



# LOS RESIDUOS PESQUEROS, ACUÍCOLAS Y BIOMASA DE ALGAS: POSIBILIDADES DE SU APROVECHAMIENTO EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Experiencias transdisciplinarias/sustentables  
con enfoque a la soberanía alimentaria

## EDITORES

Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez, Dr. Juan Carlos Cuevas Bernardino,  
Dra. Neith Aracely Pacheco López, Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera,  
Dr. Sergio Valdivia Rivera

## EDITOR COMPILADOR

Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez

# Los residuos pesqueros, acuícolas y biomasa de algas: posibilidades de su aprovechamiento en la península de Yucatán

Experiencias transdisciplinarias/sustentables  
con enfoque a la soberanía alimentaria





# Los residuos pesqueros, acuícolas y biomasa de algas: posibilidades de su aprovechamiento en la península de Yucatán

Experiencias transdisciplinarias/sustentables  
con enfoque a la soberanía alimentaria

## **Editor compilador**

Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez

## **Editores**

Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez

Dr. Juan Carlos Cuevas Bernardino

Dra. Neith Aracely Pacheco López

Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera

Dr. Sergio Valdivia Rivera



***Los residuos pesqueros, acuícolas y biomasa de algas: posibilidades de su aprovechamiento en la península de Yucatán. Experiencias transdisciplinarias/sustentables con enfoque a la soberanía alimentaria.***

**Editor compilador:** Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez

**Editores:** Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez, Dr. Juan Carlos Cuevas Bernardino, Dra. Neith Aracely Pacheco López, Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera, Dr. Sergio Valdivia Rivera

**ISBN** 978-607-8734-83-2

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14719822>

Materia: 664 - Tecnología de alimentos-Ciencia y tecnología

(THEMA): TDCT2 - Ingeniería y procesos de transformación de alimentos y bebidas.

186 pp.; 17x23 cm.

Cita (APA): Cabrera-Ramírez, A. H., Cuevas-Bernardino, J. C., Pacheco López, N., Ayora Talavera, T. del R., & Valdivia-Rivera, S. (2025). Los residuos pesqueros, acuícolas y biomasa de algas: posibilidades de su aprovechamiento en la península de Yucatán. Experiencias transdisciplinarias/sustentables con enfoque a la soberanía alimentaria. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14719822>

*Los residuos pesqueros, acuícolas y biomasa de algas:  
posibilidades de su aprovechamiento en la península de Yucatán  
Experiencias transdisciplinarias/sustentables con enfoque a la soberanía alimentaria  
Primera edición, 2024*

D.R. © 2024, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (978-607-8734)

Editor compilador: Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez

Editores: Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez, Dr. Juan Carlos Cuevas Bernardino, Dra. Neith Aracely Pacheco López, Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera, Dr. Sergio Valdivia Rivera

Diseño de portada: Correctores de Estilo MX

Diseño de interiores: Rubí H. García, Correctores de Estilo MX

+524436856386

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos en la reprografía y el tratamiento informático, a la fotocopia o la grabación, sin la previa autorización por escrito de los editores. Impreso en México - *Printed in Mexico.*



# Índice

<b>Prólogo</b> .....	<b>9</b>
<b>Capítulo 1. La soberanía alimentaria en productos de la pesca y acuicultura</b>	<b>11</b>
1.1 Introducción .....	12
1.2 Concepto y principios de soberanía alimentaria .....	13
1.3 Autonomía alimentaria en la pesca y acuicultura .....	15
1.4 Diversificación de la producción y la dieta .....	18
1.5 Sostenibilidad ambiental y social .....	19
1.6 La soberanía alimentaria en las comunidades pesqueras y acuícolas de Yucatán: una reflexión desde la equidad y justicia alimentaria .....	22
1.7. Conclusiones y perspectivas futuras .....	26
Referencias .....	27
<b>Capítulo 2. Especies marinas y acuícolas poco valorizadas en la península de Yucatán</b> .....	<b>31</b>
Resumen .....	31
2.1 Introducción .....	32
2.2 Contexto Nacional .....	33
2.3 Principales regiones en México con captura de especies marinas .....	33
2.4 Principales regiones en México con cultivo de especies acuícolas.....	35
2.5 Contexto regional península de Yucatán .....	36
2.6 Especies marinas de mayor captura en Campeche.....	38
2.7 Especies marinas capturadas con potencial en Campeche .....	40
2.8 Perspectivas de la pesca y acuicultura en la península de Yucatán.....	42
2.9 Conclusiones .....	43
Referencias .....	44
<b>Capítulo 3. Biotransformación de residuos pesqueros y acuícolas a productos de valor</b> .....	<b>47</b>
Resumen .....	47
3.1 Introducción .....	48
3.2 Biotransformación de residuos a partir de residuos de la pesca y acuicultura	49
3.4 Técnicas de análisis utilizadas en la biotransformación de residuos pesqueros y acuícolas.....	61
3.4 Conclusiones.....	63
Referencias .....	64

<b>Capítulo 4. Aplicaciones de biomateriales de quitina/quitosano derivado de diferentes fuentes naturales.....</b>	<b>69</b>
Resumen .....	69
4.1 Introducción .....	70
4.2 Definición de quitina y quitosano .....	70
4.3 Fuentes de obtención de quitosano.....	73
4.4 Métodos obtención de la quitina y quitosano .....	74
4.5 Aplicaciones de la quitina .....	77
4.6 Conclusiones y perspectivas.....	80
Referencias .....	81
<b>Capítulo 5. Aprovechamiento integral de biomasa proveniente de macroalgas (como el sargazo) en la región de la península de Yucatán.....</b>	<b>87</b>
Resumen .....	87
5.1 Importancia de la caracterización de macroalgas .....	88
5.2 Limitantes para el aprovechamiento de sargazo.....	90
5.3 Usos potenciales del sargazo .....	91
5.4 Conclusión.....	99
Referencias .....	100
<b>Capítulo 6. Perspectiva sobre algunas tecnologías solares para el deshidratado de productos agrícolas y residuos pesqueros en comunidades de Yucatán ....</b>	<b>105</b>
Resumen .....	105
6.1 Introducción .....	106
6.2 Secado solar .....	109
6.3 Tipos de secadores solares .....	110
6.4 Desarrollo y prueba de prototipos de baja escala para la diseminación de tecnologías de secado solar.....	114
6.5 Transferencia y apropiación de la tecnología .....	122
6.6 Retroalimentación e intercambio de saberes.....	125
6.9 Conclusiones y perspectivas de la incidencia social .....	127
Agradecimientos .....	127
Memoria fotográfica .....	127
Referencias .....	130
<b>Capítulo 7. Contaminantes ambientales en la península de Yucatán.....</b>	<b>131</b>
Resumen .....	131
7.1 Introducción .....	132
7.2 Contaminación en productos de la pesca y acuicultura.....	133

7.2 Presencia de sustancias contaminantes en la península de Yucatán: metales pesados, microcontaminantes y pesticidas.....	134
7.3 Detección de contaminantes en productos pesqueros .....	136
7.4 Propagación de contaminantes a través del sector agrícola .....	137
7.5 Consecuencias de la contaminación en la península de Yucatán y vaticinio de las problemáticas por venir: caso de la mortandad de abejas.....	141
7.6 Conclusión .....	145
Referencias .....	146
<b>Capítulo 8. Microplásticos en peces.....</b>	<b>151</b>
Resumen .....	151
8.1 Introducción .....	152
8.2 Microplásticos en peces y tiburones .....	153
8.3 Recomendaciones para el estudio de los microplásticos en peces y tiburones	157
8.4 Conclusiones .....	157
Referencias .....	158
<b>Capítulo 9. Experiencias transdisciplinarias en la elaboración de productos: biotecnología y sociedad.....</b>	<b>161</b>
Resumen .....	161
9.1 Introducción .....	162
9.2 La ciencia posnormal: la ciencia con la gente y el caso de la soberanía alimentaria en Yucatán .....	164
9.3 Aplicaciones y experiencias transdisciplinarias en la elaboración de productos en la península de Yucatán en el marco del proyecto 321295.....	165
9.4 Lecciones aprendidas y consideraciones finales .....	179
9.5 Conclusiones.....	180
Agradecimientos.....	180
Referencias .....	181





# Prólogo

Dadas las problemáticas ambientales globales, vivimos en un mundo cada vez más consciente de la importancia de la sostenibilidad y de la necesidad de proteger nuestros recursos naturales. Esta obra representa un esfuerzo colectivo y transdisciplinario por abordar una problemática de vital relevancia: el aprovechamiento integral de los residuos pesqueros, acuícolas y biomasa de algas en la península de Yucatán. El presente libro emerge del proyecto “Desarrollo e implementación de metodologías sustentables para el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas de la península de Yucatán, para su valorización como ingredientes alimenticios nutritivos y productos funcionales” [Propuesta No. 321295, Convocatoria Soberanía Alimentaria 2022-1], siendo una respuesta directa a los desafíos que enfrentan las comunidades locales, amenazadas por prácticas insostenibles, desigualdades económicas-sociales y la necesidad inherente de asegurar su soberanía alimentaria. Además, al formar parte del **Laboratorio Nacional CONAHCYT de Toxicología Socioambiental (LANCTOXS)**, las soluciones propuestas en esta obra buscaron minimizar el uso de sustancias contaminantes y promover prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente.

Como muchas problemáticas nacionales, el contexto en el que se enmarca este libro es complejo y multifacético, como lo es la realidad de las comunidades que habitan la península de Yucatán. En ese sentido, México es un país con una vasta biodiversidad marina y cuenta con una posición privilegiada en términos de recursos pesqueros y acuícolas. Sin embargo, a pesar de contar con muchos kilómetros de costa, en las zonas rurales y costeras de la península de Yucatán el desconocimiento de los beneficios y la falta de infraestructura para la conservación y transformación de estos recursos han limitado su aprovechamiento y ha minimizado su impacto a la producción pesquera nacional. Como agravante de la situación, se suma la llegada masiva de algas a las costas del Caribe mexicano (como el sargazo). Aunque estas algas representan un desafío ambiental significativo para la región, desde otra perspectiva también ofrecen una oportunidad excepcional para transformarse en productos de alto valor agregado.

Este libro no es solo un compendio de conocimientos científicos y tecnológicos, sino también un testimonio del esfuerzo conjunto entre la comunidad científica y las comunidades locales, teniendo como eje central la *Transdisciplina* (integración de saberes científicos y tradicionales) para la generación de soluciones que no solo sean técnicamente viables, sino también socialmente justas y culturalmente relevantes. A lo largo de estas páginas, los lectores encontrarán ejemplos concretos de cómo la ciencia puede y debe dialogar e integrar los saberes locales, creando puentes que fortalezcan la autonomía alimentaria y promuevan la equidad social. Cada capítulo,

además de ofrecer un contenido técnico riguroso en un lenguaje amable, se enriquece con experiencias de campo, testimonios y reflexiones surgidas del trabajo directo con las comunidades de la península.

La colaboración sólida de un equipo interdisciplinario de científicos, técnicos y miembros de las comunidades locales ha sido clave para el desarrollo de este proyecto. Así mismo, los editores de este libro, el Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez, el Dr. Juan Carlos Cuevas Bernardino, la Dra. Neith Aracely Pacheco López, la Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera y el Dr. Sergio Valdivia Rivera, así como los autores de cada capítulo, han sabido conjugar la ciencia con la acción participativa, promoviendo un modelo replicable que podría implementarse en otras regiones del país y del mundo. Todo lo anterior, manteniendo un lenguaje claro y ameno, donde la ciencia no solo busca respuestas, sino que también se nutre de la sabiduría ancestral de quienes han habitado estas tierras por generaciones.

Finalmente, nos gustaría destacar que este libro es un **homenaje a las comunidades de la península de Yucatán**, cuya participación y conocimientos han sido fundamentales para la culminación de este proyecto. Esperamos que los lectores se sientan inspirados a continuar explorando y aplicando los principios aquí expuestos, contribuyendo así a un mundo más justo y sostenible.

