rayos-X y utilizando también el análisis de Fourier, dirigió el haz de rayos-X hacia una hebra de un cristal de ADN, y que al atravesar el cristal, los rayos-X, fueron difractados por las moléculas de ADN y estos fueron grabados en una

película, para desarrollar su estructura.

Incluso la NASA se ha ayudado del análisis de Fourier, para transmitir imágenes desde sus satélites, hacia la tierra. Así como, el estudio de un electroencefalograma mandando las señales a través de las interfaces cerebrales, esto es, el análisis de la actividad cerebral y el estado mental de una persona en tiempo real, con el fin de transformarlas en ordenes operativas, por ejemplo, seleccionar una letra en un teclado o mover una silla de ruedas, todo ello sin que la persona ejecute ningún movimiento.

Conclusión

El desarrollo de las matemáticas ha sido la clave para entender muchos de los descubrimientos de la actualidad, con el uso de herramientas adecuadas podemos develar figuras ya sea desde la medicina hasta la ciencia de materiales, es así que

el uso y transmisión de datos mediante señales, y el análisis de datos son de gran ayuda a los investigadores en casi todas las disciplinas, y es que parecería que los conceptos pueden parecer abstractos es como si no existiese ese algo pero esta ahí.

Tal y como los videos de YouTube, hasta máquinas de aprendizaje, la detección de ondas gravitacionales, provenientes de lugares remotos del espacio, uno de esos acontecimientos que quedan para la historia y que nos asombran con la magia de la ciencia, siempre tenemos contacto con las señales, por medio de la música, la Tablet, el celular, etc., y que siempre las matemáticas están ahí, para algunos de nosotros, algo que se torna concreto y hasta parecería como un reto a la imaginación cuando se va desarrollando esa curiosidad. . . .



Figura 1: Imagen de un pie al ser atravesado por los rayos X

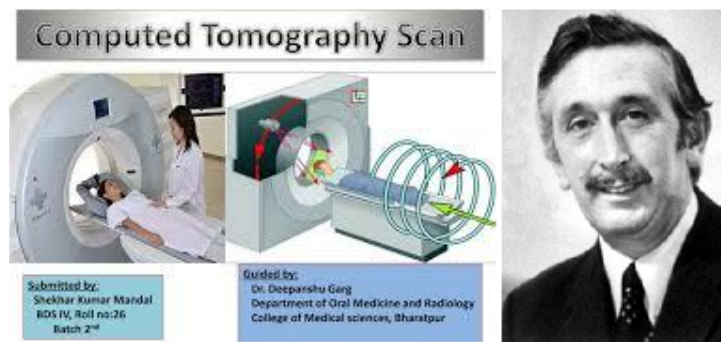


Figura 2: El tomógrafo escanea con un haz de rayos X para formar la imagen, al lado Godfrey Hounsfield

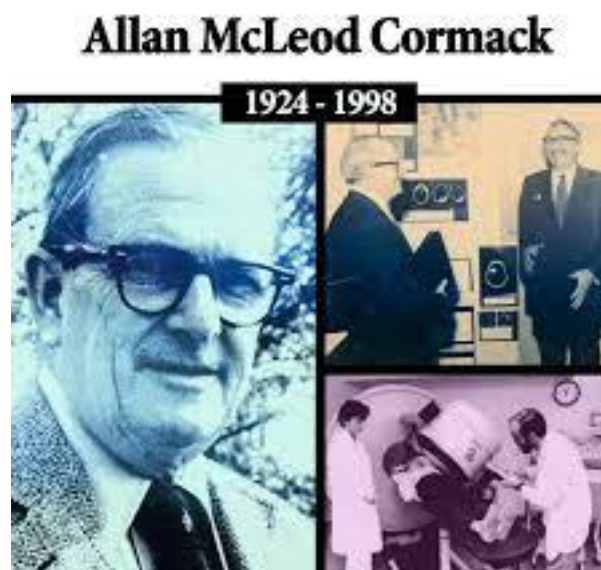


Figura 3: Allan desarrolló su idea a partir de su trabajo con radioisótopos.

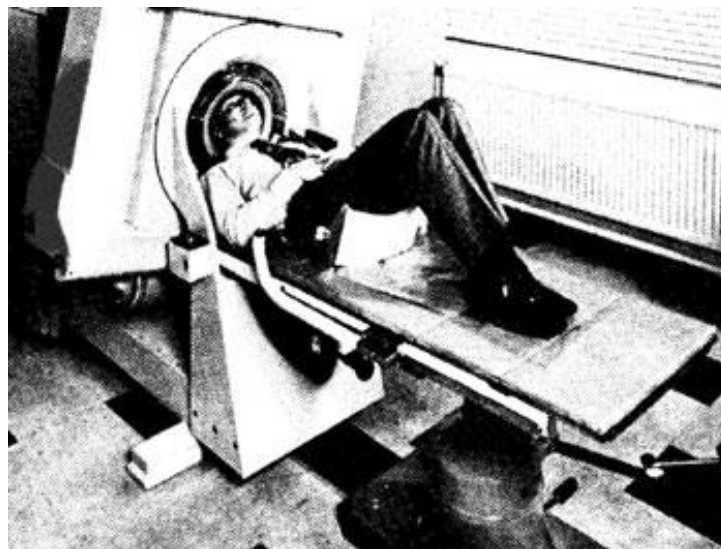


Figura 4: El TAC, con los datos recopilados, son enviados a un programa de computadora donde se va formando la imagen a estudiar.



Figura 5: Dorothy Crowfoot Hodgkin, científica y cristalógrafa de renombre, utilizó los rayos X para identificar varias moléculas biológicas de interés.

Referencias

- [1] La Transformada de Fourier para explicar el proceso de Tomografía Computarizada, Edwin Chávez Ramírez, Efraín Carbajal Peña, PESQUIMAT 20(1): 77–92 (2017)
- [2] Principios matemáticos de la reconstrucción de imágenes tomográfica, Salvador Galindo Uribarri, CIENCIA ergo sum, Vol. 10-3, noviembre 2003-febrero 2004
- [3] Mente y Cerebro, investigación y ciencia.” interfaces cerebrales” Jose del R. Millan, pág. 10-14 No.13 2005
- [4] *Scientific American* junio 1989, Ronald N. Bracewell, “The Fourier Transform” pág. 86-95.
- [5] Ortega Hrescak, María Cinthya, Socolsky Gustavo A. Godfrey Newbold Hounsfield: historia e impacto de la tomografía computada. Revista Argentina de Radiología [en línea]. 2012, 76(4), 331-341[fecha de Consulta 21 de junio de 2024]. ISSN: 1852-9992. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382538503009>

**Antropoentomofagia como
mediadora del consumo
alimentario
sustentable de Chapulines y
Grillos en México**

Dra. María de la Luz Sevilla Gonzalez

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de
Medicina.

Dr. Nelson Alvarez Licona

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de
Medicina.

Dr. Ricardo Alvarez Sevilla

Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH)

Abstract

Anthropoentomophagy, or insect consumption by humans, has been a common practice around the world since ancient times in communities on three continents: Latin America, Asia, and Africa. In the face of global population growth, high poverty rates, food shortages and high costs, coupled with pollution phenomena generated by the livestock and poultry industries, insect consumption is presented as an alternative food, with high nutritional content, low production costs, almost no environmental impact, and that meets the requirement of food safety. Objectives: a) The main objective is to analyze whether entomophagy is a food alternative. b) To identify the socio-cultural aspects involved in the consumption of crickets and grasshoppers. c) To comparatively establish the impact generated by livestock and poultry production compared to the artisanal or industrial production of crickets, *achetus*, or grasshoppers. d) Analyze the nutritional properties of grasshoppers and their consumption. Results: a) It is important to implement sanitary regulations regarding food safety; b) Food handling, processing, and distribution must be monitored by well-established standards; d) The risk of consuming grasshoppers that live outdoors may be contaminated by pesticides that harm humans. Entomophagy is a viable and sustainable alternative in Mexico, but first it is necessary to spread the hygienic way of its reproduction, feeding and marketing, also to break down the cultural barriers that can be an obstacle related to uses and customs in Mexico.

Keywords: entomophagy, food safety, sustainability, food innovation, food security.

Resumen

La antropoentomofagia, o consumo de insectos por seres humanos, ha sido una práctica común alrededor de todo el mundo, desde la antigüedad en comunidades de tres continentes: América Latina, Asia

y África, frente al incremento mundial de la población, los elevados índices de pobreza, la escasez del alimento y sus elevados costos aunados a fenómenos de contaminación que generan la industria ganadera y avícola se presenta el consumo de insectos como una alternativa alimentaria, de alto contenido alimenticio, bajos costos de producción, casi de nulo impacto ambiental y que cumple con el requisito de la seguridad alimentaria se puede consumir acorde con la seguridad alimentaria.

Objetivos:

a) El objetivo principal es analizar si la entomofagia es una alternativa alimentaria. b) identificar los aspectos socio-culturales que encierra en consumo de grillos y chapulines. c) Establecer comparativamente el impacto que genera la producción ganadera y avícola frente a la producción artesanal o industrial del grillo *achetus* o chapulín. d) analizar propiedades alimenticias entre carnes aves y consumo de chapulín.

Resultados:

a) Es importante que se gestionen Normativas sanitarias en torno a la seguridad alimentaria; b) El manejo del alimento, procesamiento y distribución debe ser vigilado por normas bien establecidas; d) El riesgo del consumo de chapulines que viven al aire libre, pueden estar contaminados por plaguicidas que afectan al ser humano. e) La entomofagia es una alternativa viable y sustentable en México, pero antes hay que difundir la forma higiénica de su reproducción, alimentación y comercialización, también romper con las barreras culturales que pueden ser un obstáculo relacionado a usos y costumbres en México.

Palabras clave: entomofagia, seguridad alimentaria, sustentabilidad, innovación en alimentos, seguridad alimentaria.

Introducción

La antropo-entomofagia, o consumo de alimentos por seres humanos, ha sido una práctica común alrededor de todo el mundo, desde la antigüedad en comunidades de tres continentes: Asia, África y América Latina, se estima que existen alrededor de 2000 tipos de insectos viables para la alimentación, a nivel mundial países como África, China, Tailandia, México, son países que de manera tradicional durante siglos han consumido insectos, artrópodos, larvas, hormigas, abejas, avispa, orugas, huevecillo de hormiga, considerando su valor nutritivo, su sabor y como un producto natural.

A nivel mundial el incremento de la población y los índices de pobreza mundial, representan un gran desafío, ya que el problema es multifactorial y se tienen que considerar: a) el derecho a la alimentación, b) el derecho al trabajo, c) la dimensión de los derechos humanos, d) la protección social, y e) la seguridad. La alimentación es un derecho humano y los países tenemos que prepararnos para buscar alternativas alimentarias y saludables (ONU: 2025).

En la actualidad en pleno siglo XXI enfrentamos ya una crisis alimentaria, que se va agravando conforme crezca, el crecimiento poblacional del planeta, aunado a esto crecerá también la inequitativa distribución de la riqueza, el envejecimiento de gran parte de la población, los fenómenos que suponen la migración y el desplazamiento humano, son todas razones de peso, que seguramente agudizan cada vez más la necesidad alimentaria en algunas regiones más que en otras como lo precisa el informe Mundial de crisis Alimentarias (GRFC: 2025). Es necesario reconocer que el impacto que genera la ganadería y la avicultura sobre los recursos naturales, los mantos acuíferos, la biodiversidad, la deforestación, deforestación de bosques para la expansión de pastizales, para consumo animal, la contaminación de ríos y lagos así como el deterioro del suelo es ya

insostenible y generan un impacto negativo debido al incremento de la ganadería la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO) ha evaluado que la actividad ganadera es responsable del 18% de las emisiones totales de gases como el metano que incluso superan las emisiones generadas por los medios de transporte (ONU-FAO:2009).

El aumento de la densidad poblacional y la alteración en los ecosistemas han generado una baja productividad y calidad agrícola y ganadera, así como un aumento en los costos de producción de alimentos para consumo humano y piensos para animales, lo que provoca una disminución en la disponibilidad de alimentos por habitante. Esto ha llevado a la búsqueda de alternativas que garanticen la producción alimentaria, cantidad, calidad nutricional de alimentos y seguridad en su consumo (Global Environmental: 2024).

II CRISIS ALIMENTARIA MUNDIAL.