Dra. Neith Aracely Pacheco López  
Dr. Ángel Humberto Cabrera Ramírez

# Capítulo 1

## La soberanía alimentaria en productos de la pesca y acuicultura

Victoria. G. Aguilar-Raymundo<sup>1</sup>, Jeny A. Rincón-Aguirre<sup>2</sup>, Jaime E. Dominguez-Ayala<sup>3</sup>, Sergio Valdivia-Rivera<sup>4</sup>, Neith A. Pacheco-López<sup>5\*</sup>, Ángel H. Cabrera-Ramírez<sup>5\*</sup>

\*Autor de correspondencia: [acabrera@ciatej.mx](mailto:acabrera@ciatej.mx); [npacheco@ciatej.mx](mailto:npacheco@ciatej.mx)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14721474>

### Resumen

Este capítulo se centra en la importancia de la equidad y justicia alimentaria en el sector pesquero y acuícola de la península de Yucatán, dentro del contexto de la seguridad y soberanía alimentaria. Se destacan los conceptos de equidad y seguridad alimentaria, definiendo cada uno y resaltando sus diferencias. Asimismo, se identifican los principales desafíos que enfrenta la soberanía alimentaria, como la autonomía alimentaria en la pesca y acuicultura, la diversificación de la producción y la dieta, y la sostenibilidad ambiental y social. Finalmente, se reflexiona sobre la soberanía alimentaria en un contexto de equidad y justicia en las comunidades pesqueras y acuícolas de la península de Yucatán, planteando las perspectivas futuras de la soberanía alimentaria en la pesca y acuicultura en esta región. Se resalta que, a pesar de que los retos son grandes, existen oportunidades prometedoras para avanzar hacia un sistema alimentario más justo, sostenible y soberano en la península de Yucatán. Sin embargo, se requiere un esfuerzo continuo y colaborativo de todos los sectores involucrados para asegurar un futuro equitativo y sostenible para las generaciones actuales y futuras.

**Palabras clave:** soberanía alimentaria; justicia alimentaria; pesca sostenible; equidad alimentaria.

---

<sup>1</sup> Programa Académico de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Politécnica de Pénjamo. Carretera Irapuato-La Piedad Km 44. Predio el Derramadero. CP 36921 Pénjamo, Gto. México

<sup>2</sup> Tecnológico de Monterrey, School of Engineering and Sciences, Av. Eugenio Garza Sada 2501, 64849, Monterrey, N.L., México

<sup>3</sup> Instituto Politécnico Nacional, CICATA unidad Querétaro. Cerro Blanco No. 141. Col. Colinas del Cimatario. C.P. 76090, Santiago de Querétaro, Querétaro, México

<sup>4</sup> CONAHCYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Km 5.5 Carretera, Sierra Papacal-Chuburná, Chuburná, Mérida 97302, Yucatán, México

<sup>5</sup> Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Km 5.5 Carretera, Sierra Papacal-Chuburná, Chuburná, Mérida 97302, Yucatán, México

## 1.1 Introducción

Imagina por un momento las cálidas aguas que rodean la península de Yucatán, donde el mar es mucho más que una hermosa postal. Es un tesoro invaluable que ha nutrido a generaciones enteras y ha dado forma a los usos, las costumbres, la cultura y la identidad de los pueblos y ciudades asentados a lo largo del litoral peninsular durante siglos. Desde tiempos inmemoriales, la pesca ha sido el centro del sustento de estas tierras. Los antiguos habitantes de la región, los mayas, eran conocedores de los secretos de las aguas y sabían cómo aprovechar su riqueza de manera planificada y sostenible. El mar no solo proveía alimento diario, sino que representaba un ritual sagrado, una forma de entablar una relación con el mundo natural y de generar bendiciones de abundancia y prosperidad.

Con el tiempo, la pesca se convirtió en una de las muchas actividades económicas que sostienen a las familias que viven en la península de Yucatán y que generan riqueza. Las comunidades pescadoras salían al mar con la esperanza de una buena captura para asegurar comida cada día, mientras que las localidades costeras se organizaban para la venta e intercambio de productos marinos. Cada especie capturada tiene su historia, transmitida de boca en boca, hasta transformarse en leyendas contadas por generaciones en los pueblos costeros. Sin embargo, en las últimas décadas esta tradición se vio amenazada con la llegada de un nuevo esquema alimentario a nivel nacional, en conjunto con la política económica mundial.

El aumento de la desigualdad, la precarización del trabajo y la dependencia de los mercados foráneos han disminuido la sostenibilidad de la pesca y la acuicultura. Las comunidades costeras enfrentan nuevos retos mientras luchan por preservar sus formas de supervivencia y su conexión con el mar. Sin embargo, en medio de estos desafíos surge una luz de esperanza: la soberanía alimentaria. Este concepto se refiere al derecho de las comunidades a controlar sus propios sistemas alimentarios. En los últimos años se ha presentado una oportunidad para construir un futuro más justo y sostenible para la economía pesquera y acuícola de la península de Yucatán. Fortaleciendo la autonomía, alentando la diversificación y promoviendo la equidad, se puede trazar una nueva identidad con las raíces marinas y las posibilidades de forjar un sistema alimentario que respete las contradicciones y la tradición de sus pueblos.

En este capítulo revisaremos el concepto de soberanía alimentaria y su relación específica con la pesca y la acuicultura. Además, abordaremos algunos de los conceptos básicos ligados a la soberanía alimentaria, como los principios de autonomía, diversificación, sostenibilidad y equidad. Finalmente, reflexionaremos sobre los principales retos y oportunidades para promover la construcción de una mayor soberanía alimentaria en la península de Yucatán.

## 1.2 Concepto y principios de soberanía alimentaria

La soberanía alimentaria es un concepto que va más allá de simplemente asegurar que la comida esté disponible de manera suficiente para todos. Se trata de un enfoque integral en el que se reconoce el derecho de los individuos, comunidades y países para controlar sus propios sistemas alimentarios de manera autónoma, equitativa y sostenible. A menudo, el concepto de soberanía alimentaria se confunde con el de seguridad alimentaria, por lo que es importante resaltar las diferencias entre ambos.

Por un lado, la seguridad alimentaria se refiere a la disponibilidad, acceso y consumo de alimentos suficientes, seguros y nutritivos, de manera que se satisfagan las necesidades dietéticas y las preferencias culturales de la población en todo momento. Sin embargo, aunque es un objetivo importante, se centra en la cantidad y calidad de los alimentos disponibles, sin considerar quién los produce, cómo se producen y quién se beneficia directamente de su producción y comercialización. Este es uno de los puntos diferenciadores. La soberanía alimentaria va más allá y busca abordar las raíces de la inseguridad alimentaria y las injusticias del sistema alimentario. Reconoce el derecho de las comunidades a definir sus propias políticas agrícolas y alimentarias, priorizando la producción local y sostenible, así como la equidad en el acceso a los recursos y la protección de la diversidad cultural y biológica.

A diferencia de la seguridad alimentaria, la soberanía alimentaria surge desde la sociedad civil, presentándose por primera vez a nivel mundial en 1996, en la Cumbre Mundial de la Alimentación. De manera conjunta, en 1993 surge en Mons, Bélgica, un movimiento internacional fundado con el nombre “La Vía Campesina”. Su finalidad es coordinar las organizaciones campesinas, productores (pequeños y medianos), mujeres rurales, comunidades indígenas, trabajadores agrícolas migrantes, jóvenes y jornaleros sin tierra. Actualmente, este movimiento está conformado por 182 organizaciones en 81 países (Desmarais, 2012). De acuerdo con Zeledón et al. (2016), el concepto inicial de soberanía alimentaria se define como:

Derecho de los pueblos, de sus países o uniones de Estados a definir su alimentación y su agricultura, a proteger y regular la producción y el mercado nacional de los productos agrícolas con el objetivo de conseguir los objetivos de desarrollo sostenible, a determinar el grado de autosuficiencia y a limitar el ‘dumping’ de productos alimenticios a sus mercados nacionales...

En un principio, el concepto de soberanía alimentaria se centraba en los Estados, como una estrategia para alcanzar el libre comercio y detener el *dumping* de productos alimenticios (competencia desleal mediante la venta de productos a precios inferiores al coste de producción), así como desarrollar formas de comercio internacional que favorecieran a países en vías de desarrollo (Romero Pachón, 2018). Sin embargo,



con el paso del tiempo, este concepto se fue profundizando. En el Foro para la Soberanía Alimentaria realizado en Roma en 2002, los movimientos sociales comenzaron a definir el término con mayor detalle. La nueva definición incluía políticas pesqueras, agrarias, alimentarias y de la tierra. En 2007, en la Declaración de Nyéléni, Foro Mundial por la Soberanía Alimentaria en Selingué, Malí, la definición quedó como:

El derecho de los pueblos a alimentos nutritivos y culturalmente adecuados, accesibles, producidos de forma sostenible y ecológica, y su derecho a decidir su propio sistema alimentario y productivo. Esto pone a aquellos que producen, distribuyen y consumen alimentos en el corazón de los sistemas y políticas alimentarias, por encima de las exigencias de los mercados y de las empresas. Defiende los intereses de, e incluye a, las futuras generaciones... (Nyéléni, 2007)

Así, la soberanía alimentaria se cimienta en varios pilares o principios fundamentales que guían su enfoque hacia la construcción de un sistema alimentario más justo, sostenible y resiliente. Estos principios promueven cambios en las ideologías políticas, prácticas agrícolas y relaciones sociales, donde las comunidades tienen la posibilidad de controlar y tomar decisiones sin la intervención de poderes políticos o económicos. La Vía Campesina ha establecido siete principios (Viviana, 2024):

**a) Alimentación, un derecho básico:** Todo individuo debe tener derecho a alimentarse de manera adecuada, suficiente y de calidad, siendo esta inocua, nutritiva y culturalmente adecuada. Esto implica la producción de alimentos utilizando el conocimiento local y asegurando que dicha producción esté bajo el control de campesinos y consumidores locales.

**b) Reforma agraria:** Busca devolver la propiedad y el control de las tierras a los pueblos indígenas, productores y personas sin tierra, así como promover la igualdad de género en la repartición de tierras. Garantiza el acceso equitativo a los recursos necesarios para la alimentación y agricultura, enfatizando la diversidad alimentaria, cultural y la preservación genética de las semillas, evitando el uso de organismos genéticamente modificados.

**c) Protección de recursos naturales:** Se centra en la protección y uso sostenible de los recursos naturales, incluyendo tierra, agua, semillas y razas de animales. Promueve técnicas como la agroecología y el ambientalismo como alternativas viables para una producción de alimentos sostenible, enfrentando problemáticas como la pobreza y la crisis climática, y combatiendo la agricultura intensiva.

**d) Reorganización del comercio de alimentos:** Prioriza la producción para el consumo interno y la autosuficiencia alimentaria, evitando que las importaciones desplacen la producción local y promoviendo un mercado justo y sostenible. Fomenta mecanismos para mejorar la economía local, como los circuitos cortos de comercialización y el consumo en mercados locales.

**e) Eliminar la globalización del hambre:** Resalta la importancia de la diversidad de semillas y la cooperación entre campesinos para aumentar la disponibilidad de alimentos de calidad nutricional y asegurar una dieta balanceada. Promueve técnicas culinarias culturalmente adecuadas y prioriza los derechos de los campesinos y consumidores sobre los intereses privados.

**f) Paz social:** Cada individuo tiene el derecho fundamental de estar libre de violencia, y la alimentación no debe utilizarse como un arma. Se enfoca en reducir la pobreza y marginación en áreas rurales, promoviendo igualdad y equidad entre los miembros de la comunidad, y asegurando su participación en la toma de decisiones sobre alimentos.

**g) Control democrático:** Promueve la intervención activa de los campesinos en la formulación de políticas públicas en todos los niveles, asegurando el derecho a información precisa y un proceso de toma de decisiones transparente y democrático.

### 1.3 Autonomía alimentaria en la pesca y acuicultura

Al hablar del panorama actual de los productos marinos en la península de Yucatán, de cara a la soberanía alimentaria, podemos enfocar la conversación en dos sectores que, aunque relacionados, cuentan con sus propias características e historias, llenas de curiosidades, retos y oportunidades. Por un lado, tenemos el sector pesquero, basado en una noble, loable y ancestral profesión que data de los tiempos en que el ser humano inició su contacto con el mar. Por otro lado, el sector acuícola resulta del conjunto de conocimientos obtenidos del estudio de las especies y la adaptación de estas para su cultivo. La acuicultura permite la cría y producción de especies acuáticas en entornos tierra adentro, sin necesidad de contar con un mar o río.

En cuanto a la pesca, es sensato reconocer que los habitantes de la península de Yucatán se han beneficiado de contar con los litorales del golfo y del Caribe para realizar esta actividad. Estas aguas, además de ser una belleza incomparable por su cristalinidad y coloración turquesa que atraen turistas de todas partes del mundo, albergan una gran variedad de peces, moluscos y crustáceos. En conjunto, los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán (que conforman la península de Yucatán) generan anualmente en promedio 100,000 toneladas de producto pesquero. Este aporte representa entre el 4.5 y el 6.7 % de la producción pesquera en México, situándose Campeche y Yucatán dentro de los 10 estados con mayor producción pesquera en cuestión de volumen. Actualmente algunas de las especies que más se capturan en esta región son el pulpo (*Octopus vulgaris* y *Octopus maya*), jurel (*Tracharus murphyi*), mero (*Epinephelus morio*), camarón (*Farfantepenaeus aztecus*, *F. duorarum*, *F. brasiliensis*, *Palaemonetes vannamei* y *P. pugio*), rubia (*Ocyrus chrysurus*), robalo (*Centroponus undecimalis*), jaiba (*Callinectes sapidus*), huachinango (*Ltjanus campechanus*),

langosta (*Panulirus argus*), mojarra (*Diplodus vulgaris*) y el pepino de mar (*Astichopus multifidus*, *Isostichopus badiionotus* y *Holothuria floridana*) (CONAPESCA, 2021).

La mayoría del producto generado, principalmente pulpo, langosta y mero, tiene como destino la exportación a países de la Unión Europea, Asia y Estados Unidos, quedándose en el mercado local y nacional solo los productos de menor valor económico. Este fenómeno genera una paradoja interesante en la península de Yucatán: a pesar de tener una alta producción de especies marinas, la cantidad (y especies) de pescados y mariscos que circula entre los habitantes peninsulares es limitada. Un ejemplo de esto lo encontramos en la comunidad de Tixcacal, Yucatán, que se encuentra tierra adentro, a tan solo 10 kilómetros del centro de la ciudad de Mérida. Aun con tanta cercanía a la capital del estado, al entrevistar a los pobladores sobre sus hábitos de consumo de especies pesqueras y acuícolas, solo 3 de cada 10 declararon comer pescado más de una vez al mes, principalmente debido a la baja disponibilidad de estos productos en su comunidad. Por el contrario, se ha reportado que los pescadores tienen un consumo frecuente (2 a 4 veces por semana) de las especies que obtienen del mar (Flores-Monter & Crespo-Guerrero, 2023). Por lo tanto, se observa una oportunidad muy relevante para la distribución de estos productos a nivel nacional; sin embargo, debido a los costos de mercado derivados de prácticas transnacionales neoliberalistas, no es rentable para los pescadores dejar de exportar sus productos y, por ende, se complica alcanzar una soberanía alimentaria en este sector productivo.

Además de la baja distribución de productos a nivel nacional, otros problemas y retos importantes del sector pesquero en la península de Yucatán son los mismos que se enfrentan a nivel mundial. El declive de las poblaciones de diversas especies (debido a factores como pesca excesiva, pesca ilegal, regulaciones poco efectivas, cambio climático, contaminación ambiental, entre otros) se ve reflejado en bajas tasas de captura. Estos factores hacen poco rentable el negocio para los pescadores y repercuten negativamente en sus economías (FAO, 2013), haciendo que las nuevas generaciones tengan poco interés en tomar el relevo como nuevos pescadores. La situación es complicada si se considera que la mayoría de las comunidades pesqueras están parcialmente aisladas de otras comunidades, manteniendo los conocimientos relativos al arte de la pesca gracias al traspaso generacional, de madres y padres a hijas e hijos. Además, por la ubicación de la península de Yucatán, las comunidades pesqueras no son ajenas a fenómenos climatológicos como huracanes o ciclones, los cuales repercuten seriamente en su economía al disminuir poblaciones de diversas especies y causar daños estructurales importantes en sus propios hogares y cooperativas.

Por otra parte, el sector acuícola en la península existe desde antes de la conquista española, pues se tiene registro de que los habitantes del pueblo maya criaban especies acuáticas como el pejesapo (*Antennarius spp*) y pejelagarto (*Lepisosteidae sp*) en

cenotes (Ortega-Santana & Valladares-Carranza, 2016). Sin embargo, tras la conquista española, los registros contemporáneos más antiguos de la práctica acuícola datan de la década de 1960, cuando en Yucatán se inició con la cría de distintas especies ornamentales. Desde entonces, el sector acuícola moderno en la península de Yucatán ha crecido y se ha diversificado para abastecer la demanda de mercados locales y regionales, principalmente del sector turístico de la península a través de la cría de especies como la artemia (*Artemia spp.*), camarón (*Litopenaeus vannamei*), esmedregal (*Rachycentron canadum*), jaiba suave (*Callinectes sapidus*), rana toro (*Lithobates catesbeianus*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*), de las cuales la mayoría se siguen produciendo y comercializando hasta la actualidad (FAO, 2016). La producción acuícola en la península de Yucatán reportó en la década pasada un promedio anual de 3550 toneladas producidas, lo que se traduce en aproximadamente el 1% de la producción acuícola nacional durante ese mismo periodo (CONAPESCA, 2021). Algunos de los retos que enfrenta la acuicultura para seguir creciendo en la región están ligados a los fenómenos meteorológicos en la península, pues se tiene registro de que, con la llegada de huracanes, ocurren afectaciones importantes al sector acuícola debido a daños en la infraestructura y pérdida de especies; por ejemplo, el huracán Isidoro en el 2002 ocasionó pérdidas millonarias y un retroceso general en el desarrollo del sector (Rivera Arriaga et al., 2004), destruyendo las dos últimas granjas de rana toro que quedaban en esa época (FAO, 2016).

A pesar de las adversidades, el sector acuícola en la región se mantiene saludable y en la búsqueda de nuevas especies para producir. Un ejemplo de esto lo encontramos en el pulpo maya, endémico de la península de Yucatán. Esta especie es difícil de producir en cautiverio, pues presenta baja fecundidad y carece de desarrollo larvario libre (FAO, 2016). No obstante, en Sisal, Yucatán, se cuenta con una cooperativa acuícola productora de pulpo maya, “Moluscos del Mayab”, que es la única en el mundo que ha sido capaz de producir en cautiverio esta especie de pulpo. Tan gran hazaña se debe al apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) y del Dr. Carlos Rosas, quienes desde 2004 se han dedicado a investigar esta especie. Sin embargo, para el contexto de este capítulo basta decir que el caso del pulpo maya es un claro ejemplo del esfuerzo incansable y del desarrollo sin precedentes que se ha logrado en el sector acuícola de la región, así como muestra del potencial tecnológico con el que se cuenta.

## 1.4 Diversificación de la producción y la dieta

La península de Yucatán, conocida por su rica biodiversidad marina, enfrenta desafíos específicos que hacen de la diversificación una necesidad. En este apartado se presenta la integración e importancia de diversas especies y prácticas de producción que podrían contribuir a mejorar la seguridad alimentaria y la salud de sus comunidades costeras.

Según el registro de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) 2021, la región cuenta con una amplia variedad de especies marinas, incluyendo langosta (*Panulirus argus*), mero (*Epinephelus morio*), pargo (*Lutjanus apodus*), camarón (*Farfantepenaeus aztecus*), pulpo (*Octopus cyanea*, *O. maya* y *O. vulgaris*), mojarra (*Diplodus vulgaris*), jaiba (*Callinectes sapidus*), esmedregal (*Rachycentron canadum*), rubio (*Ocyrus chrysurus*), peto (*Acanthocybium solandri*), róbaló (*Centropomus undecimalis*), rubia (*Lutjanus synagris*), tiburón (*Sphyrna tiburo*), jurel (*Caranx hippos*; *Trachurus murphyi*), corvina (*Argyrosomus regius*), guachinango (*Lutjanus campechanus*), lisa (*Mugil cephalus*), cazón (*Rhizoprionodon terraenovae*), sierra (*Scomberomorus sierra*), cabrilla (*Serranus cabrilla*), pámpano (*Trachinotus carolinus*), bonito (*Euthynnus alletteratus*), bandera, anchoveta (*Engraulis ringens*) y corvineta (*Micropogonias furnieri*). Esta diversidad de especies ofrece una base sólida para la diversificación de la producción pesquera (CONAPESCA, 2021).

La actividad pesquera artesanal o ribereña en la península de Yucatán emplea una variedad de artes de pesca y tipos de embarcaciones. Los métodos de pesca utilizados por esta flota para la captura de especies de escama incluyen el anzuelo (línea de mano o cordel y palangre), redes, arpón a través del buceo y, más recientemente, la pesca con “rapala” o troleo (FAO, 2018). Las formas de producción en esta actividad han recibido varios calificativos, entre los que destacan los siguientes: 1) Acuacultura de fomento en pequeños cuerpos de agua y granjas de autoconsumo (principalmente de tilapia y carpa); 2) Pesquerías Acuaculturales (PA) con siembra en embalses (de carpa, tilapia, bagre y lobina); y 3) Sistemas Controlados (SC) bajo técnicas de cultivo (tilapia, trucha, bagre, camarón y ostión), entre otras tipologías. La diversidad de estos métodos y sistemas de producción refleja la adaptabilidad y la innovación de los pescadores artesanales, asegurando la sostenibilidad y productividad de la pesca ribereña en la región (Monroy-García et al., 2019; Ramos-Miranda et al., 2021). Los productores y empresarios pesqueros pueden acceder a diversas fuentes de financiamiento mediante programas de apoyo para Pymes. Esto les permite obtener créditos de capital de trabajo para actividades de comercialización, avituallamiento y acopio, y créditos a largo plazo para modernizar y expandir cámaras frías, equipos y áreas de procesamiento en la industria y granjas acuícolas (El Economista, 2022).

En cuanto a la distribución de la población pesquera registrada hasta el año 2023, Campeche reporta una población de 427 pescadores de altura, 9,960 pescadores ribereños, 207 acuicultores y un total de 206 granjas. Quintana Roo, por su parte, cuenta con 65 pescadores de altura, 2,088 pescadores ribereños, 42 acuicultores y 56 granjas. Mientras tanto, Yucatán representa la mayor población pesquera registrada, con 5,745 pescadores de altura, 12,984 pescadores ribereños, 79 acuicultores y 78 granjas (RNPA, 2023).

La diversidad de las dietas locales fortalece la cohesión del tejido social nacional, a la vez que imprime características propias a cada región. En la península de Yucatán la diversidad culinaria se manifiesta de manera notable. Conocida por su rica cultura y variada gastronomía, la región refleja una estrecha relación entre los habitantes y su entorno. La dieta en esta región no solo incluye productos del mar, sino también una variedad de alimentos provenientes de la tierra y de actividades agropecuarias.

Los ingredientes locales, como el achiote, el chile habanero, la hoja de plátano y el maíz son fundamentales en la cocina yucateca y se utilizan en platillos emblemáticos. Entre ellos destaca un platillo típico de Campeche: el pan de cazón, preparado con salsa de frijol, salsa de jitomate con chile habanero y aguacate para adornar (SIAP, 2019). La opción del pez sierra, por su sabor, lo convierte en un pescado de fácil preparación, preferido por muchas amas de casa y en restaurantes para preparar ceviche; también se puede cocinar al vapor, en caldo, asado, a la plancha, frito o empanizado (CONAPESCA, 2017). El pámpano o pez mantequilla es otra especie que, por su sencillez, se elabora en una sopa de pescado, siendo siempre preferida por los pueblos antiguos de la cultura indígena prehispánica.

La diversificación de la dieta en la península de Yucatán implica la incorporación de una mayor variedad de productos del mar en la alimentación cotidiana, enriqueciendo así la dieta con nutrientes esenciales y promoviendo un estilo de vida más saludable. Además de diversificar la dieta, se contribuye a la conservación de especies marinas y a la preservación de la biodiversidad en la región, lo cual es fundamental para la sostenibilidad de los ecosistemas marinos.

## **1.5 Sostenibilidad ambiental y social**

La sostenibilidad ambiental y social en la pesca y acuicultura son actividades cruciales para la seguridad alimentaria, la conservación de los ecosistemas y el desarrollo económico. En el contexto de la conservación de los ecosistemas, la pesca y acuicultura sostenibles permiten mantener la biodiversidad, evitando la sobreexplotación de especies marinas y la degradación ambiental. En cuanto al desarrollo económico, la sostenibilidad permite el crecimiento en áreas costeras y rurales, generando empleo. Dentro de la seguridad alimentaria, la sostenibilidad se refiere a la capacidad de sa-



tisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin poner en riesgo el bienestar de las generaciones futuras (Crespo Guerrero & Jiménez Pelcastre, 2021), especialmente en lugares que dependen de estos recursos para su nutrición y subsistencia. La sostenibilidad ambiental contribuye a mantener el equilibrio entre la explotación de los recursos marinos y la conservación del medio ambiente. Actualmente, actividades como la pesca y la acuicultura están en constante crecimiento, ya que buscan promover un sector productivo, competitivo y seguro en términos alimentarios; sin embargo, es importante no descuidar la sostenibilidad ambiental y social.

La actividad pesquera en Yucatán es muy importante, ya que esta representa el 2.24% de la producción nacional. Los principales sitios de pesca son: San Felipe, Celestún, El Cuyo, Sisal, Río Lagartos, Dzilam de Bravo y Progreso (Pedroza-Gutiérrez et al., 2021). Los elementos socioeconómicos asociados a los sistemas pesqueros están sujetos a diferentes factores, problemas y retos. Por ejemplo, las pesquerías artesanales son complejas, heterogéneas y dinámicas; dependiendo de las características económicas, la producción pesquera y la composición de los desembarques se pueden aplicar diferentes niveles de sostenibilidad (Coronado et al., 2020).