El mundo entero enfrenta un reto importante en materia alimentaria. La población mundial según proyecciones será de 9.7 mil millones para 2050. Esto supone que la producción y demanda de alimentos crecerá exponencialmente, y los recursos naturales no alcanzaran a cubrir las necesidades. La ganadería, la avicultura y la pesca han sido programas de sistemas alimentarios tradicionales, sobre todo y con mayor desarrollo la ganadería intensiva, sin embargo, las repercusiones que generan con la emisión de gases de efecto invernadero, el uso cuantioso de agua, la deforestación y la contaminación de la tierra, han generado una crisis climática y daños al medio ambiente como la pérdida de la diversidad y daño a suelo fértil para la agricultura (Batalla:2022). Ante estos panoramas nada halagadores, surge el imperativo de buscar y promover distintas fuentes alimentarias con características de viabilidad, sustentabilidad. Se trata entonces de obtener una producción alimentaria: nutritiva, accesible y sustentable como una necesidad urgente

de encontrar fuentes de alimento que sean no solo nutritivas, accesibles, sostenibles y resilientes.

En este contexto, los insectos comestibles —y en particular, los **grillos y chapulines**— se posicionan como una alternativa viable.

Aunque su consumo puede parecer novedoso en algunas culturas, estos insectos forman parte de la dieta tradicional en diversas regiones de México y el mundo, destacando por su alto valor nutricional, facilidad de crianza y bajo impacto ambiental.

Este artículo propone una mirada sustentable sobre el consumo de grillos y chapulines, explorando sus beneficios ecológicos, económicos y nutricionales. A través de un enfoque que combina la ciencia, la cultura y la sostenibilidad, analizaremos cómo estos pequeños insectos pueden contribuir a resolver grandes desafíos globales, sin perder de vista las raíces culturales que los han valorado desde tiempos ancestrales.

El fenómeno mundial de la pobreza tiende a agudizarse y es necesario generar caminos alternativos de programas donde la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente sean prioritarios. “La pobreza y la creciente desigualdad es una de las causas de la inseguridad alimentaria. La pobreza menoscaba o anula los derechos a una alimentación adecuada, a la vivienda, a la salud, al agua, a la educación, y otros”. (Graciano Dasilva J- FAO ;2012). Como muestra se analiza a continuación las consecuencias de una niñez, sin una alimentación adecuada.

III LA POBREZA ALIMENTARIA

INFANTIL.

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF: 2024), publicó en su página que es preocupante la pobreza alimentaria infantil, e invita a desarrollar iniciativas mundiales que centren la atención a este problema, ya que una mala nutrición infantil repercute directamente en los niños en los cinco primeros años de vida, donde es fundamental el desarrollo del menor y de no hacerlo puede en poner en riesgo la vida de los niños. “Cuando la ingesta es insuficiente de nutrientes esenciales a través de la dieta puede causar los daños mas graves para la supervivencia infantil, el crecimiento físico y desarrollo cognitivo” (UNICEF: ob cit).

La **pobreza alimentaria infantil** es una condición de urgencia ya que las niñas y niños que no tengan una alimentación adecuada, rendiran menos en un sistema educativo, tendran menos oportunidades de mejorar su situación social personal y la de su familia quedando atrapados en el circulo de la pobreza (SOFO-2018). Razón por la cual se tienen que buscar nuevas y viejas alternativas alimentarias en todo el mundo.

La UNICEF preocupados por la magnitud del problema sobre la pobreza alimentaria infantil, realizó un estudio de 670 encuestas en 137 países del mundo, con una representación del 90% de niños y niñas en el mundo y encontro seis puntos altamente relevantes a considerar a nivel mundial.

Datos publicados por UNICEF muestran la magnitud del problema de la pobreza alimentaria infantil, resultados de investigaciones demuestran que de 670 encuestas en 137 países alrededor del mundo, cuyas muestras fueron niñas y niños, dieron como resultado las siguientes conclusiones (UNICEF:2024)

1	Uno de cada cuatro niños y niñas (27 %) vive en situación de pobreza alimentaria infantil grave en sus primeros años de vida, lo que supone 181 millones de niños y niñas menores de 5 años.
2	El progreso hacia el fin de la pobreza alimentaria infantil grave es lento, pero algunas regiones y países están demostrando que es posible y que está ocurriendo.
3	Tanto los niños y niñas que viven en hogares pobres como los que viven en hogares más acomodados sufren a causa de la pobreza alimentaria infantil grave, lo que indica que los ingresos de los hogares no son el único factor determinante de la pobreza alimentaria infantil.
4	Los niños y niñas que viven en situación de pobreza alimentaria infantil grave no consumen suficientes alimentos ricos en nutrientes , mientras que otros alimentos no saludables sí se refuerzan en su alimentación.
5	La crisis alimentaria y nutricional mundial y los conflictos y crisis climáticas locales están intensificando la pobreza alimentaria infantil grave , especialmente en contextos frágiles y en situaciones humanitarias.
6	La pobreza alimentaria infantil grave está impulsando la desnutrición infantil: el porcentaje de niños y niñas que viven en situación de pobreza alimentaria infantil grave es tres veces mayor en países con una alta prevalencia de retraso en el crecimiento.

Cuadro No 1 : Impacto de la Pobreza alimentaria infantil en el mundo.

La **pobreza alimentaria infantil**, muestra un panorama dónde la intervención es urgente, en todo el mundo, pero hay áreas de mayor riesgo. “En Asia meridional y África Subsahariana viven la 2/3 partes de es decir el 68% del total d ellos niños y niñas que padecen pobreza alimentaria infantil grave 181 millones.

Es necesario actuar con alta prioridad a atender los problemas alimentarios urgentes, pero tambien considerar que los niños que no reciben alimentacion no

saludable, son personas que crecieran con desventajas, fisicas, cogiivas y sociales.

IV LA ENTOMOFAGIA COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE Y SUSTENTABLE.

Una alternativa viable es el consumo de insectos, por tener alto contenido proteico y una mejor tasa de producción de biomasa. Una de las especies de mayor abundancia en todo el mundo son los insectos, que frente a un analisis alimentario pasan a

ser un producto de alta calidad por su bajo precio, nutritivo, seguro y que su fácil y económica reproducción resulta ser un producto con gran potencial debido a su fácil reproducción, es una especie de mayor abundancia, que no contamina y tampoco requiere grandes cantidades de agua y alimento.

Este estudio se centró en dos tipos de insectos que pertenecen a la orden (Orthoptera) también en esta orden se encuentran las langostas, caracoles, Chapulines o Saltamontes y el Grillo Achetus, los dos últimos de nuestro particular interés. Son pequeños insectos muy similares, que a la vista parecen ser iguales, pero hay diferencias, físicas y culturales de importancia.

Ambos insectos se consumen ampliamente en distintas regiones del mundo. En México, su ingesta tiene una larga historia prehispánica y hoy forma parte de la identidad culinaria de estados como Oaxaca, Puebla, Chiapas y Guerrero. Se recolectan de manera estacional, se tuestan o fríen y se condimentan con sal, ajo, chile y limón, resultando en un alimento altamente nutritivo y apreciado por su sabor.

Además de su valor cultural, grillos y chapulines se han convertido en el centro de investigaciones científicas y proyectos de innovación alimentaria por su potencial como fuente sostenible de proteína. En años recientes, incluso se han introducido en mercados internacionales en forma de snacks, harinas y suplementos alimenticios.

Grillos y chapulines son insectos ortópteros. Se caracterizan por tener patas traseras largas adaptadas para saltar, antenas filiformes y un aparato bucal masticador que les permite alimentarse de materia vegetal (Castellanos-Vargas:2022).

“Tienen una cabeza grande con poca movilidad, antenas delgadas cuya longitud es variable, grandes ojos compuestos (a excepción de los que viven en cuevas) y un aparato bucal masticador” (McGavin 2002)

- **Chapulín** (*Acrididae*): Son un tipo de saltamontes que se encuentran comúnmente en México y Centroamérica. Su nombre proviene del náhuatl chapulin y son muy valorados en la gastronomía tradicional mexicana, se consumen en los estados de Oaxaca, estado de México, Puebla, Chiapas, Guerrero.
- **Grillos** (*Gryllidae*): Son de cuerpo más robusto y fibroso, se reconocen fácilmente por el característico canto que emiten los machos al frotar sus alas. Suelen habitar zonas templadas, húmedas o tropicales.

A simple vista son ortópteros semejantes, la literatura publicada no hace diferencia entre el Chapulín y el Grillo. Al realizar una encuesta con habitantes de Oaxaca, centro, acerca de la forma en la que se al realizar trabajo de campo en el estado de Oaxaca se entrevistaron a 25 personas a las que se les preguntó “Tienen una cabeza grande con poca movilidad, antenas delgadas cuya longitud es variable, grandes ojos compuestos, a excepción de los que viven en cuevas, y un aparato bucal masticador” (McGavin:2002).



Figura 1: Clapulin o saltamonte



Figura 2: Grillo Achetus

V EVALUACIÓN DEL VALOR NUTRICIONAL DEL GRILLO IN VIVO, Y COMO ALIMENTO.

Desde una perspectiva nutricional, los grillos y chapulines destacan por ser una fuente de alimento con alto contenido de nutrientes, lo que los convierte en una

alternativa saludable frente a proteínas tradicionales como la carne de res, cerdo o pollo.

En un estudio realizado en el Instituto Politécnico Nacional donde se cuantificó la proteína obtenida en 100 gr de carne de res o de cerdo, de pollo y de grillo el resultado fue el siguiente.

Tipo de alimento en 100g	Proteína en gramos (g)
Carne de Res	20.5
Carne de cerdo	20.1
Carne de pollo	19.8
Grillo	65.8

Cuadro No 2 . Diferencias comparativas sobre la cantidad de proteína obtenida .

- a) El cuadro muestra que la cantidad de proteína que se consume no es igual a la cantidad de proteína aprovechada. Por cada 100 gr de grillos deshidratados supero tres veces más el contenido proteico de la carne de res o de cerdo. Además, esta proteína es de alta calidad biológica, ya que contiene todos los aminoácidos esenciales que el cuerpo humano necesita, lo que los hace comparables con el huevo o la leche.
- b) Adicionalmente se consumen micronutrientes:
 - **Hierro:** Vital para prevenir la anemia, especialmente en poblaciones vulnerables.
 - **Calcio:** Importante para la salud ósea.
 - **Zinc:** Fundamental para el sistema inmunológico y el crecimiento.
 - **Magnesio:** Involucrado en funciones musculares y neurológicas.
 - **Vitaminas del complejo B:** Como la B12, B2 (riboflavina) y B3 (niacina), que favorecen la producción de energía y el metabolismo celular.
- c) Aminoácidos esenciales: **omega 3 y 6, vitamina B12, hierro y calcio.** La combinación de proteínas y aminoácidos hace del producto una alternativa alimentaria completa.
- d) Grasas y fibra . Los grillos y chapulines contienen **grasas insaturadas**, como los ácidos grasos omega-3 y omega-6, beneficiosos para el corazón. Además, su exoesqueleto, compuesto de **quitina**, aporta una forma de fibra que puede tener efectos prebióticos en la salud intestinal.

VI: CLASIFICACIÓN, CUIDADO Y REPRODUCCIÓN DEL ACHETA DOMESTICUS.

Orden: Orthoptera

Familia: Gryllidae

Género: Acheta Domésticus

Ciclo de reproducción del grillo Acheta domésticus

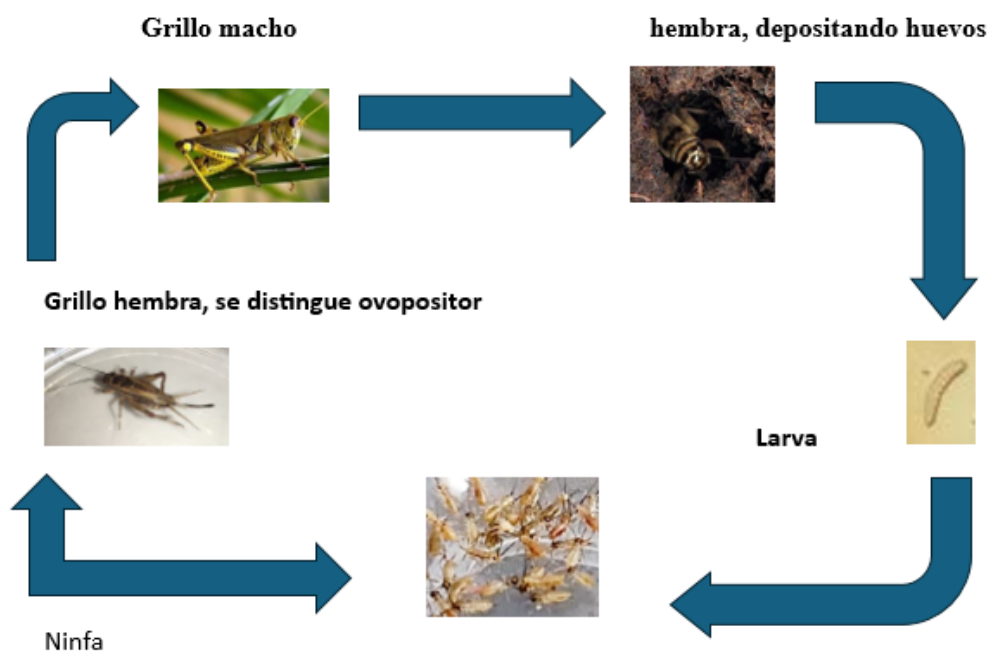


Figura 3: Ciclo de reproducción del grillo Acheta domésticus

La crianza del grillo Acheta domésticus, presenta grandes ventajas ambientales

- 1.- Cuenta con un bajo impacto ambiental, en la generación de granjas alimentarias.
- 2.- Requiere una mínima cantidad de agua y alimento
- 3.- Controlar la temperatura de 25 a 30 grados centígrados
- 4.- Requiere de un ambiente húmedo, mismo que se puede generar en espacios cerrados.
- 5- Emisión mínima de gases efecto invernadero

6.- Desechos orgánicos, representa una oportunidad de promover su reproducción, comercialización y consumo.