La incorporación de pescadores y productores a programas y proyectos dirigidos a la conservación de los recursos marinos y al cuidado de los mares es muy importante, ya que conlleva a fortalecer el compromiso con la sostenibilidad ambiental y social. En este sentido, diversas organizaciones gubernamentales, como la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA) y organizaciones no gubernamentales, como el Centro de Desarrollo y Pesca Sustentable (CeDePesca) y el Fondo de Defensa Ambiental (FED), se han preocupado por la sostenibilidad en el ámbito de la pesca y acuicultura. Se han realizado varios estudios sobre la situación pesquera y acuícola de Yucatán y cómo se ha logrado integrar la sostenibilidad ambiental y social. Con el fin de apoyar la sostenibilidad de la pesca del pulpo, Munguia-Vega et al. (2023) realizaron un estudio para identificar genéticamente las poblaciones de cangrejos usados como cebo. La importancia de este estudio radica en que la pesca del pulpo es una de las más importantes en Yucatán, ya que su producción representa el 68% a nivel nacional (Sauer et al., 2019; CONAPESCA, 2020; DOF, 2022).

Por otro lado, organizaciones como CONAPESCA, CeDePesca y FED han organizado talleres para abordar aspectos relacionados con el mero en Yucatán (Hernández-Delgado et al., 2024). Actualmente existen programas cuyo objetivo es reconocer al sector pesquero y acuícola enfocado en la pesca y acuicultura sustentable a través de premios económicos. Por ejemplo, la Secretaría de Pesca y Acuicultura Sustentables de Yucatán (SEPASY) ofrece apoyo económico a los pescadores que respetan la veda del mero en los meses de febrero y marzo. La importancia de estos programas radica en que la pesquería del mero es una de las de mayor importancia comercial en Yucatán.

Pedroza-Gutiérrez et al. (2024) mencionan que es fundamental la participación de las mujeres en el sector pesquero, ya que representan un factor importante para garantizar la conservación de recursos marinos y mejorar las condiciones de vida de las comunidades pesqueras. Las mujeres fungen como representantes de cooperativas pesqueras en los puertos de Progreso, Sisal y Dzilam Bravo de la península de Yucatán (Mendoza-Carranza et al., 2024). Aunque la participación de las mujeres aún es baja, se ha reportado que sus acciones colectivas han promovido la sostenibilidad de la pesca. Como líderes de cooperativas, han promovido la conservación marina y medioambiental, además de restaurar pesquerías y ecosistemas (Torre et al., 2019). Esto demuestra que la participación de las mujeres representa un papel fundamental en la actividad pesquera. Recientemente la revista *Ciencia Pesquera* menciona que está en proceso una iniciativa para reformar la Ley de Desarrollo Sostenible, buscando fomentar la participación de las mujeres en el sector rural con actividad pesquera (Gaspar Dillanes et al., 2024).

Es importante examinar el marco jurídico nacional que apoya la sostenibilidad en las actividades de pesca y acuicultura. En este sentido, la normativa y conservación en México relacionadas con la pesca y la acuicultura se rigen bajo algunos criterios de captura de especies marinas, como vedas y artes de pesca selectivas. Los recursos marítimos son conservados mediante criterios científicos y un marco jurídico nacional e internacional. Por ejemplo, la CONAPESCA establece algunas regulaciones, como la veda de pesca del mero entre febrero y marzo y la talla mínima de captura (Hernández-Delgado et al., 2024). Además, la NOM-065-SAG/PESC-2014 establece una serie de regulaciones para el aprovechamiento de las especies del mero y especies asociadas. Entre los puntos más importantes de esta norma destacan el esfuerzo para evitar la sobreexplotación y la implementación de vedas temporales para permitir la recuperación de las poblaciones.

Los principales desafíos que enfrenta el sector pesquero y acuícola para lograr la sostenibilidad radican en el desconocimiento y la falta de aplicación de las regulaciones y normativas mencionadas. La sobreexplotación de especies y el cambio climático representan preocupaciones importantes, por lo que requieren una revisión crítica de las prácticas actuales. Debido al auge portuario, industrial y turístico, los recursos naturales de las zonas marinas costeras de la península de Yucatán están sujetos a fuertes tensiones, por lo que es necesario tener financiamiento dirigido a la sostenibilidad de estos recursos naturales (Vidal-Hernández et al., 2021).

Imaginar un futuro sostenible parece complejo; sin embargo, la pesca y la acuicultura son esenciales para satisfacer las necesidades actuales en la región sur de México. Con el fin de asegurar la sostenibilidad a largo plazo, es necesario satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Para incrementar la producción sustentable y rentable de los recursos marinos en

la península de Yucatán, podría impulsarse la incorporación de flotas pesqueras de vanguardia (Vidal-Hernández et al., 2021). En el aspecto social, con la finalidad de alcanzar la sostenibilidad, es importante generar oportunidades que promuevan el desarrollo equitativo de todos los involucrados (Fimbres-Acedo, 2024). Valdría la pena enfatizar la importancia de las actividades pesqueras y acuícolas sostenibles para la seguridad alimentaria, la economía y la sociedad, con el fin de aumentar el desarrollo sostenible en estas actividades.

## **1.6 La soberanía alimentaria en las comunidades pesqueras y acuícolas de Yucatán: una reflexión desde la equidad y justicia alimentaria**

El estado de Yucatán emerge como un bastión de una riqueza marina notable, la cual ha servido como pilar fundamental para la subsistencia de comunidades pesqueras y acuícolas a lo largo de múltiples generaciones. Sin embargo, en el marco de la soberanía alimentaria, se torna imperativo adentrarse en el análisis de la equidad y la justicia dentro de este sector tan vital. A lo largo de este capítulo se ha explorado a detalle los conceptos de seguridad y soberanía alimentaria en el ámbito pesquero y acuícola. Para comprender más profundamente esta problemática es esencial desglosar los significados y las implicaciones de los conceptos de equidad y justicia alimentaria dentro del contexto específico de Yucatán.

Profundizar en estos conceptos dentro del marco de la seguridad alimentaria del sector pesquero y acuícola no solo enriquece nuestra comprensión acerca de la complejidad de este sistema vital, sino que también nos sirve como guía para tomar acciones más informadas y estratégicas a la hora de promover un sistema alimentario más justo, equitativo y sostenible para todas las personas y comunidades que dependen de las riquezas marinas de Yucatán.

Patricia Allen define la equidad alimentaria como la justa distribución y acceso a alimentos saludables y nutritivos para todos, sin importar sus circunstancias socioeconómicas, raciales o geográficas (Allen, 2010). Esto significa garantizar que tanto los pequeños pescadores artesanales como las grandes empresas acuícolas tengan las mismas oportunidades para acceder a los recursos y prosperar económicamente. La equidad alimentaria no solo promueve la inclusión social y económica, sino que también fortalece la resiliencia de las comunidades frente a los desafíos ambientales y económicos.

La justicia alimentaria es un concepto que va más allá del simple acceso a alimentos; se trata de crear un sistema equitativo que garantice alimentos saludables y nutritivos para todos, mientras se eliminan las desigualdades estructurales y de poder que perpetúan la inseguridad alimentaria y la injusticia social. Eric Holt-Giménez, en su libro *Food First: Selected Writings from 40 Years of Movement Building*, define

este enfoque como un esfuerzo integral que abarca la distribución de alimentos, la participación activa y el empoderamiento de las comunidades marginadas en la toma de decisiones sobre la producción, distribución y consumo de alimentos. En el contexto pesquero y acuícola, la justicia alimentaria implica reconocer y proteger los derechos de los pescadores y acuicultores locales, especialmente aquellos de comunidades indígenas y mujeres. Esto asegura que puedan participar activamente en la gestión de los recursos y en la formulación de políticas que afectan sus medios de vida y seguridad alimentaria. Además, es crucial crear entornos donde todas las voces sean escuchadas y respetadas, garantizando un futuro sostenible y equitativo para todos los involucrados en el sector.

A nivel mundial, la industria pesquera y acuícola se enfrenta a retos significativos en términos de justicia y equidad. La sobreexplotación de recursos, las crisis económicas y las desigualdades estructurales han provocado una disminución en la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y han exacerbado la inseguridad alimentaria y la injusticia social. Según la FAO, en su informe *El estado mundial de la pesca y la acuicultura* en 2024, la producción mundial de alimentos acuáticos superó los 223 millones de toneladas, con la acuicultura superando por primera vez a la pesca de captura en la producción de animales acuáticos. Sin embargo, solo el 62.3% de las poblaciones de peces marinos se explotaron dentro de niveles biológicamente sostenibles en 2021, una disminución del 2.3% desde 2019 (FAO, 2024).

En América Latina y el Caribe, que contribuyen con el 8% de la producción mundial de productos pesqueros y acuícolas, estos problemas se intensifican debido a la pesca ilegal, la contaminación y la violencia, afectando especialmente a las comunidades más pobres y marginadas que dependen de la pesca para su sustento (FAO, 2024). En México estos desafíos globales se reflejan claramente. Las prácticas insostenibles y la pesca ilegal han reducido las capturas, incrementando la presión sobre los recursos pesqueros y perpetuando la inequidad. Las políticas y regulaciones a menudo favorecen a grandes empresas en detrimento de los pescadores artesanales, profundizando la desigualdad y vulnerabilidad de estos últimos (FAO, 2018). Los pescadores ribereños son los más desfavorecidos, registrando bajos niveles de producción y rentabilidad debido a la falta o deterioro de instrumentos de trabajo, bajos conocimientos técnicos y administrativos, altos riesgos sanitarios, deterioro de los recursos naturales afectados por el cambio climático, dependencia de equipamiento importado y altos costos operativos. A pesar de que el sector ribereño aporta en promedio el 38% del volumen de producción en los últimos cinco años, de los cuales dependen directamente alrededor de 223 000 pescadores y sus familias, más del 60% de estos pescadores se encuentran por debajo de las líneas de pobreza establecidas por el CONEVAL (Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024).

En Yucatán, la búsqueda de equidad y justicia alimentaria se manifiesta en iniciativas como los sistemas de cuotas de pesca en localidades como Sisal y Celestún, donde se ha trabajado en la implementación de mecanismos destinados a promover la equidad en el sector pesquero. Por ejemplo, en los puertos de la Reserva Estatal El Palmar, la cooperativa local de pescadores ha implementado un sistema rotativo de asignación de cuotas, garantizando acceso equitativo a las áreas de pesca y a las especies objetivo, sin importar el tamaño de la embarcación o capacidad económica (Crespo-Guerrero y Fuentes-Bernal, 2023). En la Reserva de la Biosfera Río Lagartos, con el objetivo de trabajar en fortalecer la justicia alimentaria, se ha establecido un comité de gestión pesquera conformado por representantes de las comunidades locales, ONGs y autoridades gubernamentales, desarrollando planes de manejo pesquero participativos que consideran los conocimientos tradicionales de los pescadores y las necesidades de conservación del ecosistema (Espinoza-Guzmán et al., 2021).

A pesar de los esfuerzos por garantizar la equidad en el sector pesquero y acuícola, persisten casos que evidencian la falta de cumplimiento de este principio. En localidades como Puerto Progreso, reconocida por su destacada infraestructura portuaria y pesquera en Yucatán, se han identificado numerosas instancias que ilustran la inequidad alimentaria en estas industrias. Por ejemplo, se han documentado prácticas irregulares en la asignación de permisos de pesca y concesiones acuícolas, beneficiando a grandes corporaciones o individuos con influencia política, en detrimento de los pequeños productores y las comunidades locales (FAO, 2018). Esta situación ha generado un claro desequilibrio en el acceso a los recursos y oportunidades de desarrollo, excluyendo a aquellos que dependen directamente de la pesca y la acuicultura para su sustento. Además, se observa una falta de actividades productivas alternativas adecuadas para satisfacer las necesidades de las comunidades, junto con una escasez de personal para cumplir con los programas de inspección y vigilancia en todas las etapas, desde la extracción hasta la comercialización. Es crucial proporcionar una capacitación integral tanto a los pescadores locales como a la población directamente afectada por esta industria en áreas como administración, ventas y procesamiento, con el fin de mejorar los beneficios derivados de estas actividades. Sin embargo, la ausencia de instituciones educativas técnicas y superiores que brinden formación en tecnologías de captura contribuye a perpetuar la desigualdad en este sector (FAO, 2018).

En localidades como Telchac Puerto y Dzilam de Bravo se han reportado casos de conflictos por pesca ilegal (El Universal, 2021) y por la explotación excesiva de los recursos pesqueros, donde grandes embarcaciones comerciales y flotas industriales han depredado áreas de pesca tradicionales, dejando a los pescadores artesanales sin acceso a los recursos necesarios para su subsistencia (Monroy-García et al., 2019). Además, la falta de regulación y supervisión en algunas áreas ha permitido la práctica de métodos de pesca destructivos, como la pesca ilegal con redes de arrastre en

zonas protegidas, lo que ha provocado la degradación de los ecosistemas marinos y la disminución de las poblaciones de peces. Esta degradación ambiental afecta directamente la capacidad de las comunidades pesqueras y acuícolas para mantener sus medios de vida y pone en peligro la seguridad alimentaria de las generaciones futuras.