7.- Se puede desarrollar en espacios mínimos con una inversión muy baja.

8.- os características que se deben de aprovechar son:

- a) La crianza es eficiente debido a que los ciclos de reproducción son cortos
- b) Y la rápida y abundante reproducción
- c) Tienen un ciclo de vida corto

VII.- Condiciones favorables que

pueden ser una innovadora alternativa alimentaria.

a) El consumo de grillos tiene una importancia gastronómica en la cultura mexicana y como exportación de alimento gourmet.

b) Es un potencial importante para algunas comunidades que lo comercializan dentro y fuera del país, incluso hay proveedores que envían el producto desde Monterrey a cd de México, ya que en el centro de la ciudad se comercializa bien.

c) 1 kilo de grillo puede comprarse desde 20° pesos mexicanos hasta 500 y 800 pesos.

d) Es un potencial que podría promoverse en comunidades ya que no se requiere una inversión alta, se puede contemplar desde un trabajo artesanal familiar y tiene mercado para su circulación.

VIII.- Existen barreras socioculturales que limitan el consumo del Grillo en el país, a diferencia del consumo del grillo Acheta domésticus

1.- La imagen ancestral del chapulín en México, ha estado presente en la cultura popular mexicana, muestra de ello, es esta imagen, que representa a un chapulín o saltamontes. Los códigos mexicanos muestran su reconocimiento ancestral.



Figura 4: Representación en piedra. Museo nacional de Antropología e Historia.

2.- Se realizó una encuesta a hombres y mujeres de la ciudad de México y ciudad de Oaxaca. Acerca del consumo del chapulín y del grillo.

Resultados de la encuesta en la ciudad México:

- El 50% consideró que no hay diferencia, entre el chapulín o el grillo, y

solo el 40% comen o han comido chapulines o grillos.

- Razón por la cual se infiere que, en las zonas rurales, tienen conocimientos más precisos acerca de las características y diferencias entre chapulín o grillo.

- Resultados de la encuesta en Oaxaca:

Comerían chapulines 100 % SI	Comerían grillos 100 % NO
RAZONES	RAZONES
El chapulín es limpio por eso es verde	El grillo es sucio
Se cría en la milpa, es limpio	Come cochinadas
Come maíz y hierbas	Vive en la suciedad
Si los comes, no te hacen daño	Hace daño comerlos
Son sabrosos porque comen quelites	Te enfermas si los comes
Son mejores que la carne	Comen basura
El regala diosito, cuando quiero comer chapulín en una salsita voy por ellos, a la milpa, yo misma los atrapo y los preparo	Comen trapos sucios y viven en la basura

Cuadro No 3.- Razones que inciden en el consumo del capulín y obstáculos que prohíben consumo de grillo en Oaxaca.



Figura 5: Chapulín



Figura 6: Grillo

En México, su ingesta tiene una larga historia desde la época prehispánica, el consumo de chapulines forma parte de la identidad culinaria de estados como Oaxaca, Puebla, Chiapas y Guerrero. Aunque se recolectan de manera estacional, existen empresas que funcionan durante todo el año y distribuyen su producto desde el norte del país, al centro y sur de la república mexicana. Su preparación es sencilla ya que se pueden tostar o freír en aceite y su condimento esencialmente es con sal, ajo y en ocasiones chile en polvo, en el estado de Oaxaca, no importa la época, siempre se puede comprar en múltiples lugares y a costos accesibles.

Las granjas de producción de grillos deberían considerar este factor cultural, ya que incluso en una presentación como

es la harina de grillo, galletas o salsas, pueden dificultar su aceptación por gran parte de la población. Tal vez las zonas urbanas pueden ser un espacio donde promover su consumo, pero no en los estados donde existe la idea, prejuicio, costumbre o práctica de consumir solo el capulín.

Otro aspecto importante que se contrapone a promover el consumo de chapulín es que, en algunas zonas del país, el chapulín se considera una plaga. Afecta los cultivos y para ello se utilizan fertilizantes, que pudieran llegar al ser humano.

La seguridad alimentaria del consumo del capulín o grillo se ve afectada por los fertilizantes utilizados para controlar a los insectos depredadores.

IX Conclusiones:

- Es importante que se gestionen Normativas sanitaria en torno a la seguridad alimentaria.
- El manejo del alimento, procesamiento y distribución debe ser vigilado por normas bien establecidas.
- El riesgo del consumo de chapulines que viven al aire libre, pueden estar contaminados por plaguicidas que afectan al ser humano.
- Es importante considerar el factor cultural, que diferencia al grillo del capulín sobre todo cuando se trata de una empresa con fines comerciales.
- Generar una famiempresa es posible, viable, económica y con resultados a corto plazo.
- Es necesario generar información que rompa con estereotipos, en contra del consumo del grillo ya que es un alimento con grandes propiedades alimenticias.
- Los insectos ya son una alternativa alimentaria sustentable en el presente con buenas posibilidades futuras.

Referencias

- [1] Batalla I, Galán E., Pardo G., *et al.* Ganadería y emisiones de gases de efecto invernadero. bc3 Basque centre for Climate Change. Sustainability, Tha'tsit. Junio 2022.
- [2] Castellanos-Vargas, I., Z. Cano-Santana, R. Mariño-Pérez, P. Fontana y F.M. Buzzetti. 2022. Ortópteros: chapulines, langostas, grillos y esperanzas. En: La biodiversidad en Oaxaca. Estudio de Estado. Vol.1, México, pp. 31-38.
- [3] Graciano da Silva José. 2012 Discurso del Director General de la FAO, José Graziano da Silva, en nombre de las Organizaciones basadas en Roma, con motivo de la Cumbre de Líderes del G-20 https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/Statement_DG_ES.pdf
- [4] Global Environmental Change, Volume 84, January 2024, 102770. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102770>
- [5] McGavin George, 2002, Entomología esencial, Ariel, Editorial S.A., 2002 - 352 páginas
- [6] ONU-GRFC-Informe Mundial sobre las Crisis Alimentarias, 2025
- [7] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (ONU-FAO). La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones, 2009. Henning Steinfeld, Pierre Gerber, Tom Wassenaar, *et al.*
- [8] ONU-2025 (Organización de las Naciones Unidas), oficina del alto comisionado, 2025. <https://www.ohchr.org/es/topic/poverty-right-food-and-social-protection>.
- [9] SOFO, 2018. "El estado de los bosques del mundo". <https://www.fao.org/interactive/state-of-forests/2018/es/>

- [10] UNICEF la pobreza alimentaria en el mundo, 2024. <https://www.unicef.org/es/media/157686/file/SPANISH-child-food-poverty-2024-brief.pdf>
- [11] UNICEF: 2024 LA POBREZA ALIMENTARIA INFANTIL Privación nutricional en la primera infancia 2024, I Informe sobre nutrición infantil. <https://www.unicef.org/es/media/157686/file/SPANISH-child-food-poverty-2024-brief.pdf>

Dinámica a otro nivel: Ecología de metacomunidades

Dra. Monserrat Jiménez

Posdoctorado CONAHCyT. Departamento de Biología,
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Departamento de Biología, Universidad Autónoma
Metropolitana Unidad Iztapalapa

Dra. Esperanza Córdova Acosta

Departamento de Biología, Universidad Autónoma
Metropolitana Unidad Iztapalapa

Dr. Ernesto Vega

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y
Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México

Abstract

This paper analyses the structure and dynamics of metacommunities, emphasizing that natural communities are dynamic systems and not independent of regional processes. It presents theoretical models of metacommunity organization that describe patterns of this level of organization. These include the Clementsian, Gleasonian, uniform distribution, random and nested sets models. To analyze the structure of metacommunities, three key elements are used: coherence, species turnover and range boundary clustering. These structures would be defined by different combinations of deterministic and stochastic factors that influence the metacommunity structure. These factors would be integrated into the models of patch dynamics, species selection, mass effect and neutral. The metacommunity approach is fundamental to understand and confront processes such as land use change, habitat fragmentation and climate change.

Keywords: Metacommunities, turnover, mass effect, nested subsets.

Resumen

Este trabajo analiza la estructura y dinámica de metacomunidades, enfatizando que las comunidades naturales son sistemas dinámicos y no independientes de los procesos regionales. Presenta los modelos teóricos de organización metacomunitaria que describen patrones de este nivel de organización. Estos incluyen los modelos clementsiano, gleasoniano, de distribución uniforme, al azar y de conjuntos anidados. Para analizar la estructura de metacomunidades, se utilizan tres elementos clave: coherencia, recambio de especies y agrupamiento de límites de rangos.

Estas estructuras estarían definidas por diferentes combinaciones de factores determinísticos y estocásticos que influyen en la estructura metacomunitaria. Estos factores estarían integrados en los modelos de dinámica de parches, selección de especies, efecto de masa y neutral. El enfoque metacomunitario es fundamental para entender y enfrentar procesos como el cambio de uso del suelo, la fragmentación de hábitats y el cambio climático.

Palabras clave: Metacomunidades, recambio de especies, efecto de masa, subconjuntos anidados.

Estructura y dinámica de metacomunidades

Las comunidades naturales no surgen de la noche a la mañana, ni se mantienen estáticas en el tiempo, son sistemas dinámicos complejos donde las condiciones locales del medioambiente y las interacciones entre especies influyen patrones de coexistencia y abundancias relativas de las especies que van más allá de la escala local lo que destaca el papel fundamental del espacio y el tiempo en la comprensión de esos patrones.

La comprensión de las reglas y patrones de estructuración de comunidades es un tema central de la ecología de comunidades actual. Desde hace más de un siglo ha existido este interés; así, los trabajos de Clements (1916) sugieren que las comunidades están fuertemente estructuradas por factores determinísticos en tipos de comunidades específicas (discretas), ya que la composición está limitada por las características del hábitat y las interacciones entre las especies. Mientras que, para Gleason (1927), la estructura de comunidades representa

una situación en la que las especies responden de forma individualista a gradientes ambientales (temperatura, precipitación, altitud, disturbio, etc.) y, como resultado, la composición de la comunidad está dada a lo largo de un continuo independientemente de otras especies y la coexistencia es resultado de similitudes en los requerimientos y tolerancias ambientales. Debido a que generalmente las comunidades locales no se estructuran de manera independiente de los procesos que se llevan a cabo a escala regional (Mouquet y Loreau, 2002; Leibold *et al.* 2004), es necesario considerar el estudio de comunidades locales dentro de una metacomunidad, ya que probablemente los procesos que se llevan a cabo a estas dos escalas espaciales darán diferentes dinámicas que pueden alterar de manera directa o indirecta la diversidad local de especies (Leibold, *et al.* 2004); en otras palabras, las comunidades locales al estar interconectadas son influenciadas por procesos regionales tales como la dispersión y el filtrado ambiental, entre otros. Así, cada comunidad puede actuar como una fuente de propágulos para otras comunidades de la región lo que puede influir en la estructura y dinámica subsecuente de un nivel supracomunitario: la metacomunidad (Mouquet y Loreau, 2002). Esta se define como “un conjunto de comunidades locales que están conectadas por la dispersión de múltiples especies que pueden potencialmente interactuar” (Leibold, *et al.* 2004, p. 601). El ámbito del enfoque metacomunitario puede ir desde comunidades de microartrópodos en parches de líquenes sobre un tronco de un árbol (pequeña escala), hasta estudios a través de provincias biogeográficas o continentes (gran escala). Por lo tanto, el nivel de metacomunidad permite integrar dinámicas locales y regionales, así como evaluar procesos de ensamble, tales

como la limitación de la dispersión, filtros ambientales e interacciones bióticas (Leibold, *et al.*, 2004).