En esta problemática también es importante mencionar que, a pesar de las grandes contribuciones de las mujeres en el sector pesquero, la falta de equidad de género es notable. En términos de participación en actividades acuícolas y pesqueras, el 8% (14,311) corresponde a mujeres, mientras que el 92% (158,227) corresponde a hombres (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023), evidenciando una marcada disparidad en la distribución de roles entre ambos géneros. Las mujeres desempeñan roles cruciales como el procesamiento del pescado, la venta en mercados locales y la gestión de cultivos acuáticos, además de participar activamente en cooperativas y programas de capacitación (Harper et al., 2013; CONAPESCA, 2018; Monroy-Pensado et al., 2022). A pesar de su importante contribución, estas actividades son frecuentemente invisibilizadas, perpetuando la desigualdad de género y la injusticia alimentaria en el sector pesquero (Gustavsson, 2020; Espinoza-Guzmán et al., 2021).

Esta disparidad se atribuye a la persistencia de ideologías tradicionales que perpetúan roles de género preestablecidos en la industria, así como a la escasa visibilidad y reconocimiento de la desigual división del trabajo entre hombres y mujeres (Harper et al., 2013; Gustavsson, 2020). Esta desigualdad se refleja también en la falta de datos específicos desglosados por género en la pesca, lo que tiene un impacto negativo en el desarrollo social y económico de las comunidades pesqueras, socavando la sostenibilidad del sistema socioecológico en su conjunto. A pesar de su papel crucial en la seguridad alimentaria y la lucha contra la pobreza, las mujeres en el sector pesquero enfrentan obstáculos significativos para acceder a recursos sociales y económicos, lo que a menudo resulta en la invisibilización de sus contribuciones y la marginación de su trabajo, considerado comúnmente como doméstico o informal (Abila, 2020; CONAPESCA, 2018; Pedroza, 2019). Esta injusticia alimentaria subraya la necesidad de abordar las disparidades de género en el sector pesquero para promover una mayor equidad y un desarrollo más inclusivo y sostenible (Monroy-Pensado et al., 2022).

Finalmente, el sector acuícola y pesquero se encuentra en un punto crítico, enfrentando una serie de desafíos colosales que amenazan su sostenibilidad y la seguridad alimentaria de toda una región. Desde la sombra de la sobreexplotación y la pesca ilegal hasta la nefasta asignación de permisos de pesca, otorgados por favores políticos o destinados a grandes conglomerados, la equidad y la justicia alimentaria se desvanecen ante nuestros ojos. Los pequeños y medianos pescadores luchan por acceder a los medios de producción, mientras carecen de la formación y capacitación necesarias para prosperar en un mundo en constante cambio tecnológico y econó-



mico. La falta de paridad de género perpetúa la desigualdad, relegando a las mujeres a roles secundarios y salarios injustos. Si no abordamos estos problemas de frente, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria de la pesca ribereña en la península de Yucatán penden de un hilo, y el precipicio ante nosotros es la oscura promesa de un futuro insostenible y hambriento. Es hora de actuar, es hora de cambiar el rumbo, antes de que sea demasiado tarde.

## **1.7. Conclusiones y perspectivas futuras**

Para asegurar la soberanía alimentaria en la península de Yucatán se necesita promover justicia y equidad en el sector acuícola y pesquero. Por lo tanto, tener igualdad de acceso a los recursos marinos y apoyar una participación más activa de todas las comunidades, principalmente locales y marginadas, en la toma de decisiones que afectan su vida y seguridad alimentaria. Aunque ha habido un gran impulso a esta idea en los últimos años, aún existen desafíos claves por superar como los recursos sobreexplotados, desigualdades en el acceso y distribución, impacto del cambio climático e inequidad de género. Sin embargo, no todo es malo, es importante notar las oportunidades valiosas que podrían mejorar la soberanía alimentaria incluyendo innovación acuícola, políticas más inclusivas, inversión en educación y capacitación, así como fortalecimiento de cooperativas locales. No obstante, hay promesas para avanzar hacia un sistema alimentario marino justo, sostenible y soberano para la península; aunque esta lucha está obstaculizada por enormes retos. En este contexto, los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES), impulsados por el Gobierno Federal desde el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) juegan un papel crucial. Estos programas son esenciales para proporcionar el marco y los recursos necesarios para abordar los desafíos mencionados. A través de ellos se disminuye la brecha entre la comunidad académica, la tecnológica y la sociedad en general, permitiendo implementar políticas públicas y acciones que fomenten la igualdad de acceso a los recursos, promuevan la equidad de género y mitiguen los efectos del cambio climático. Impulsando la innovación en la acuicultura y la pesca y que faciliten la formación y educación de las comunidades locales. Para lograrlo es necesario un esfuerzo colaborativo y continuo entre todos los sectores involucrados para transformar estos desafíos en una seguridad alimentaria y equitativa que beneficie tanto a generaciones actuales como a las futuras.

## Referencias

- Abila, R. (2020). *La ventaja de la pesca y la acuicultura*. FIDA. [https://www.ifad.org/documents/38714170/41421401/fisheries\\_advantage\\_s.pdf/6f380334-50a7-c6d9-9a87-45a02e81485b](https://www.ifad.org/documents/38714170/41421401/fisheries_advantage_s.pdf/6f380334-50a7-c6d9-9a87-45a02e81485b)
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (2018). *Necesario reconocer, visibilizar y medir la participación femenina en estas actividades*. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapesca/es/prensa/crucial-la-participacion-de-la-mujer-en-el-sector-pesquero-y-acuicola-de-mexico-175565?tab=>
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (2017). *Sierra, un pescado de tradición y gran gusto entre las familias mexicanas*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/sierra-un-pescado-de-tradicion-y-gran-gusto-entre-las-familias-mexicanas?idiom=es>
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (2021). *Anuario estadístico de acuicultura y pesca de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca*. Recuperado de [https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO\\_ESTADISTICO\\_DE\\_ACUACULTURA\\_Y\\_PESCA\\_2021.pdf](https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2021.pdf)
- Coronado, E., Salas, S., Torres-Irineo, E., & Chuenpagdee, R. (2020). Disentangling the complexity of small-scale fisheries in coastal communities through a typology approach: The case study of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Regional Studies in Marine Science*, 36, 101312. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101312>
- Crespo Guerrero, J. M., & Fuentes Bernal, A. (2023). Estructura e impacto territoriales de la pesca comercial ribereña en los puertos de la Reserva Estatal “El Palmar”, Yucatán (México) / Territorial structure and impact of commercial inshore fishing in the ports of El Palmar State Reserve, Yucatán (Mexico). *Ería*, 43(1), 5–26. <https://doi.org/10.17811/er.43.2023.5-26>
- Crespo Guerrero, J. M., & Jiménez Pelcastre, A. (2021). Hacia el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura en México: marcos normativos, organización socioeconómica y desafíos. *Cuadernos Geográficos*, 60(3), 6–28. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.15953>
- Desmarais, A. A. (2012). *La Vía Campesina*. En The Wiley Blackwell Encyclopedia of Globalization. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470670590.wbeog344>
- Espinoza-Guzmán, M., Ramos del Angel, A., Pineda López, M., Cerdán Cabrera, C., & Sahagún Sánchez, F. (2021). Sustentabilidad en empresas sociales de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, Yucatán, México. *El Periplo Sustentable*, (40), 85 - 117. <https://doi.org/10.36677/elperiplo.v0i40.12010>
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Plan rector del acuicultura y pesca del Estado de Campeche*. Recuperado de [https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/15/13636274716810/pr\\_pesca\\_campeche\\_resumen\\_ejecutivo.pdf](https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/15/13636274716810/pr_pesca_campeche_resumen_ejecutivo.pdf)
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Diagnóstico de los sectores de la pesca y la acuicultura en el Estado de Yucatán*. Recuperado de [https://www.cedepesca.net/wp-content/uploads/2016/05/FAO\\_DiagnosticodelossectorespescaacuiculturaenYucatan.pdf](https://www.cedepesca.net/wp-content/uploads/2016/05/FAO_DiagnosticodelossectorespescaacuiculturaenYucatan.pdf)
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*.

- Roma. Recuperado de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/aafaf49a-cc98-48b7-a67e-40817e96f247/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0690es>
- Fimbres-Acedo, Y. E. (2024). Participación, retos y oportunidades para las mujeres en el sector acuícola en México. *Ciencia Pesquera*, 32, 103–120. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/905795/Ciencia\\_pesquera\\_32\\_especial\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/905795/Ciencia_pesquera_32_especial_.pdf)
- Ángeles Robles, E., & Centeno Juárez, M. (2022). Financiamiento para Pymes pesqueras y acuícolas de Yucatán. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/opinion/Financiamiento-para-Pymes-pesqueras-y-acuicolas-de-Yucatan-20221019-0134.html>
- Flores-Monter, Y. M., & Crespo-Guerrero, J. M. (2023). Consumption Habits and Nutritional Value of Marine Resources in the Diet of Fishers: Yucatan, Mexico. *Investigaciones Geográficas*, (110). <https://doi.org/10.14350/rig.60690>
- Fimbres-Acedo, Y. E. (2024). Participación, retos y oportunidades para las mujeres en el sector acuícola en México. *Ciencia Pesquera* (Vol. 32), 103-120. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/905795/Ciencia\\_pesquera\\_32\\_especial\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/905795/Ciencia_pesquera_32_especial_.pdf)
- Gustavsson, M. (2020). Women's changing productive practices, gender relations and identities in fishing through a critical feminisation perspective. *Journal of Rural Studies*, 78, 26-46. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.06.006>
- Haghighi, E., Albayrak, M., & Kalati, H. (2023). The Unfair Trade in Agricultural and Food Products-Study of Dumping, Anti-Dumping Cases of Turkey and Iran. *Tarım ve Gıda Etiği Kongresi (Uluslararası katılımlı)*, 213. <https://www.studocu.com/row/document/ankara-universitesi/introduction-to-economics-1/dumping-and-fair-trade/101958277>
- Harper, S., Zeller, D., Hauzer, M., Daniel, P., & Sumaila, U. R. (2013). Women and fisheries: Contribution to food security and local economies. *Marine Policy*, 39, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.10.018>
- Hernández-Delgado, F., Aguilar-Perera, A., Giglio, V. J., Nóh-Quiñones, V., Euán-Ávila, J. I., de Jesús Aguilar-Cordero, W., & Sélem-Salas, C. I. (2024). Stakeholders' perception on consumption, fishing, and conservation of red grouper, *Epinephelus morio*, off the northern coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Marine Policy*, 161, 105999. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105999>
- Dzilam de Bravo: Capital de la pesca ilegal en Yucatán. (2022). *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/estados/dzilam-de-bravo-capital-de-la-pesca-ilegal-en-yucatan/>
- Gobierno de México. (2023). *Fortalecen mujeres la actividad pesquera y acuícola de México*. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/fortalecen-mujeres-la-actividad-pesquera-y-acuicola-de-mexico-agricultura#:~:text=El%208.0%20por%20ciento%20de,de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural>
- Mendoza-Carranza, M., Paredes-Trujillo, A., & Segura-Bertolini, E. (2024). La importancia de las mujeres en la cadena de valor de la pesca marina de pequeña escala y en la ciencia pesquera: un estudio de caso en la costa de Tabasco, México. *Ciencia Pesquera*, 32, 55–64. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/>

- file/905795/Ciencia\_pesquera\_32\_\_especial\_.pdf
- Monroy Pensado, J. B., & Pedroza Gutiérrez, C. (2022). El rol de la mujer en la pesca artesanal y la sustentabilidad en Celestún, México. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 4(1), 41-50. <https://doi.org/10.26359/52462.0322>
- Monroy-García, C., Gutiérrez-Pérez, C., Medina-Quijano, H., Uribe-Cuevas, M., & Chable-Ek, F. (2019). *La actividad pesquera de la flota ribereña en el estado de Yucatán: pesquería de escama*. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Disponible en: <https://www.gob.mx/imipas/documentos/la-actividad-pesquera-de-la-flota-ribereña-en-el-estado-de-yucatan-pesqueria-de-escama>
- Munguia-Vega, A., García, L. E. I., Barajas-Girón, P., Tejeda, L. R., Ercilla, I. L., Domínguez-Contreras, J. F., & Markaida, U. (2023). Genetic identification of Bait to support sustainability of the Octopus Fishery from the State of Yucatan, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 42(2), 301–310. <https://doi.org/10.2983/035.042.0212>
- Nyeléni 2007. (2007). *Nyeléni 2007 Foro para la Soberanía Alimentaria Sélingué, Mali 23-27 de febrero de 2007*. <https://nyeleni.org/DOWNLOADS/Nyel>
- Registro Nacional de Pesca y Acuicultura. (2023). *Relación de Unidades Económicas y Activos embarcaciones mayores, menores e instalaciones acuícolas*. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/registro-nacional-de-pesca-y-acuicultura-rnpa>



## Capítulo 2

# Especies marinas y acuícolas poco valorizadas en la península de Yucatán

Zulema Guadalupe Huicab-Pech<sup>1</sup>; Jaime Bautista-Ortega<sup>2</sup>; Alfredo Esteban Tadeo-Noble<sup>3</sup>; Javier Enrique Vera-López<sup>2</sup>; Wadi Elim Sosa-González<sup>4</sup>; Juan José Torres-Romo<sup>5</sup>; Alberto Santillán-Fernández<sup>3\*</sup>; Juan Carlos Cuevas-Bernardino<sup>6\*</sup>

\*Autores de correspondencia: jcuevas@ciatej.mx (J.C. Cuevas-Bernardino); santillan.alberto@colpos.mx (A. Santillán-Fernández)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14721815>

### Resumen

La actividad pesquera y acuícola representan una importante actividad económica en ciertas regiones del mundo, esto debido a que contribuyen en gran medida a la nutrición de la población. En México, la región norte del país es la que aporta la mayor producción de estas especies de importancia comercial. También, la península de Yucatán es otra región pesquera y acuícola reconocida por su gran aporte tanto de la pesca artesanal como la comercial. En este sentido, esta región cuenta con especies marinas altamente comerciales, así como de otras que son poco valorizadas en los puertos riverieños de la zona. Estas especies subutilizadas pueden ser de gran importancia para la nutrición y soberanía alimentaria de las comunidades cercanas a puertos riverieños. Adicionalmente, debido a los grandes desafíos que involucra el cambio climático y cómo estos afectan de forma directa la pesca en alta mar, actualmente en la península de Yucatán se consideran estrategias de producción de especies específicas mediante el establecimiento de granjas acuícolas. Finalmente, las perspectivas y tendencias en este sector productivo de la región se deben atender con el fin de mitigar la presión sobre los productos pesqueros del mar y las nuevas especies acuícolas de granjas.

**Palabras clave:** actividad pesquera; especies subutilizadas; pesca artesanal; pesca comercial; puertos riverieños.

<sup>1</sup> Posdoctorado - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C., Subsele Sureste, Tablaje Catastral 31264, km 5.5 Carretera Sierra Papacal – Chuburna Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Mérida, 97302, Yucatán, México.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados campus Campeche, Carretera Haltunchén – Edzná, km 17.5, Sihochac, Champotón, 24450, Campeche, México.

<sup>3</sup> CONAHCyT - Colegio de Postgraduados campus Campeche, Carretera Haltunchén – Edzná, km 17.5, Sihochac, Champotón, 24450, Campeche, México.

<sup>4</sup> Posdoctorado - Colegio de Postgraduados campus Campeche, Carretera Haltunchén – Edzná, km 17.5, Sihochac, Champotón, 24450, Campeche, México.

<sup>5</sup> Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5, carretera México – Texcoco, Texcoco, 56230, Estado de México, México.

<sup>6</sup> CONAHCyT - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C., Subsele Sureste, Tablaje Catastral 31264, km 5.5 Carretera Sierra Papacal – Chuburna Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Mérida, 97302, Yucatán, México.

## 2.1 Introducción

En la actualidad, los productos obtenidos de la pesca y la acuicultura contribuyen de forma sustancial a la nutrición y la soberanía alimentaria mundial. En este contexto, se sabe que la producción mundial de pescados y mariscos se ha duplicado en los últimos 10 años, debido a la combinación de sistemas de producción acuícolas ecológicos y pesca oceánica sustentable (CONAPESCA, 2020).

Según la FAO (2024), a nivel mundial 500 millones de personas dependen de la pesca a pequeña escala. Particularmente, en México hay 300 mil personas dedicadas a la pesca. A finales de la década de los ochenta, la producción mundial de captura oscila entre 86 y 94 millones de toneladas; cabe señalar que durante 2024 la producción fue de 92.3 millones de toneladas, con un valor de 159 mil millones de USD y un consumo per cápita de 20.7 kg (FAO, 2024).

Los sistemas alimentarios acuáticos y marinos son reconocidos por su contribución a la seguridad alimentaria y nutricional de la población, así como por su impacto positivo para las generaciones futuras (FAO, 2024). México posee aguas ricas en nutrientes, climas diversos y condiciones ecológicas ideales para el desarrollo de recursos marinos. Asimismo, se ubica en el 16º lugar por volumen pesquero (1.5%) a nivel mundial. En la península de Yucatán se registra la participación de 30 000 pescadores que se dedican a la pesca ribereña o artesanal (90%).

En este sentido, se han centrado esfuerzos en la producción sustentable en diversas zonas del mundo, con una gran participación de países en vías de desarrollo. Esto se debe en gran medida a que dichas actividades primarias aportan aproximadamente un 16.0% de las proteínas totales de origen animal que se emplean para la nutrición humana (Galli, 2007). Por lo tanto, esta actividad se encuentra altamente alineada en pro de la soberanía alimentaria. Se prevé que la acuicultura suministre la mayor parte de las proteínas para la nutrición humana en 2050, mediante la implementación de estrategias científicas y políticas públicas que contribuyan a mejorar el diseño de los sistemas alimentarios acuáticos (Stentiford et al., 2020).

De igual manera, es sumamente importante aprovechar especies poco valorizadas para el consumo humano, ya que hasta el momento se tiene poca o nula información sobre su aprovechamiento, y en ocasiones solo se utilizan como carnadas para la captura de otras especies de importancia económica. Ante esta situación, el objetivo del presente capítulo es brindar un panorama de la situación de las especies comúnmente capturadas en mar abierto y las cultivadas en sistemas acuícolas, desde un contexto nacional y regional, así como de las especies marinas subutilizadas consideradas como residuos o descartes pesqueros, y algunas perspectivas de esta actividad económica en la península de Yucatán.



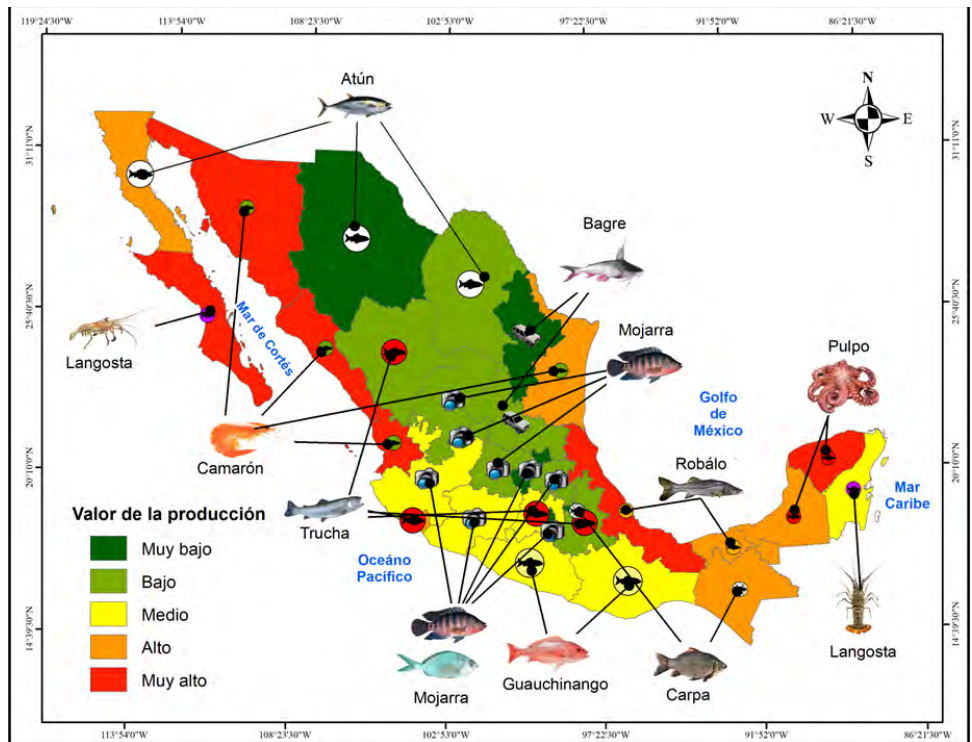
## 2.2 Contexto Nacional

Del Sistema de Información Agrícola y Pesquera (SIAP, 2024) se obtuvieron las variables peso vivo (t), peso desembarcado (t), precio a pie de playa ( $\$ \text{kg}^{-1}$ ) y valor de la producción (miles de  $\$$ ) para la serie 2011 a 2020 de las especies acuáticas cultivadas y capturadas por entidad federativa en México. Para determinar cuáles fueron las especies de mayor importancia, tanto en el rubro de cultivadas como de capturadas, se tomó como referencia la suma de la variable valor de la producción (miles de  $\$$ ) para el periodo analizado.

La suma de la variable valor de la producción fue recategorizada en una escala de Likert con las categorías: Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto (Canto de Gante et al., 2020), con el fin de facilitar la comparación entre las entidades federativas en México. La representación espacial de estos resultados, junto con las principales especies cultivadas y capturadas por entidad federativa, permitió definir las regiones en México con mayor actividad pesquera.

## 2.3 Principales regiones en México con captura de especies marinas

La representación espacial de la actividad pesquera que se extrae directamente del mar en México permitió definir cuatro regiones a nivel nacional (Figura 1). La principal región se localizó al norte del país, en el mar de Cortés, entre las costas de los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Baja California y Baja California Sur, donde se captura principalmente camarón, langosta y atún. La segunda región de mayor importancia se ubicó en el sureste de México, entre los estados de Chiapas, Tabasco y la península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo), donde se pesca principalmente carpa (*Cyprinus carpio*), robalo (*Centropomus undecimalis*), pulpo (*Octopus vulgaris*) y langosta (*Palinurus* spp.), en el mar Caribe y el Golfo de México.



**Figura 1.** Relación espacial de la actividad pesquera en México con las especies capturadas de mayor valor económico. Fuente: Elaboración propia.

Otras regiones de importancia económica donde se capturan especies directamente del mar se ubican en el golfo de México, en las costas de los estados de Veracruz y Tamaulipas, con la captura de robalo (*Centropomus undecimalis*) y camarón (*Litopenaeus vannamei*). En las costas del océano Pacífico, en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, las especies que más se capturan son: trucha (*Oncorhynchus mykiss*), mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) y huachinango (*Lutjanus campechanus*). En los estados sin costa directa al mar, destaca que la especie que más se captura en los ríos es la mojarra o tilapia de agua dulce.

Ríos y Durán (2021) encontraron que, en la región del mar de Cortés, el camarón (*Litopenaeus vannamei*) es la especie de mayor relevancia económica, y que gran parte del camarón consumido en el resto del país proviene de esta región. De igual manera, Márquez Maldonado (2022) destaca la importancia de la pesca de atún (*Thunnus orientalis*) en las costas de Baja California. En el sureste la especie más representativa es el pulpo rojo o pulpo maya (*Octopus maya*), cuyo mercado, a diferencia del atún y el camarón, se orienta más hacia la exportación, especialmente a los mercados de Europa (Guerrero e Izquierdo, 2023).

## 2.4 Principales regiones en México con cultivo de especies acuícolas

Respecto a las principales especies que se cultivan en México, destacan, en orden de importancia, el camarón (*Litopenaeus vannamei*), atún (*Thunnus orientalis*) y mojarra (*Oreochromis niloticus*). Al igual que en las regiones con mayor pesca directa del mar, la región del mar de Cortés se destaca como la más productiva en el cultivo de camarón y atún (Figura 2). Sin embargo, en la región del sureste, especialmente en la península de Yucatán, se evidencia poca infraestructura para el cultivo de especies acuáticas, a pesar de tener granjas para la producción de camarón, pulpo, langosta y tilapia.

Betanzos-Torres et al. (2020) encontraron que la región de la península de Yucatán, a pesar de mostrar una infraestructura incipiente para el cultivo de especies acuáticas, tiene un amplio potencial en el mercado de exportación, en gran medida por su ubicación geográfica, que facilita la exportación a Europa y Asia, y la presencia natural de especies nativas como el pulpo maya y de especies introducidas con amplio mercado nacional, como la langosta y la tilapia.