Considerando todo esto, identificar los patrones de distribución de las especies a nivel regional es importante para poder formular hipótesis sobre los posibles procesos que influyen en estas distribuciones (Presley y Willig, 2023). En general, se han identificado varios modelos teóricos sobre la distribución de las especies, además de los mencionados clementsiano y gleasoniano. Recientemente han cobrado auge cinco estructuras (Leibold y Mikkelsen, 2002) (Figura 1): (1) Clementsiana; son comunidades discretas que se reemplazan entre sí a lo largo de gradientes ambientales y comparten pocas especies con otras comunidades, y la coexistencia depende de la interacción entre las especies, lo que origina límites de rangos de distribución coincidentes para varias especies, como se observa en la figura 1a. (2) Gleasoniana; las especies se distribuyen individualmente a lo largo de gradientes ambientales independientemente de las otras especies, y la coexistencia es un resultado casual de las similitudes en sus requisitos y tolerancias (Gleason 1927), ver figura 1b. (3) Uniformemente dispersada; esta distribución es debido a que la competencia entre las especies provoca que éstas se distribuyan de manera uniforme a lo largo de gradientes formando comunidades no discretas (Tilman, 1982) ver Figura 1c. (4) Al azar; en este modelo no hay un patrón de distribución de las especies (Simberloff, 1983), ver Figura 1d. (5) Subconjuntos anidados; las comunidades pobres en especies forman conjuntos anidados de comunidades cada vez más ricas en especies (Patterson y Atmar, 1986), como se observa en la Figura 1e.

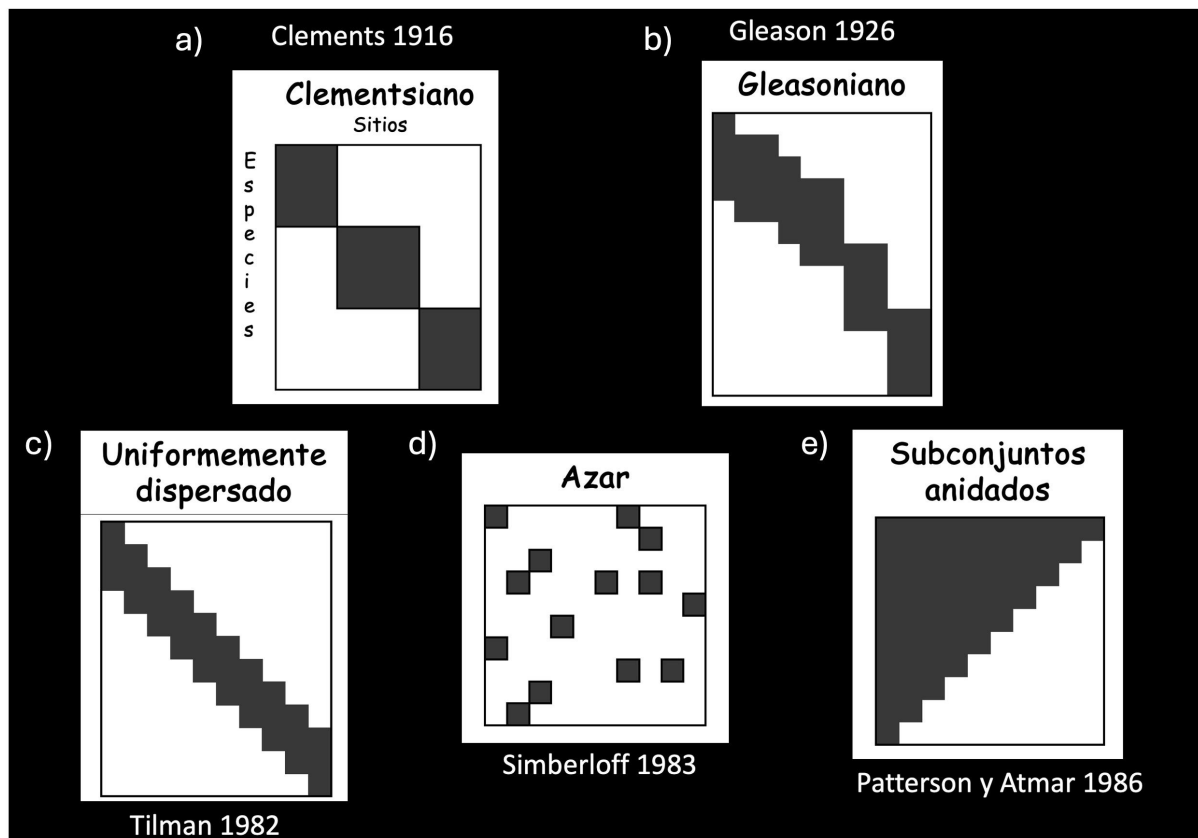


Figura 1: Representación gráfica de los cinco patrones idealizados de la distribución de las especies en una metacomunidad. Modificado de Leibold y Mikkelsen (2002, p39 - 41)

Elementos de la estructura de la metacomunidad

Para identificar si la distribución de las especies presentes en las comunidades locales dentro de una metacomunidad se ajusta a alguno de los patrones idealizados, Leibold y Mikkelsen en (2002), propusieron un análisis de elementos de la estructura de la metacomunidad (EMS, por sus siglas en inglés), a partir de las siguientes medidas: (1) Coherencia, que es el grado de continuidad en el rango de distribución de las especies a lo largo de un gradiente ambiental; si en un conjunto de comunidades locales, las especies presentan una distribución coherente, se observará una secuencia continua de ocurrencia de las especies a lo largo del gradiente (Figuras 1a, b, c y e). (2) Recambio de especies, que es el reemplazo de una especie por

otra entre comunidades, un ejemplo es el patrón clementsiano. En la figura 1a, se puede ver que las especies que están presentes en el primer bloque de sitios (en la esquina superior izquierda) no se encuentran presentes en los dos bloques restantes, es decir, son reemplazadas por otras especies en otras comunidades locales. (3) Agrupamiento de límites de rangos de distribución, que se refiere a cuán similares o diferentes son los límites de los rangos de distribución de las especies. Este análisis (EMS) se basa en un análisis multivariado de ordenación a lo largo de un gradiente indirecto, por ejemplo, cuando la metacomunidad presenta coherencia, con agrupamiento de límites negativo o no significativo, tenemos patrones gleasonianos o uniformemente espaciados. Así, este análisis nos permite identificar patrones, pero no implica

determinar qué procesos están actuando para generarlos (Leibold y Mikkelsen, 2002).

Principales procesos de estructuración: procesos estocásticos y determinísticos interactuando

Históricamente, los ecólogos de comunidades se han enfocado más en los factores determinísticos como son los filtros ambientales y las interacciones interespecíficas, que en los factores estocásticos (dispersión, inmigración, extinción, disturbio, etc.) para intentar explicar la estructura de las comunidades. Así, por ejemplo, se propuso el principio de exclusión competitiva de Gause, “dos especies con requerimientos idénticos no pueden coexistir indefinidamente”. Este principio implica que solo debe de haber un solapamiento limitado entre los límites de nichos para que las especies coexistan, de tal modo que la competencia entre ellas sea reducida hasta cierto nivel permitido. Recientemente, una visión neutral de la dinámica de las comunidades sugiere que muchos patrones pueden ser explicados a partir de procesos estocásticos (tasa de natalidad y mortalidad, dispersión, disturbios). Esta teoría neutral supone que las especies son funcionalmente equivalentes a nivel de comunidad, es decir, todas las especies tienen la misma capacidad de competencia y de dispersión. Sin embargo, actualmente se considera que durante el ensamble de las comunidades intervienen factores tanto estocásticos como determinísticos, que pueden generar diferente composición de especies. Definir cuáles mecanismos son más importantes (debate de muchos años) es complicado, ya que la influencia de cada uno de los factores tanto bióticos como abióticos varían en espacio y tiempo. Por ejemplo, si hay un claro o

lugar vacío el ensamble de la comunidad en un inicio estará dado por dispersión, entrada de individuos de diferentes especies al lugar, permaneciendo las que logren sortear las condiciones ambientales. Conforme el tiempo pasa, al haber cada vez más especies en el sitio, la estructura de la comunidad estará influida principalmente por las interacciones interespecíficas (entre especies), aunque siguen actuando factores estocásticos como la dispersión, disturbios naturales, etc. Claro que esto no es estático ni secuencial, sino que varía entre comunidades y en el tiempo.

Chase (2007) introdujo al azar especies de productores primarios e invertebrados en lagos experimentales (simulando dispersión natural). Después de dos años de seguimiento del ensamble, se produjo una sequía solo en algunos lagos y dos años más tarde hizo un censo de las comunidades. Encontró que, en los lagos donde no hubo sequía, la composición de especies fue diferente, mientras que, en los lagos con sequía la composición de especies fue similar. Con este experimento demostró que el proceso de ensamble por dispersión (proceso estocástico) fue importante en los lagos sin sequía, pero, en los lagos con sequía el ensamble por dispersión fue menos importante y fue más importante el ensamble por las condiciones ambientales y la competencia (proceso determinístico). Es importante considerar que el mecanismo o mecanismos que estén actuando van a variar entre comunidades, entre ambientes y también a través del tiempo. Al hacer programas de conservación hay que tomar en cuenta esta variabilidad, que se expresa de manera muy clara en la naturaleza dinámica de las comunidades.

Modelos mecanicistas de la dinámica de metacomunidades

Varios modelos basados en procesos que dan lugar a los diferentes patrones de distribución de las especies son propuestos a nivel de metacomunidad y forman la base de un marco mecanicista, pero una síntesis reciente propone cuatro paradigmas que evalúan el efecto de la heterogeneidad ambiental entre parches (nivel local), la conectividad de las comunidades (nivel regional) en la composición de especies de las comunidades.

El modelo de *dinámica de parche* reconoce que los procesos espaciales son los que determinan la composición de las comunidades locales, por lo que, se supone que todos los parches son iguales (mismas condiciones ambientales) y que las especies tienen diferentes capacidades para colonizar y competir permitiendo una coexistencia temporalmente dinámica. Es decir, la coexistencia de las especies está dada por una compensación de competencia-colonización (Figura 2a).

El modelo de *selección de especies* se enfoca en procesos determinísticos, es decir, los parches son heterogéneos y las especies responden de manera diferente a cada tipo de ambiente (proceso local). Aquí, las especies se encuentran en una localidad porque las condiciones bióticas y abióticas son favorables, esto sugiere que las especies serán favorecidas bajo ciertas condiciones ambientales y desfavorecidas en otras. Por lo tanto, la composición de especies está determinada solo por los factores

ambientales de cada comunidad (Figura 2b).

El modelo de *efecto de masa* considera que los parches son heterogéneos, que las especies responden de manera diferente a condiciones ambientales y que tienen diferentes tasas de dispersión, colonización y extinción. Sin embargo, la dispersión es lo suficientemente alta que influye en la dinámica local, permitiendo que las especies logren permanecer en parches poco adecuados. Esto significa que, aún si a una especie le va mal en un parche (alta tasa de mortalidad) logrará permanecer en la comunidad debido a la entrada continua de propágulos que llegan de otros parches (Figura 2c).

Por último, la *teoría neutral* tiene la hipótesis de que las especies son neutrales con respecto a sus interacciones interespecíficas y con respecto al ambiente, por lo tanto, no difieren en su capacidad de dispersión, competencia, tasa de natalidad y de mortalidad (Figura 2b).

Estas perspectivas no son excluyentes, ya que cada aproximación es válida dependiendo de la pregunta y de la escala espacial y temporal. Además, hay que considerar que a nivel de metacomunidad, diferentes procesos (estocásticos y determinísticos), estarían operando simultáneamente para definir las distribuciones de las especies a lo largo de un gradiente ambiental o geográfico (Leibold y Mikkelsen, 2002).

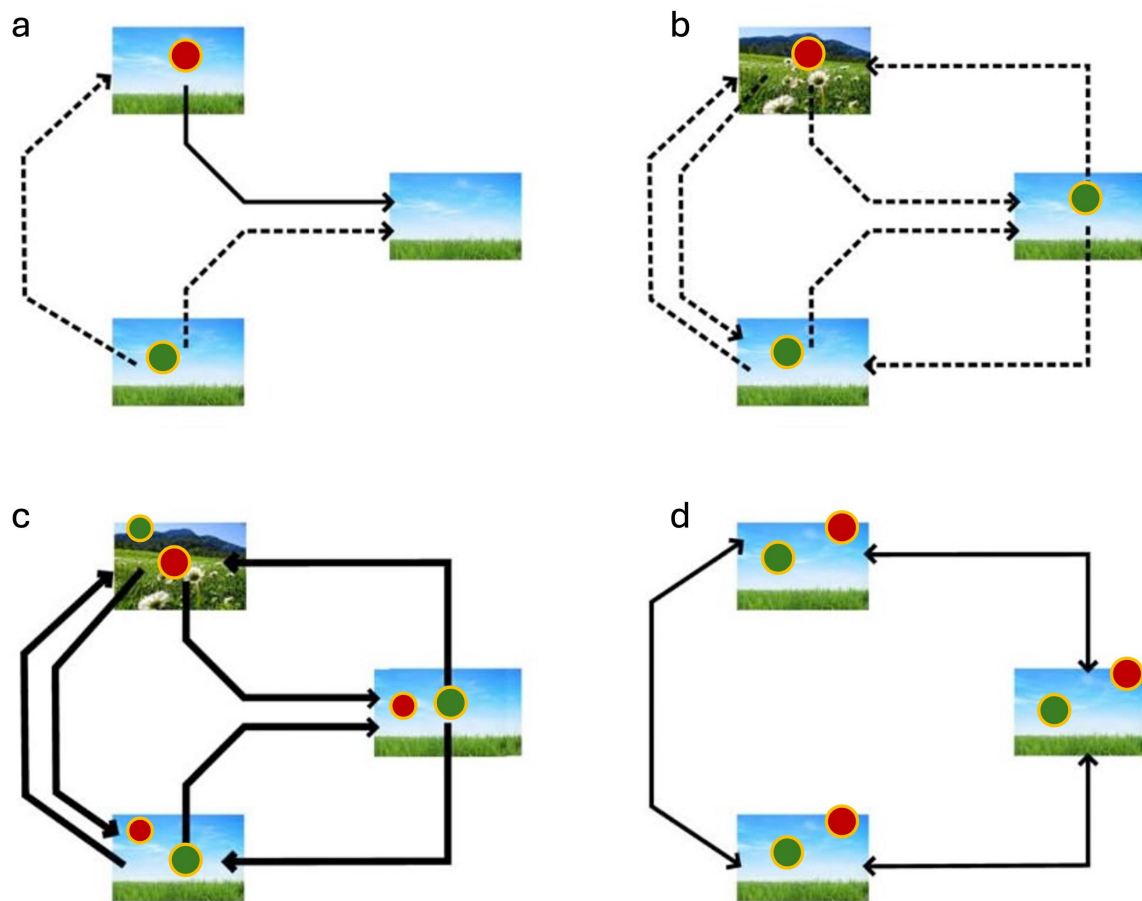


Figura 2: Esquema de los cuatro paradigmas de la teoría de metacomunidades para poblaciones de dos especies en competencia representadas por círculos rojos y círculos verdes. Las flechas conectan las poblaciones entre los sitios de colonización potenciales, que se muestran como grandes recuadros. Las flechas sólidas indican una alta capacidad de dispersión y las líneas discontinuas una baja capacidad de dispersión. Las puntas de las flechas indican la dirección o direcciones de movimiento. Los círculos grandes muestran a la especie que es más competitiva en un sitio. Los cuatro modelos son: (a) dinámica de parches (círculo rojo mejor colonizador y círculo verde mejor competidor), (b) clasificación de especies (ambas especies tienen poca capacidad de dispersión por lo que no se modifica la distribución de ninguna), (c) efectos de masa (ambas especies tienen mucha capacidad de dispersión y pueden estar en ambos parches aunque no les vaya bien en ese ambiente) y (d) neutral (ambas especies tienen misma capacidad de dispersión y de competencia por lo que pueden colonizar todos los parches). Diagrama modificado de Leibold *et al.* (2004).

Conclusiones

El estudio a nivel metacomunitario es fundamental en ecología, pues permite comprender cómo interactúan las comunidades de especies a través de múltiples hábitats y cómo estos flujos afectan la biodiversidad y dinámica de los ecosistemas en un contexto amplio. La fragmentación de hábitats, el cambio de uso del suelo y el cambio climático están alterando la conectividad y estructura de los paisajes naturales, lo cual impacta la dispersión, colonización y extinción de especies en distintas comunidades locales. Al abordar estos fenómenos desde una perspectiva metacomunitaria, los ecólogos pueden identificar patrones de intercambio de especies y respuestas adaptativas que no se perciben a nivel local o de una sola comunidad. Esto es clave para mejorar el diseño de áreas de conservación que mantengan la conectividad entre hábitats, fomentar prácticas de manejo que promuevan la resiliencia y la diversidad funcional, y predecir los efectos de perturbaciones ambientales a gran escala, apoyando así la toma de decisiones para la gestión de paisajes que enfrenten desafíos crecientes debido a la actividad humana y el cambio climático.

Agradecimientos

M. Jiménez agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) el otorgamiento de una beca de estancia posdoctoral, durante la cual desarrolló este trabajo.

Referencias

- [1] Chase, J. M. Drought mediates the importance of stochastic community assembly. *PNAS*, 104, pp.17430-17434, 2007.
- [2] Clements, F. Plant succession: an analysis of the development of the vegetation. Carnegie Institution of Washington, Washington, 1916, pp.499.
- [3] Gleason, H. A. Further views on the succession concept. *Ecology*, 8, pp.299-326, 1927.
- [4] Leibold, M. A. y Mikkelsen, G. M. Coherence, species turnover and boundary clumping: elements of metacommunity structure. *Oikos*, 97, pp. 237-250, 2002.
- [5] Leibold, M. A., Holyoak, M., Mouquet, M., Amarasekare, P., Chase, J. M., Hoopes, M. F., Holt, R. D. J., Shurin, B., Law, R., Tilman, D., Loreau M. y Gonzalez, A. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7, pp. 601-613, 2004.
- [6] Mouquet, N. y M. Loreau. Coexistence in metacommunities: the regional similarity hypothesis. *The American Naturalist*, 159, pp.420-425, 2002.
- [7] Patterson BD, Atmar W. Nested subset and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. *Biological Journal of the Linnean Society*, 28, pp.65-82, 1986. [<https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1986.tb01749.x>]
- [8] Presley, S.J., Willig, M.R. Gradients and the structure of neotropical metacommunities: effects of disturbance, elevation, landscape, and biogeography. In Myster, R.W. (eds) *Neotropical Gradients and Their Analysis*. Springer: Cham. 2023, pp.419-450. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22848-3_15]

- [9] Simberloff, D. Competition theory, hypothesis testing, and other community ecological buzzwords. *American Naturalist*, 122, pp.626-635, 1983. [<https://doi.org/10.1086/284163>]
- [10] Tilman D. Resource competition and community structure. *Monographs in Population Biology* 17. Princeton: Princeton University Press, pp.296, 1982. ISBN:9780691083025

**Enfoque bioeconómico para el
diseño de estrategias de
recuperación ante un
contexto climático incierto: El
caso de la pesquería de
abulón azul en México.**

Dr. Víctor G. Vargas López

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de
Ciencias Marinas

Dr. Francisco J. Vergara Solana

Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento
Académico de Ciencias Marinas y Costeras

Dr. Luis C. Almendarez Hernández

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de
Ciencias Marinas

Abstract

Overfishing is a global issue exacerbated by climate change. In Mexico, the green abalone fishery represents a deteriorated resource, prompting efforts to rebuild it. Certain fishery areas have been closed through a collaborative decision-making process involving fishing communities and authorities as part of the recovery plan. This study evaluated three exploitation levels under future climate scenarios to guide potential fishery reopening in those zones. A bio-economic model was developed, incorporating the effects of sea surface temperature on abalone population dynamics. Results indicate that fishing effort levels targeting the maximum sustainable yield (MSY), based on historical data, could lead to overexploitation under warming scenarios. Conversely, adopting a lower effort level that balances acceptable returns with conservation objectives may support recovery and serve as a resilient strategy in the face of climate change. Accordingly, recovery strategies should be precautionary, account for multiple sources of uncertainty, and remain adaptable to shifts in stock productivity driven by climate variability.

Keywords: Climate change, overfishing, stock rebuilding, small-scale fisheries.

Resumen

La sobrepesca es un problema global que se ve agravando por el cambio climático. En México, la pesquería de abulón azul es un ejemplo de una pesquería deteriorada. Por tal motivo se están invirtiendo esfuerzos para recuperarla. Parte del plan de recuperación incluyó el cierre de la pesquería en algunas zonas, decisión que fue tomada por las mismas comunidades pesqueras en conjunto con las autoridades. En esta investigación se evaluaron tres niveles de explotación (en caso de una reapertura de la pesquería)

bajo escenarios climáticos futuros. Para esto se creó un modelo bioeconómico que considera el efecto de la temperatura superficial del mar en la dinámica de la población de abulón. Los resultados sugieren que un nivel de esfuerzo pesquero que buscara el rendimiento máximo sostenible (RMS) estimado con los datos históricos de la pesquería podría llevar a la sobreexplotación en escenarios de calentamiento. En cambio, aplicar un esfuerzo menor pero que permita rentabilidades aceptables puede ser compatible con la recuperación y ser una estrategia resiliente al cambio climático. Por lo tanto, una estrategia de recuperación de pesquerías debería ser precautoria, y para que tenga más probabilidades de éxito, deberá reconocer que existen muchas fuentes de incertidumbre, siendo flexible al considerar que el clima genera cambios en la productividad de la población.

Palabras clave: Cambio climático, sobreexplotación, reconstrucción de pesquerías, pesquerías de pequeña escala.

Introducción

En México, al igual que en el resto del mundo, existen pesquerías que han sido aprovechadas comercialmente por encima del nivel de esfuerzo que produce el rendimiento máximo sostenible (RMS), reduciendo la productividad de nuestros mares, y en algunos casos provocando el cierre de la pesquerías (FAO, 2022). La sobrepesca es un problema global que pone en riesgo los medios de vida y la seguridad alimentaria de millones de personas. Para contextualizar la importancia de la pesca, se resalta que los productos pesqueros son los productos básicos más intensamente comercializados en el mundo; su valor es mayor que el café, el arroz, el azúcar y el maíz combinados.

El abulón de la región occidental de la Península de Baja California es ejemplo de una pesquería deteriorada. A pesar de esto, el abulón es un recurso de gran valor y demanda en el mercado internacional. Además del valor monetario, esta pesquería tiene gran importancia histórica y cultural en la península de Baja California, ya que es una pesquería con más de 100 años de antigüedad y que gracias a ella, se fundaron varios de los poblados en la región conocida como la Pacifico Norte.

A pesar de su importancia económica y social, durante las dos últimas décadas se ha producido una disminución de las capturas de abulón en México. Para ilustrar esto, las capturas han pasado de alrededor de 6,000 toneladas en la década de los 50's a 150 toneladas en el 2019. Esta caída drástica ha sido atribuida a la sobrepesca, a la pesca ilegal y a la variabilidad climática que ha provocado un aumento en la mortalidad y una disminución del éxito reproductivo.

Si bien la caída de la producción pesquera probablemente se deba a una combinación de estos factores, varias investigaciones apuntan que desde los 70's el clima en la región no ha sido favorable para el recurso, situación que pudiera empeorar si consideramos el potencial efecto del cambio climático. A pesar de que se reconoce el papel del clima en la pesquería, la toma de decisiones para su administración asume que las condiciones ambientales son estables.

Es de fundamental importancia para el manejo pesquero, y para cualquier escenario de recuperación de poblaciones, considerar explícitamente como los cambios ambientales condicionan las poblaciones de abulón. Más allá del caso de esta pesquería, comúnmente, el manejo pesquero se ha caracterizado

por presentar un enfoque biológico y monoespecífico, sin tomar en cuenta que, al ser un sistema socio-ecológico, está caracterizado por múltiples objetivos de manejo (muchas veces contrarios entre sí) condicionados a un abanico de factores ambientales, sociales y económicos.