En la región del Golfo de México, especialmente en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche, el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) es la principal actividad acuícola. De acuerdo con Sotomayor et al. (2022), el cultivo de tilapia es una de las principales actividades secundarias en las granjas acuícolas de México. Otro cultivo común es el de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), especialmente en estados sin acceso directo al mar, lo que ha hecho que entidades como Puebla y el Estado de México sean competitivas en la producción de dicha especie (Hernández et al., 2021). Finalmente, un mercado poco explorado y de reciente auge es el cultivo de especies de ornato (Orozco-Rojas et al., 2022), siendo el estado de Morelos el principal productor y exportador de este recurso.

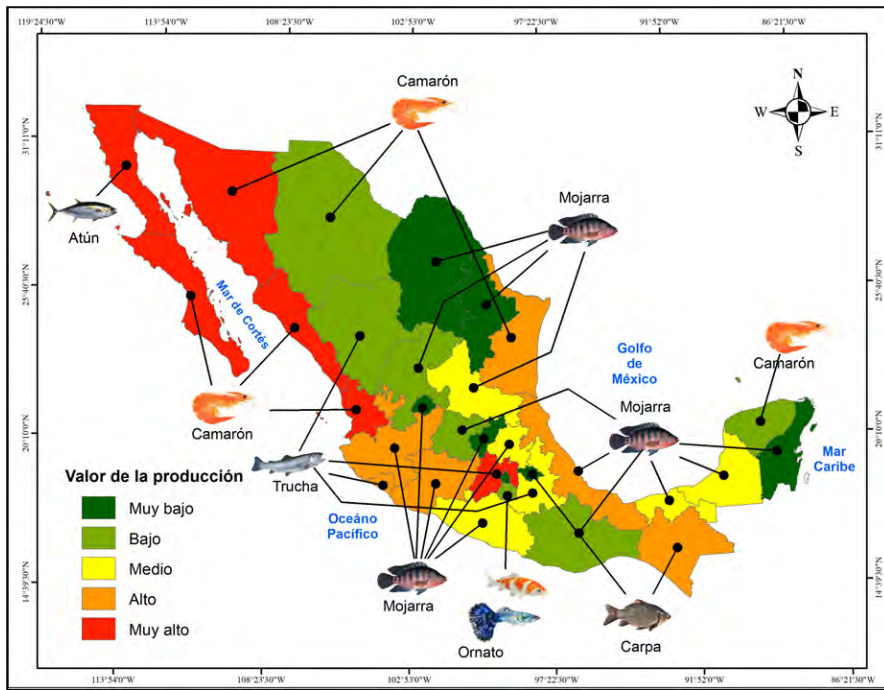












Figura 2. Relación espacial de la actividad acuícola en México con las especies cultivadas de mayor relevancia económica. Fuente: elaboración propia.

## 2.5 Contexto regional península de Yucatán

La dependencia de la pesca directa en la región de la península de Yucatán es un factor que ha limitado su competitividad a nivel nacional (Betanzos-Torres et al., 2020). La captura de pulpo (*Octopus vulgaris*), langosta (*Panulirus argus*) y pepino de mar (*Isostichopus badionotus*) (Tabla 1), especies características de la región con alto valor comercial, ha sostenido al sector pesquero regional (Guerrero e Izquierdo, 2023). Sin embargo, ante las variaciones climáticas y la sobreexplotación de las especies, sus poblaciones han disminuido, lo que compromete aún más al sector pesquero regional (Cisneros-Montemayor et al., 2020).










Ante este contexto, Chi et al. (2022) proponen migrar a modos de producción artificial mediante el establecimiento de granjas acuícolas, que se centren en la producción de especies de difícil propagación en otras regiones del país, como el pulpo maya y el pepino de mar. No obstante, en la actualidad, la acuicultura en la península de Yucatán se ha centrado en el cultivo de especies con mercado nacional, como la tilapia y el camarón (Tabla 2), donde la región del mar de Cortés tiene mayor competitividad. Por lo tanto, especializarse en el cultivo de especies nativas de la península de Yucatán puede ayudar a mejorar su competitividad nacional (Guerrero e Izquierdo, 2023).

**Tabla 1.** Principales especies marinas capturadas en la península de Yucatán. Ordenadas conforme su valor de producción para el periodo 2011 a 2020.

Entidad	Especie	Nombre		Indicadores de productividad			
		Común	Científico	PV	PD	PP	VP
Yucatán		Pulpo	<i>Octopus maya</i>	192,070.86	175,451.41	37.25	6,534,771
Campeche		Pulpo	<i>Octopus maya</i>	77,539.46	76,885.63	36.29	2,790,228
Yucatán		Mero	<i>Epinephelus morio</i>	59,928.57	54,875.92	33.4	1,832,727
Campeche		Robalo	<i>Centropomus sp</i>	18,685.26	18,299.95	50.11	917,031
Yucatán		Langosta	<i>Panulirus argus</i>	3,348.42	3,341.34	174.96	584,592
Quintana Roo		Langosta	<i>Panulirus argus</i>	3,272.61	2,698.13	211.32	570,165
Campeche		Jurel	<i>Caranx hippos</i>	62,773.49	62,727.44	7.13	447,148
Campeche		Jaiba	<i>Callinectes spp.</i>	35,765.64	35,716.39	11.68	416,999
Campeche		Caracol	<i>Strombus gigas</i>	43,785.85	21,884.92	18.93	414,285
Yucatán		Pepino de mar	<i>Isoetichopus badionotus</i>	11,526.68	11,526.68	27.15	312,967

PV = Peso Vivo (t); PD = Peso Desembarcado (t); PP = Precio a pie de Playa (\$ kg<sup>-1</sup>); VP = valor de la producción (miles de \$ MXN). Fuente: SIAP, 2024.

**Tabla 2.** Principales especies acuícolas cultivadas en la península de Yucatán. Ordenadas conforme su valor de producción para el periodo 2011 a 2020.

Entidad	Especie	Nombre		Indicadores de productividad			
		Común	Científico	PV	PD	PP	VP
Campeche		Mojarra	<i>Oreochromis niloticus</i>	9,132.06	9,041.62	27.89	252,148
Campeche		Camarón	<i>Litopenaeus vannamei</i>	3,421.37	3,421.36	68.85	235,574
Yucatán		Camarón		1,625.66	1,617.86	63.93	103,425
Yucatán		Mojarra	<i>Oreochromis niloticus</i>	2,093.34	2,083.56	36.21	75,450
Campeche		Corvina	<i>Sciaenops ocellatus</i>	1,194.78	1,193.23	59.5	70,999
Yucatán		Peces de ornato	<i>Cyprinus carpio koi</i>	29.41	29.41	700	20,586
Quintana Roo		Mojarra	<i>Oreochromis niloticus</i>	489.86	486.66	31.8	15,474
Campeche		Ostión	<i>Crassostrea virginica</i>	807.2	807.2	13.43	10,844
Campeche		Jurel	<i>Seriola lalandi</i>	1,201.69	1,200.89	6.03	7,244
Campeche		Jaiba	<i>Callinectes sapidus</i>	164.05	164.05	6.31	1,035

PV = Peso Vivo (t); PD = Peso Desembarcado (t); PP = Precio a pie de Playa (\$ kg<sup>-1</sup>); VP = valor de la producción (miles de \$ MXN). Fuente: SIAP, (2024).

## 2.6 Especies marinas de mayor captura en Campeche

La pesca artesanal y/o ribereña aporta cerca del 40% de las capturas a nivel mundial, siendo la participación femenina la principal mano de obra en la cadena de valor de los productos obtenidos por las pesquerías regionales y nacionales (FAO, 2024). Los sistemas de pesca artesanal en zonas tropicales, como es el caso de la península de Yucatán, son considerados complejos debido a la variedad de especies que se capturan y al uso de artes y métodos de pesca aplicados.

El estado de Campeche posee una ubicación geográfica idónea para la captura de diversas especies marinas. Se localiza en la parte occidental de la península de Yucatán, al sureste del territorio nacional, y cuenta con una extensión de 66,770 km<sup>2</sup> de plataforma continental y un litoral de 532 km (Botello Ruvalcaba et al., 2010). El estado se compone de 11 municipios; sin embargo, solo siete se encuentran cercanos a la costa. Entre sus principales pesquerías se encuentran el pulpo rojo (*Octopus maya*), jurel (*Caranx hippos*), camarón siete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) y caracol (*Strombus sp*), entre otras (SAGARPA, 2018).

La captura de la gran mayoría de las especies se realiza a través de la pesca artesanal o de pequeña escala, una actividad económica y social en las zonas costeras que genera empleos, alimentos de calidad y divisas para los pobladores de las costas de Campeche (Salas, 2000). La pesca de pequeña escala depende de la plataforma terrígena y calcárea que existe en la costa central de Campeche hacia Tabasco y en la costa central de Campeche hacia Yucatán. La primera se destaca por la captura del camarón siete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) y jaiba (*Callinectes sapidus*); la segunda, por la captura de pulpo rojo (*Octopus maya*) en Yucatán (Pérez-Jiménez et al., 2016; Kemp et al., 2016). Cabe señalar que Peña-Puch et al. (2021) destacan que los principales permisos de pesca en Campeche se dirigen a la captura de robalo (*Centropomus undecimalis*), sierra (*Scomberomorus maculatus*), huachinango (*Lutjanus campechanus*) y corvina (*Cynoscion nothus*).

En 2015, en la localidad de Isla Aguada se capturaron cerca de 8,187 toneladas, originando una derrama económica de \$116.5 millones de pesos, siendo la jaiba (*Callinectes sapidus*) la principal especie de captura (\$58.8 millones de pesos). Por su parte, en la localidad de Sabancuy se presentó una captura de 4,393 toneladas, siendo la sierra (*Scomberomorus maculatus*) la principal especie de captura con una derrama de \$11.4 millones de pesos. Cabe considerar que Isla Aguada y Sabancuy son los principales puertos pesqueros del estado de Campeche debido a la comercialización de la pesca de escama a países como España, Estados Unidos, China, y a estados como Quintana Roo (Cancún), Baja California Sur y Ciudad de México.

La pesca comercial se compone de una diversidad amplia de especies de escama, elasmobranquios, crustáceos y moluscos, entre los que destacan meros, pargos, rayas, tiburón, camarones, jaibas, cangrejos, pulpo, caracoles, ostión y calamar, entre otras (Tabla 3). Según reportan Arreguín-Sánchez y Arcos-Huitrón (2011) y Coronado et



al. (2020), los principales recursos, por su mayor importancia económica, son el pulpo (*Octopus maya* y *O. americanus*), la langosta espinosa (*Panulirus argus*), el mero americano (*Epinephelus morio*), el pepino de mar (*Isostichopus badiionotus*) y el robalo (*Centropomus undecimalis*). Por su parte, la pesca de camarón afecta de manera incidental a una gran diversidad de peces, pocos con valor comercial. Como resultado, por cada kilogramo de camarón capturado se descartan entre 10 y 25 kg de pesca de acompañamiento (Lewison et al., 2004; Madrid-Vera et al., 2007; Ayala-Pérez et al., 2015).

La actividad pesquera se sustenta por la captura de recursos marinos de alto valor comercial, incluyendo especies como robalo blanco (*Centropomus* spp.), huachinango (*Lutjanus campechanus*), pámpano (*Trachinotus kennedyi*), cherna (*Epinephelus marginatus*) y rubia (*Lutjanus synagris*). Asimismo, se destaca por su abundancia pesquera la sierra (*Scomberomorus maculatus*), jurel (*Caranx latus*), bagre bandera (*Bagre marinus*), posthá (*Bairdiella chrysoura*), corvina (*Cynoscion nothus*) y cojinuda (*Caranx crysos*) (Caballero Chávez & Morales Martínez, 2001). El posthá (*Bairdiella chrysoura*), chac-chí (*Haemulon plumierii*) y macabí (*Elops saurus*) son especies frecuentes en las capturas; a pesar de que se consumen en la localidad, su valor comercial es bajo, tal y como reportan Bautista-Ortega et al. (2021).