A pesar de esto, hay que reconocer la dificultad que implica evaluar las pesquerías bajo el lente de la socio-ecología. En esta línea, desde hace algunos años, la gestión pesquera se encuentra inmersa en una transición en la que el objetivo ya no es solo gestionar el recurso, sino gestionar a los usuarios de este. En este sentido, el nivel de rentabilidad se ha reconocido en un aspecto esencial para la toma de decisiones de los usuarios de los recursos.

El enfoque bioeconómico en la pesca nos da un marco metodológico para analizar y proponer estrategias de manejo que consideren simultáneamente los factores biológicos, económicos, ambientales y sociales. Como su nombre lo indica, el concepto de bioeconomía surge del vínculo entre dos disciplinas científicas, la biología y la economía. La biología se enfoca en el estudio de las poblaciones sujetas a la explotación pesquera y todos los procesos asociados. Por su parte, la economía se encarga del estudio de cómo administrar y distribuir eficientemente los recursos.

En este sentido, en este capítulo se ejemplifica como puede emplearse un modelo bioeconómico para evaluar escenarios de recuperación para la pesquería de abulón, considerando el potencial impacto del cambio climático. Para esto, se analiza el desempeño de dos escenarios de explotación, el primero considerando el esfuerzo que produce el RMS basándose en la información histórica de la

pesquería y el segundo denominado el esfuerzo mínimo aceptable, que es como su nombre lo indica, el nivel de explotación mínimo que las comunidades consideran aceptables desde la perspectiva económica.

Metodología

El área de estudio que se analizó incluye algunos de los bancos de pesca que se encuentran desde Bahía Asunción, hasta Punta Holcomb, en la Laguna San Ignacio. Esta zona se conoce como La

Bocana (Figura 1). Se obtuvieron datos de los muestreos biológico-pesqueros realizados en la zona por INAPESCA, complementado por datos técnicos y económicos proporcionados por la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera el Progreso (SCPPP). Los datos van de 1993 al 2017, que fue cuando en esa zona se decidió, entre las cooperativas y la autoridad, cerrar la pesquería para contribuir a la recuperación de las poblaciones de abulón hasta que estas alcancen niveles en los que se pueda soportar una pesquería sostenible.

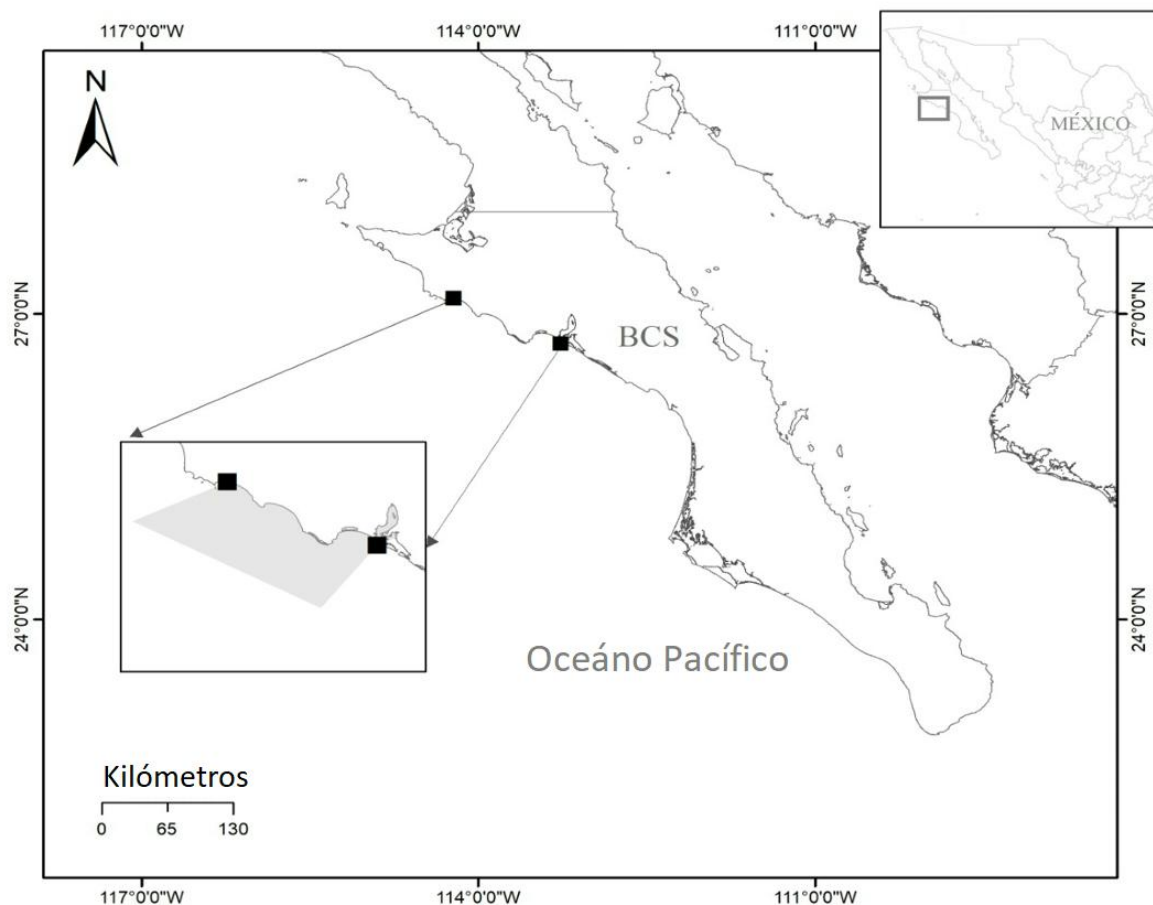


Figura 1: Ubicación geográfica y delimitación del área de estudio, La Bocana, en la costa occidental de la Península de Baja California, México.

El modelo bioeconómico parametrizado es una herramienta que nos ayuda a entender la dinámica de las poblaciones de abulón, así como el desempeño económico de la flota. Este es un modelo estructurado por edades y considera explícitamente como la temperatura superficial del mar (TSM) afecta el crecimiento, la mortalidad a la edad y el reclutamiento. El modelo consta de cuatro partes conocidas como

submodelos: el submodelo biológico, que refleja la dinámica poblacional; el submodelo ambiental, que simula los cambios anuales en la temperatura del mar; el submodelo tecnológico, que describe cómo la flota pesquera extrae los abulones; y finalmente, el submodelo económico, que ayuda a entender cómo los costos y los ingresos afectan la pesca (Figura 2; Tablas I y II).



Figura 2: Modelo bioeconómico teórico-conceptual.

El submodelo ambiental incluye información histórica sobre el clima y proyecciones de la TSM para el área de estudio. La información histórica abarca desde 2000 hasta 2017 y las proyecciones se utilizaron para simular escenarios climáticos. La información futura se basa en dos escenarios de concentración representativa de emisiones (RCP por sus siglas en inglés). Estos son escenarios utilizados para proyectar las concentraciones futuras de gases de efecto invernadero en la atmósfera y sus posibles impactos en el sistema climático. Los escenarios RCP se basan en diferentes supuestos sobre las emisiones

futuras de gases de efecto invernadero y los esfuerzos internacionales de mitigación. Se emplearon el escenario RCP 4.5 de emisiones intermedias y el escenario RCP 8.5 pesimista, y se proyectaron para el período de 2040 a 2050.

Se evaluaron tres estrategias de manejo que pudieran aplicarse en caso de que se reaperturara la pesquería de abulón en La Bocana. Las estrategias son: el ingreso mínimo del recurso (IMR), el esfuerzo histórico (EH) y el ingreso máximo por embarcación (IME). El IMR es la estrategia diseñada

por la SCPPP y se determina por el esfuerzo mínimo que genera un ingreso que cubre los costos operativos por embarcación y su costo de oportunidad laboral. Para el costo de oportunidad laboral se consideró el ingreso promedio obtenido al capturar otra especie de alto valor como la langosta roja. El EH se fijó en 25 embarcaciones, que, de acuerdo con estimaciones oficiales, es el esfuerzo que históricamente producía el RMS. El esfuerzo que produce IME se estimó a través de la optimización de la rentabilidad (maximizando la renta por embarcación), con la restricción de que el rendimiento máximo por panga para un año podría ser de 22 toneladas métricas (tm) (promedio histórico). Las simulaciones de estas estrategias de manejo comenzaron con la suposición de levantar la moratoria de la pesquería a partir de 2023 y continuar hasta 2040. La simulación representa 17 años ya que este período corresponde a la vida promedio del abulón azul.

El punto de referencia límite (PRL), en términos de biomasa, se refiere al nivel de biomasa que llevó al cierre de la pesca en 2017, el cual es de menos de 220 tm. El punto de referencia objetivo (PRO) se determinó utilizando la biomasa en rendimiento máximo sostenible que fue estimado por las autoridades pesqueras considerando el clima histórico de la zona que es de alrededor de 310 tm.

Tabla I: Descripción de las funciones utilizadas para parametrizar los cuatro submodelos del modelo bioeconómico estructurados por edades (Vergara-Solana *et al.*, 2023).

Descripción	Ecuación	Definición
Reclutamiento	$R_{\Theta t} = \frac{\sum_t SSB_t \cdot \frac{\alpha}{\Theta}}{\beta + \sum_t SSB_t}$	$\sum_t SSB_t$ = Biomasa de reproductores α = Reclutamiento máximo en el año Θ = Anomalía en la TSM β = Biomasa de reproductores en $\alpha/2$
Mortalidad natural a la edad	$M_{\Theta i} = \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{i} + (\delta \cdot \theta)$	φ_1 = Primer parámetro de la mortalidad natural a la edad φ_2 = Segundo parámetro de la mortalidad natural a la edad δ = Parámetro de ajuste Θ = Anomalía en la TSM i = Edad
Sobrevivencia de la cohorte	$\frac{dN_i}{dt} = -(F_{i,t} + M_{\Theta i})N_{i,t}$	$N_{i,t}$ = Cantidad de individuos de la edad i en el tiempo t $F_{i,t}$ = Mortalidad por pesca a la edad i en el tiempo t $M_{\Theta i}$ = Tasa de mortalidad instantánea en el tiempo i con la anomalía en la TSM Θ
Crecimiento	$L_i = L_{\infty} \left[1 - e^{-[K'(t-t_0)]} \right];$ $K' = \alpha + \beta \cdot (\theta)$	L_{∞} = Talla máxima promedio t_0 = Edad teórica a la talla 0 K' = Parámetro de curvatura determinado por las anomalías en la TSM θ α, β = Parámetros de ajuste
Relación peso longitud	$W_{i,t} = a + (L_i)^b$	L_i = Longitud a la edad i a = Parámetro de la relación peso longitud b = Parámetro de la relación peso longitud
Biomasa total	$B_t = \sum_{i=1}^{i=k} N_{i,t} W_{i,t}$	$N_{i,t}$ = Cantidad de organismos de la edad i en el tiempo t $W_{i,t}$ = Pesos de los organismos de la edad i en el tiempo t
Mortalidad por pesca	$F_{i,t} = E_t q_i$	E_t = Esfuerzo pesquero total en el tiempo t q_i = Coeficiente de capturabilidad a la edad i
Capturabilidad	$q_i = -\ln \left[1 - \left(\frac{aSEL_i C}{Area} \right) \right]$	a = Área barrida por día en km^2 $Area$ = Área de distribución en km^2 c = Probabilidad de captura
Selectividad	$Sel_i = \frac{1}{1 + e^{s_1 - s_2 * L_i}}$	s_1, s_2 = de Sparre y Venema (1998)
S1; S2	$S1 = L_{50\%} \ln \left(\frac{3}{L_{75\%} - L_{50\%}} \right) ;$ $s2 = \frac{s1}{L_{50\%}}$	$L_{50\%}$ = Longitud donde el arte de pesca retiene el 50 % $L_{75\%}$ = Longitud donde el arte de pesca retiene el 75 %
Capturas	$Y_{i,t} = B_t \left(\frac{F_{i,t}}{F_{i,t} + M_{\Theta i}} \right) * \left(1 - e^{-(F_{i,t} + M_{\Theta i})} \right)$	B_t = Biomasa total disponible en el tiempo t $F_{i,t}$ = Mortalidad por pesca a la edad i en el tiempo t $M_{\Theta i}$ = Tasa instantánea de mortalidad a la edad i con la anomalía en la TSM Θ
Cuasi renta anual	$\pi_t = \sum_s (p y_t - C_t E_t)$	$p y_t$ = Ingresos totales calculados con las capturas y el precio de venta p C_t = Costo variable por embarcación E_t = Esfuerzo pesquero; cantidad de embarcaciones
Valor Presente Neto	$VPN = \int_{y=0}^Y \pi_t e^{-\delta y}$	Y = Horizonte de simulación δ_y = Tasa de descuento

Tabla II: Parámetros de las funciones del modelo bioeconómico estructurado por edades para el abulón azul en La Bocana, B.C.S., México (Vergara-Solana *et al.*, 2023).

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad de medida
Reclutamiento inicial	R	525,000	1/año
Edad máxima	λ	17	años
Edad primera madurez	sm	5	años
Edad primera captura		5	años
Edad teórica a la talla 0	t_0	-0.55	-
Talla máxima promedio	L_{∞}	16.4	cm
Parámetro de ajuste de K con respecto a las anomalías de la TSM	α	0.1621	-
Parámetro de ajuste de K con respecto a las anomalías de la TSM	β	0.0815	-
Parámetro de la relación peso longitud	a	0	-
Parámetro de la relación peso longitud	b	3.1	-
Parámetro mortalidad a la edad	φ_1	0.210030061	-
Parámetro mortalidad a la edad	φ_2	0.560111111	-
Ajuste mortalidad con respecto a las anomalías de la TSM	δ	0.060114373	-
Parámetro del reclutamiento (Beverton-Holt)	α	1,605,000	-
Parámetro del reclutamiento (Beverton-Holt)	β	550	-
L50% retención arte de pesca	$L_{50\%_1}$	14	cm
L75% retención arte de pesca	$L_{75\%_1}$	15.5	cm
S1 Función de selectividad	S_{1i}	4.45	-
S2 Función de selectividad	S_{2i}	0.32	-
Área barrida	a_1	0.76	km ² /barco/año
Área de distribución del recurso	área	32	km ²
Probabilidad de captura	c	0.9	-
Precio de venta	P	\$41,000.00	us\$/ton
Costo de una unidad de esfuerzo	C_1	\$190.00	us\$/barco/día
Cantidad de viajes diarios en la temporada	FT	30	Días/año
Tasa de descuento	d	5.34%	1/año

Resultados

Los datos históricos de la temperatura superficial del mar en la zona de La Bocana muestran que desde el año 2000 hasta el 2017 la tendencia ha sido al alza, con varios periodos de fluctuaciones, destacando una variación positiva realmente importante entre 2006 y 2008 (Figura 3). El promedio de temperatura histórico para la zona son 20.26°C, pero de acuerdo con las proyecciones de cambio climático, si

estas se cumplen, en el escenario pesimista, para el año 2040 o 2050 la temperatura promedio será 1.3°C más alta que la tendencia histórica (21.58°C frente a 20.26°C) (Figura 3 y la Tabla III). Es esencial tomar en cuenta que a medida que el escenario proyectado se vuelve más cálido, los posibles valores de temperatura podrían presentar una variabilidad más pronunciada que con respecto a la tendencia histórica (pasando de una desviación estándar de 1.13 a 1.67) (Figura 3 y Tabla III).

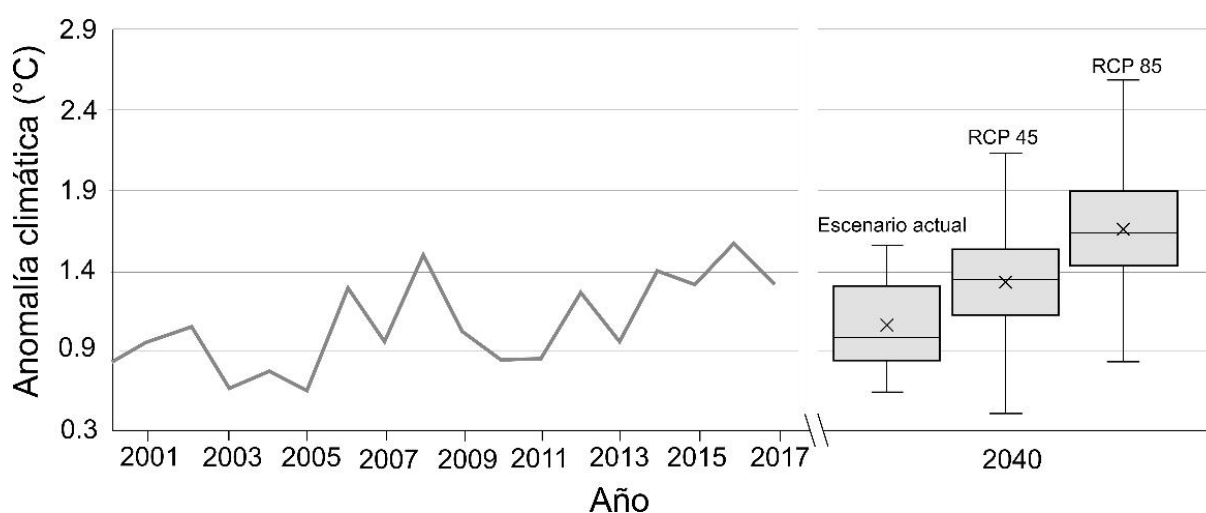


Figura 3: Anomalías de la temperatura superficial del mar históricas (2000-2017) para la zona de La Bocana y proyección para el período de 2040-2050 siguiendo tres escenarios climáticos diferentes.

Tabla III: Promedio de anomalías y valores absolutos de la temperatura superficial del mar (TSM) (en °C) para los tres escenarios climáticos en el área de estudio (escenario actual; RCP 4.5 y RCP 8.5)

Escenarios climáticos	Anomalía promedio (°C)	TSM (°C)	Desviación estándar (σ)
<i>Escenario actual</i>	1.08	20.26	1.13
RCP4.5	1.33	21.29	1.33
RCP8.5	1.67	21.58	1.67

En la figura 4 se puede apreciar como el modelo puede predecir el comportamiento histórico de la pesquería. En la figura 4 se muestran las capturas históricas observadas del año 1993 al 2017 y las capturas simuladas con el modelo para el mismo periodo, considerando la temperatura de la mar histórica y la cantidad de pangas que salían a pescar (el esfuerzo pesquero). Posteriormente, se compararon estadísticamente para validar el modelo, resultando que las dos series son estadísticamente iguales. Los datos simulados se ajustaron bastante bien a los datos observados (con un coeficiente de correlación de 0.92 y un coeficiente de determinación de 0.85). La gran caída en los desembarques, de alrededor de 90 tm a alrededor de 20 tm en seis años, se observa en ambos conjuntos de datos. Después del 2005, los desembarques tendieron a mantenerse en alrededor de 20 toneladas métricas hasta el cierre de la pesquería en la zona en el año 2017.

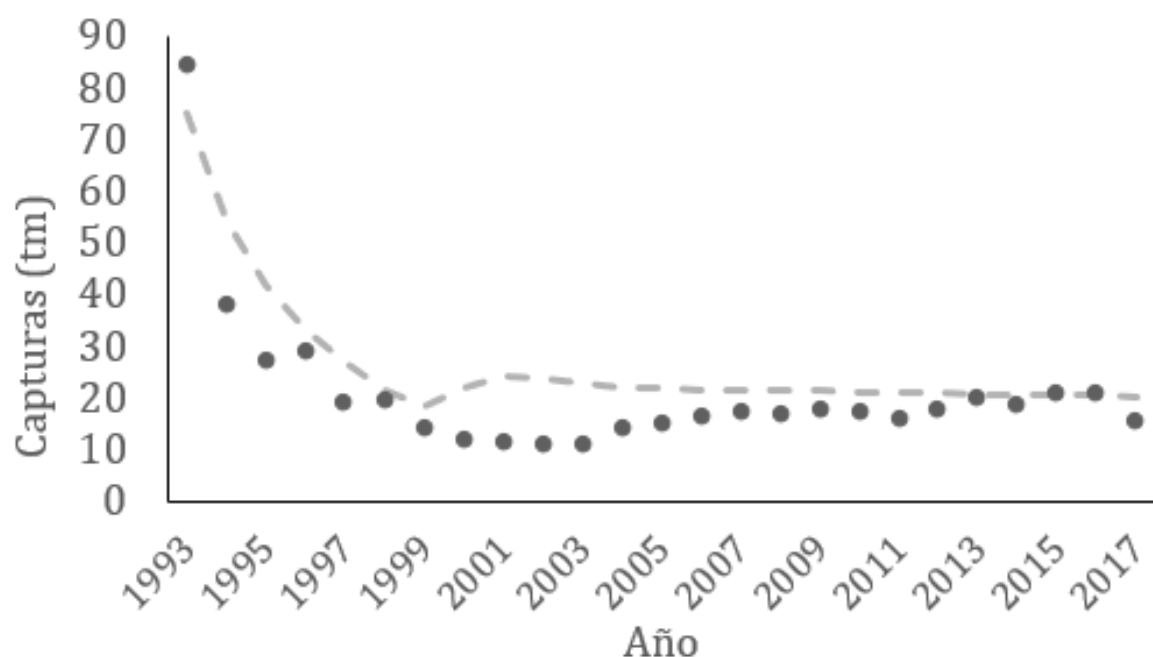


Figura 4: Desembarques históricos observados (línea discontinua) y desembarques históricos estimados con el modelo (línea de puntos) considerando el esfuerzo histórico (25 pangas) y el escenario climático actual basado con la información histórica promedio.

Una manera de ver como el cambio climático pudiese afectar la capacidad de la población para soportar una pesquería sostenible es viendo como un aumento de la temperatura afecta los procesos que regulan la dinámica de la población; puntualmente el crecimiento, la mortalidad y el reclutamiento (eficiencia reproductiva). Por un lado, conforme aumenta la temperatura los organismos tienden a llegar más rápido a su talla máxima, es decir, un incremento

en la temperatura mejora el desempeño la temperatura superficial del mar. El del crecimiento, lo que es favorable reclutamiento mejora exponencialmente para una pesquería. Pero en contraste conforme se reduce la temperatura la mortalidad aumenta y la eficiencia (figura 5). reproductiva decrece conforme aumenta

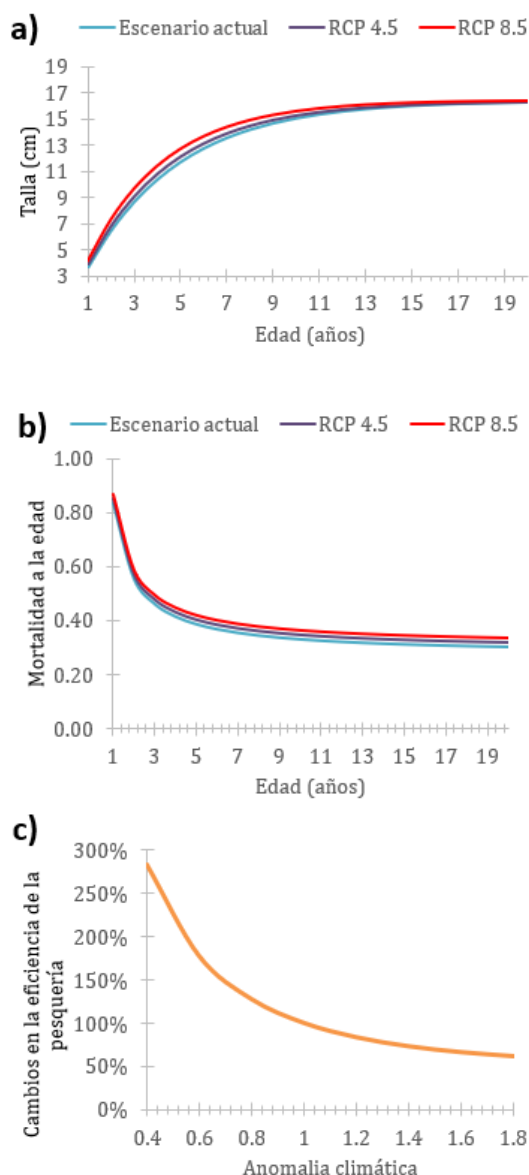


Figura 5: Efecto de la temperatura superficial del mar en el crecimiento, mortalidad y en el reclutamiento. Se muestran la talla a la edad proyectada en tres escenarios climáticos (a) y la tasa de mortalidad instantánea a la edad en los mismos escenarios climáticos (b). El efecto del cambio climático sobre el reclutamiento se muestra evaluando como cambia la eficiencia de la pesquería por los cambios en el reclutamiento causados por el clima (anomalías climáticas) (c).

Realizamos simulaciones de la pesquería utilizando diferentes estrategias de manejo que consisten en diferentes niveles de esfuerzo, es decir, cantidad de embarcaciones. El esfuerzo histórico que es el que produce el RMS en condiciones climáticas históricas, fue de 25 pangas, el IME con 16 embarcaciones y el IMR con 4 embarcaciones. Estos esfuerzos se evaluaron ante los diferentes escenarios climáticos en términos de capturas, rentabilidad (Valor presente neto: VPN) de la pesquería, de la embarcación y de la biomasa (Tabla IV).

Con los resultados de las simulaciones podemos apreciar que cuando se

aumenta el esfuerzo, los desembarques y la rentabilidad de la pesquería también aumentan. Sin embargo, la rentabilidad por barco y la biomasa aumentan a medida que disminuye el esfuerzo (Tabla IV).

Bajo escenarios de cambio climático, entre más alta sea la temperatura, el rendimiento de la pesquería disminuye en todos los indicadores: captura, biomasa y rentabilidad, tanto por barco como a nivel de toda la pesquería. En el escenario RCP 8.5, el rendimiento y la rentabilidad disminuyen alrededor del 50 % en comparación con el estado actual (Tabla IV).

Tabla IV: Valor de los indicadores de desempeño de la pesquería obtenidos con las tres estrategias de manejo evaluadas ante tres diferentes escenarios climáticos.

EH			
	<i>Escenario actual</i>	RCP 4.5	RCP 8.5
No. de embarcaciones	25	25	25
Capturas (2023–2040)	403	327	204
Rentabilidad	\$2,407,024	\$1,902,755	\$1,096,769
Rentabilidad-embarcación	\$96,281	\$76,110	\$43,871
Biomasa (2040)	357	332	250
IMR			
	<i>Escenario actual</i>	RCP 4.5	RCP 8.5
No. de embarcaciones	16	16	16
Capturas (2023–2040)	315	250	158
Rentabilidad	\$1,896,090	\$1,500,909	\$875,222
Rentabilidad-embarcación	\$118,506	\$93,807	\$54,701
Biomasa (2040)	402	369	275
IME			
	<i>Escenario actual</i>	RCP 4.5	RCP 8.5
No. de embarcaciones	4	4	4
Capturas (2023–2040)	115	92	57
Rentabilidad	\$691,391	\$547,297	\$322,191
Rentabilidad-embarcación	\$172,848	\$136,824	\$80,548
Biomasa (2040)	495	445	328

Si se mantuviera la temperatura en el estado actual, el nivel de esfuerzo histórico genera valores consistentes con el rendimiento máximo sostenible (PRO). Sin embargo, con el aumento de la temperatura, la biomasa tiende a acercarse rápidamente al PRL, que corresponde al nivel de biomasa que causó el cierre de la pesquería en

2017. De igual manera con las otras estrategias de manejo la biomasa se reduce conforme aumenta la TSM, pero, aun así, la estrategia de gestión más conservadora (IMR) podría mantener eficazmente la pesquería a un nivel compatible con el RMS incluso en el escenario climático pesimista (Figura 6).

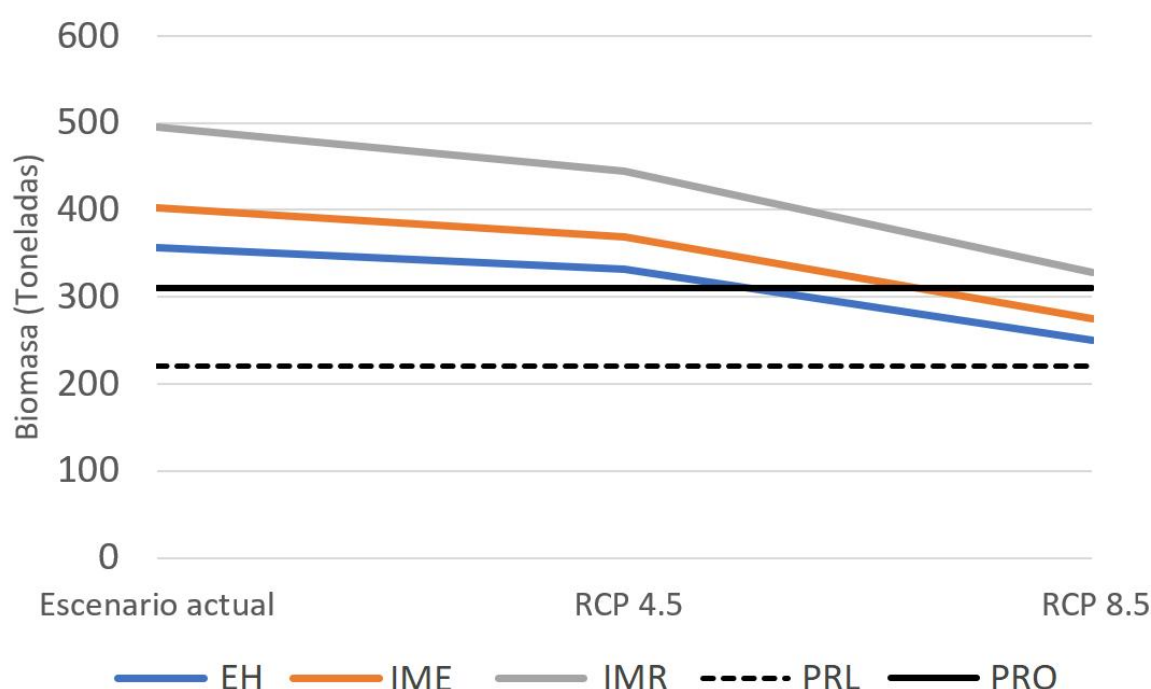


Figura 6: Biomasa proyectada al final de la simulación (2040) para cada una de las tres estrategias de manejo en los tres escenarios climáticos. La biomasa se muestra con respecto a los puntos de referencia objetivo (línea negra) y el punto de referencia límite (línea punteada).

Discusión

En muchas pesquerías, los modelos bioeconómicos se han utilizado para resolver problemas de manejo de recursos, así como para desarrollar alternativas y recomendaciones de políticas pesqueras (e.g., determinar cuotas de captura anuales, capturas por localidad y/o ubicación), todo eso

para recomendar, satisfacer o dar cumplimiento a objetivos específicos de manejo que consideren explícitamente los incentivos de los pescadores (e.g., el ingreso, trabajo) (Anderson y Seijo, 2010).

Con base en esta información, el análisis bioeconómico pesquero

tiene como primer objetivo generar recomendaciones de cómo una pesquería podría operar dados estos factores endógenos, pero interdependientes, con cambios en la flota y el tamaño de la población (que puede variar en función del clima). Como segundo objetivo, busca sugerir y analizar los procedimientos de manejo para regular a los participantes de tal manera que se obtengan los objetivos deseados (e.g., sociales, económicos o productivos) (Salas *et al.*, 2007; Anderson y Seijo, 2010).

Para ello, es fundamental conocer y/o determinar los parámetros poblacionales, sino también las variables que influyen en su variabilidad para poder construir un modelo poblacional que permita diseñar alternativas de gestión con un menor grado de incertidumbre. En este sentido, estas alternativas mejorarán en gran medida a las medidas de control y los futuros esfuerzos de gestión, permitiendo conocer las fuentes de variación que no están determinadas por la pesca como lo es el clima; además, este enfoque permite a los gestores prever las condiciones de las poblaciones sujetas a explotación o recuperación.

La pesquería del abulón mexicano es reconocida como una pesquería volátil en términos de desembarques, probablemente explicado por la sensibilidad de la población al cambio de la temperatura superficial del mar. Estudios previos ya han sugerido que el

crecimiento del abulón se beneficia del aumento de temperatura, pero que la supervivencia y el éxito reproductivo se ven afectados negativamente. Esto demuestra que los cambios de temperatura pueden generar efectos contrarios en los diferentes aspectos que regulan las poblaciones. En este caso en particular, si consideramos estos efectos del clima en su conjunto, el saldo es negativo para la pesquería; es decir un aumento en la temperatura del mar afecta negativamente el desempeño económico de la pesquería (Vargas-López *et al.*, 2021; 2023; Vergara-Solana *et al.*, 2023).

Las simulaciones realizadas en este estudio nos enseñan que, si se implementa un esfuerzo de pesca en una pesquería compatible con el RMS estimado con valores históricos, puede llevar a la sobreexplotación en escenarios de calentamiento. Esta situación ha sido evidenciada por otros autores, quienes resaltan que las probabilidades de que se recupere una pesquería se reducen drásticamente si los planes de recuperación se realizan con el supuesto de estabilidad climática (Britten *et al.*, 2017).

El riesgo señalado aquí enfatiza la necesidad de que los puntos de referencia tengan en cuenta el impacto de los cambios inducidos por el clima en la productividad (Vergara-Solana *et al.*, 2023). Por lo tanto, basándonos en los hallazgos de las simulaciones,

se recomienda que las decisiones de gestión del abulón se aborden con un alto nivel de precaución. La estrategia de gestión basada con el esfuerzo mínimo aceptable por las cooperativas (IMR) puede servir como un enfoque precautorio, permitiendo a los pescadores operar con un esfuerzo mínimo generando utilidades. Esta estrategia puede aliviar algunas de las cargas financieras de la comunidad de un cierre prolongado de la actividad, permitiendo que continúen los esfuerzos de recuperación (Vergara-Solana *et al.*, 2023).

Al diseñar una estrategia para recuperar una pesquería, debe reconocerse que incluso cuando las poblaciones se recuperan, es posible que no alcancen el nivel de biomasa previo al colapso (Lotze *et al.*, 2011). Es probable que este sea el caso del abulón mexicano, debido a las condiciones climáticas desfavorables en la región (Ponce-Díaz *et al.*, 2003). Sin embargo, a pesar de que probablemente no se alcancen los niveles históricos, la pesquería aún es rentable incluso con una cuota menor.

Conclusiones

Es importante reconocer que para reconstruir una pesquería se requiere de un esfuerzo que puede llevar muchos años (probablemente décadas) y que los factores ambientales pueden afectar dichos planes de recuperación. Por eso es aconsejable no diseñar planes de recuperación que consideren únicamente

escenarios climáticos favorables. En este sentido los planes de recuperación tienen que ser precautorios y monitoreados de cerca y de forma continua. Finalmente, para evitar falsas expectativas (ya que puede ser contraproducente) se recomienda que tanto la incertidumbre en torno a estos planes de recuperación, así como los avances y resultados, se deben de comunicar de manera constante y transparente a los principales interesados: las comunidades pesqueras.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Progreso y al INAPESCA por compartir los registros y datos aquí analizados. El financiamiento fue proporcionado por el Proyecto CONACyT No. 320501 y el SNI (Sistema Nacional de Investigadores). LCAH agradece al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo del programa EDI y el proyecto SIP-20230859.

Referencias

- [1] Anderson, L.G. y Seijo, J.C. *Bioeconomics of Fisheries Management*. John Wiley & Sons, 2010
- [2] Britten, G.L., Dowd, M., Kanary, L. y Worm, B. Extended fisheries recovery timelines in a changing environment. *Nat Commun* 8, 15325, 2017 <https://doi.org/10.1038/ncomms15325>
- [3] FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue*

- Transformation*. Rome, FAO, 2022
<https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- [4] Lotze, H.K., Coll, M., Magera, A.M., Ward-Paige, C. y Airolidi, L. Recovery of marine animal populations and ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 26, 595–605, 2011
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.07.008>
- [5] Ponce-Díaz, G., Lluch-Cota, S.E., Bautista-Romero, J.J. y Lluch-Belda, D. Caracterización multiescala de la temperatura del mar en una zona de bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias marinas* 29, 291–303, 2003
- [6] Salas, S., Chuenpagdee, R., Seijo, J. C., y Charles, A. Challenges in the assessment and management of small-scale fisheries in Latin America and the Caribbean. *Fisheries Research*, 87(1), 5–16, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.06.015>
- [7] Vargas-López, V.G., Vergara-Solana, F. y Arreguín-Sánchez, F. Effect of environmental variability on the individual growth of yellow abalone (*Haliotis corrugata*) and blue abalone (*Haliotis fulgens*) in the Mexican Pacific. *Regional Studies in Marine Science* 46, 101877, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101877>
- [8] Vargas-López, V.G., Vergara-Solana, F.J. y Almendarez-Hernández, L.C. Environmental related age-specific natural mortality of a high-value species: The case of Mexican green abalone fishery. *Regional Studies in Marine Science* 62, 102938, 2023 <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102938>
- [9] Vergara-Solana, F. J., Vargas-López, V. G., Bolaños-Durán, E., Paz-García, D. A., y Almendarez-Hernández, L. C. Bioeconomic analysis of stock rebuilding strategies for the green abalone fishery in Mexico under climate uncertainty. *Ocean & Coastal Management*, 243, 106759, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106759>