**Tabla 3.** Especies marinas capturadas en los puertos rivereños de Champotón, Campeche y Seybaplaya.

Nombre común	Nombre científico			Seybaplaya	Champotón	Campeche
		Incidencia	(%)	(%)	(%)	(%)
Anchoa	<i>Cetengraulis edentulus</i>	1	0.4	-	0.4	-
Armado	<i>Orthopristis chrysoptera</i>	6	2.8	-	-	2.8
Bandera	<i>Bagre marinus</i>	2	0.9	0.4	0.4	-
Bala	<i>Hypanus americanus</i>	1	0.4	-	-	0.4
Bonito	<i>Euthynnus alletteratus</i>	4	1.8	-	-	1.8
Bosh	<i>Ariopsis felis</i>	25	11.7*	4.7	1.8	5.1
Carito	<i>Scomberomorus regalis</i>	1	0.4	-	0.4	-
Cazón	<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	3	1.4	-	1.4	-
Chac-chí	<i>Haemulon plumierii</i>	24	11.3*	2.8	5.6	2.8
Chambo	<i>Baliste capricus</i>	5	2.3	1.8	-	0.4
Charal	<i>Chirostoma sp.</i>	12	0.56	0.4	-	5.1
Chucha	<i>Rhinoptera bonasus</i>	5	2.3	-	0.4	1.8
Cochinita zimarura	<i>Balistes capricus, Balistes vetula</i>	1	0.4	-	0.4	-
Cojinuda	<i>Caranx crysos</i>	14	6.6*	1.4	4.2	0.9
Cordoba	--	4	1.8	1.8	-	-
Coronado	<i>Seriola zonata</i>	1	0.4	-	-	0.4
Corvina	<i>Cynoscion nothus</i>	9	4.2	-	1.8	2.3
Huachinango	<i>Lutjanus campechanus</i>	1	0.4	-	0.4	-



Iguana de mar	<i>Synodus foetens</i>	1	0.4	-	-	0.4
Isabelita	<i>Pomacanthus arcuatus</i>	4	1.8	1.8	-	-
Ixpil	<i>Upeneus sp.</i>	13	<b>6.1*</b>	4.2	-	1.8
Jurel	<i>Caranx latus</i>	2	0.9	-	0.4	0.4
Macabí	<i>Elops saurus</i>	13	<b>6.1*</b>	0.9	-	5.1
Pargo	<i>Lutjanus analis</i>	9	4.2	0.4	2.8	1.4
Payaso	<i>Epinephelus adscensionis</i>	2	0.9	-	0.4	0.4
Pegador	<i>Remora sp.</i>	1	0.4	0.4	-	-
Picuda	<i>Sphyræna barracuda</i>	1	0.4	-	-	0.4
Posthá	<i>Bairdiella chrysoura</i>	17	<b>8.0*</b>	2.8	0.4	4.7
Pulpo	<i>Octopus sp.</i>	1	0.4	-	0.4	-
Sábalo	<i>Megalops atlanticus</i>	1	0.4	-	-	0.4
Sardina	<i>Harengula jaguana, Dorosoma anale</i>	19	<b>8.9*</b>	5.1	3.8	-
Sargo	<i>Archosargus probatocephalus</i>	2	0.9	-	0.4	0.4
Sierra	<i>Scomberomorus maculatus</i>	6	2.8	0.4	0.9	0.4
Xpu'	<i>Spherooides testudineus</i>	1	0.4	-	-	0.4

\*Mayor incidencia pesquera. Fuente: elaboración propia partir de datos reportados por SAGARPA (2018).

## 2.7 Especies marinas capturadas con potencial en Campeche

Campeche ocupa el octavo lugar nacional en producción de pescado, con una producción registrada en 2021 de 52 505 toneladas y un residuo pesquero que oscila entre 15 000 y 36 000 toneladas (Sepúlveda, 2023).

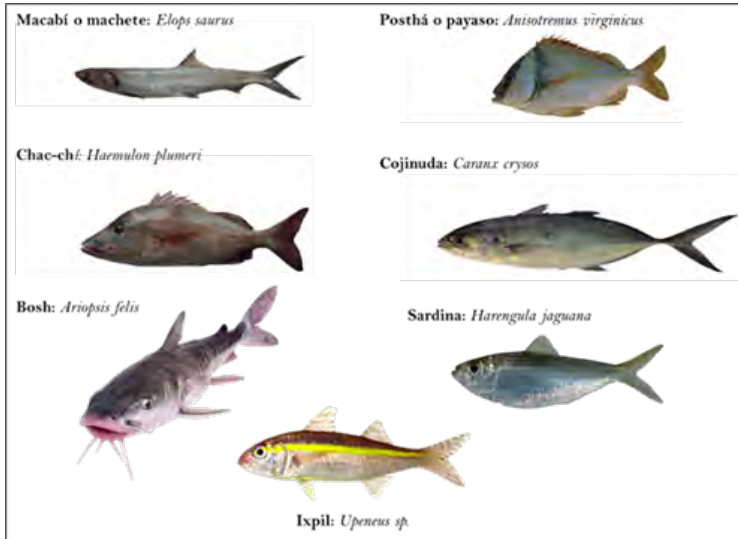
En los puertos pesqueros de Champotón, Campeche y Seybaplaya existen al menos siete especies identificadas como descartes pesqueros en la pesca incidental, las cuales conforman cerca del 57.2% de las incidencias. Entre las especies de descarte pesquero se encuentran el bosh (*Ariopsis felis*), chac-chí (*Haemulon plumieri*), jurel (*Caranx crysos*), macabí (*Elops saurus*), posthá (*Bairdiella chrysoura*), sardina (*Harengula jaguana*) y sardina (*Dorosoma anale*) (Tabla 4).

**Tabla 4.** Especies marinas capturadas en puertos riverieños de Champotón, Campeche y Seybaplaya.

Nombre común	Nombre científico	Incidencia	Incidencia (%)
Bosh	<i>Ariopsis felis</i>	25	14.5
Chac-chí	<i>Haemulon plumieri</i>	18	10.4
Cojinuda	<i>Caranx crysos</i>	11	6.3
Ixpil	<i>Upeneus sp.</i>	9	5.2
Macabí	<i>Elops saurus</i>	13	7.5
Posthá	<i>Bairdiella chrysoura</i>	17	9.8
Sardina	<i>Harengula jaguana, Dorosoma anale</i>	15	8.7

Fuente: adaptada de Sepúlveda (2023) y Bautista-Ortega et al. (2021).

El residuo pesquero oscila entre 30.4 kg en promedio. El 68.8% se desecha al mar y el resto se aprovecha como producto de bajo valor comercial. Algunas de estas especies, como *Elops saurus*, *Harengula jaguana* y *Dorosoma anale*, se emplean para la elaboración de harinas y carne molida para hamburguesas, sin contabilizar el desperdicio de esqueleto y piel. Cabe señalar que el descarte y/o residuo pesquero representa cerca del 4.8% de la captura total en la pesca ribereña (Bautista-Ortega et al., 2021).



**Figura 3.** Especies marinas consideradas residuos o descartes pesqueros en puertos riverieños de Champotón, Campeche y Seybaplaya. Fotos de Macabí, Posthá, Chac-chí y Cojinuda tomada de Caballero Chávez y Morales Martínez (2001). Fotos de Bosh, Sardina y Ixpil.

Fuente: elaboración propia.

Se conoce poco sobre el uso de los residuos pesqueros en las costas del Golfo de México. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2024) menciona que en las dos últimas décadas el aprovechamiento óptimo de los residuos pesqueros ha alcanzado una demanda positiva por su importancia económica, social y ambiental, y como fuente generadora de empleos y recursos, principalmente para los pobladores ubicados en las comunidades o costas pesqueras.

En general, los residuos o desechos pesqueros son una fuente importante de proteínas, minerales y grasas, que se obtienen a partir de los coproductos como cabezas (9-12%), esqueleto (9-15%), vísceras (12-18%), músculo oscuro (15-20%), aletas y piel (1-3%), agallas y escamas. Dentro de este marco se pueden crear alimentos funcionales (harinas y aceites de pescado) para otras actividades pecuarias, con la finalidad de reducir los costos de producción mediante la adquisición de alimentos comerciales a partir del aprovechamiento de los recursos que no presentan un valor comercial a “pie de playa”.

Algunas especies se utilizan como materia prima para la elaboración de bolsas, sandalias, aretes, carteras, entre otros productos. Asimismo, a partir del exoesqueleto de crustáceos (camarón) se extrae el quitosano, un biopolímero que se usa como fertilizante y estimulante natural (Agricultura, 2024).

Es necesario considerar aquellas especies de escama donde solo se utiliza el filete y más del 60% es desechado, como en el caso de la pesquería de mero (*Epinephelus morio*), canané (*Ocyurus chrysurus*), rubia (*Lutjanus synagris*), jurel (*Trachurus trachurus*) y chac-chí (*Haemulon plumieri*) (Trejo-Jiménez, 2018). No obstante, tal y como lo indica Shahidi (2007), estos desechos pueden considerarse una fuente de contaminación en ecosistemas marinos y costeros, debido a que el pescado es un recurso que a temperatura ambiente activa los procesos de degradación enzimática y bacteriana.

## **2.8 Perspectivas de la pesca y acuicultura en la península de Yucatán**

Los tres estados que componen la península de Yucatán tienen un desarrollo desigual, pero sin grandes diferencias entre ellos. Yucatán es el estado más desarrollado en todos los aspectos y cuenta con un mayor número de población registrada en 2020, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y los datos económicos del gobierno de México. Yucatán tiene 2,320,898 habitantes, mientras que Campeche cuenta con una población de 928,363 habitantes (INEGI, 2024). Quintana Roo, por su parte, duplica la población de Campeche y se acerca a la población de Yucatán con 1,857,958 habitantes.

Yucatán posee mayor diversidad económica, originada por la industria, mientras que en Campeche las principales ciudades y asentamientos humanos se encuentran cercanas a la costa. De la misma manera, Quintana Roo cuenta con una diversidad económica influenciada por el turismo, bienes y servicios, incluyendo la actividad pesquera como parte del desarrollo del estado. Lo anterior es un factor que indica el crecimiento limitado que ha tenido la península y la presión sobre los recursos naturales, ya que la tasa de informalidad del empleo y el desempleo es idéntica a la media nacional. La tasa de informalidad laboral en el país es de 54.8% y la tasa de desempleo es de 2.69%. En Yucatán existe un 1.78% de desempleo, con la mayor tasa de informalidad laboral del 61% en comparación con los otros dos estados. Campeche tiene un 1.72% de desempleo y un 59.3% de informalidad laboral. Por su parte, en Quintana Roo la tasa de desempleo es del 2.61% con una informalidad laboral baja del 45.4%, resultado de la pesca ilegal y la sobreexplotación de los recursos del mar.

Según el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA), Campeche cuenta con 10,387 pescadores, Quintana Roo con 2,153 y Yucatán con 18,729. Esto demuestra la importancia de la actividad en cada uno de los estados y las diferencias sustanciales entre ellos (RNPA, 2024).

En la actualidad, la aplicación de normas y leyes sobre el uso adecuado de artes de pesca es casi nula. Un ejemplo de esto es el empleo de redes con luz de malla de 2 pulgadas en lugar de 3 ¼ o 3 ½, debido a su facilidad para vaciar la pesca objetivo sin tener que desmallarla, provocando la captura de especies no objetivas sin valor comercial. Además, se utiliza el arpón como una herramienta cotidiana para la captura de especies y la técnica de buceo mediante compresoras, prohibidas según la normatividad actual en la península, lo que ha originado capturas durante la temporada de veda.

La actividad acuícola, de acuerdo con el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA) (2024), registra 206 granjas acuícolas en Campeche, 56 en Quintana Roo y 78 en Yucatán. La acuicultura en la península se considera una estrategia para la producción de especies marinas o de agua dulce, como es el caso de la tilapia (*Oreochromis niloticus*), donde se cumplen los procesos de reproducción, desarrollo, procesamiento y comercialización. La FAO (2024) considera la acuicultura un espacio para la generación de proteína, empleos y divisas, así como una estrategia de mitigación por la presión sobre los productos pesqueros del mar.

## 2.9 Conclusiones

Existe un amplio margen de mejora para la infraestructura de granjas acuícolas en la península de Yucatán, lo que es relevante por su ubicación geográfica que facilita la exportación a mercados de Europa y Asia. Sin embargo, actualmente la actividad acuícola en la región depende mayoritariamente de la captura de especies directamente del mar. El cultivo de especies características de la zona, como el pulpo maya (*Octopus maya*), la langosta (*Palinurus sp*) y el pepino de mar (*Isostichopus badiionotus*), con un amplio mercado de exportación, puede ayudar a mejorar la competitividad de la acuicultura regional.

El estado de Campeche cuenta con una gran variedad de recursos pesqueros valiosos para los ecosistemas lagunares y costeros. Dichos recursos juegan un rol importante en la cadena trófica e intervienen en la dinámica de los procesos físicos, ecológicos y biológicos de los sistemas acuáticos. La diversidad de especies con valor y sin valor comercial es una fuente rica de nutrientes para la población y funciona como materia prima a través de sus coproductos para un aprovechamiento racional, enmarcando el concepto de economía circular de los recursos pesqueros. Por lo anterior, es necesario generar propuestas tecnológicas e innovadoras para el desarrollo de productos con valor agregado para la industria textil, cosmética, farmacéutica, energética y agropecuaria, sin dejar de lado el punto principal que es garantizar la soberanía alimentaria.

## Referencias

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Nada se tira, todo se aprovecha: residuos pesqueros*. Gobierno de México. Recuperado el 19 de junio de 2024 de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/nada-se-tira-todo-se-aprovecha-residuos-pesqueros>
- Arreguín-Sánchez, F., y Arcos-Huitrón, E. (2011). La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiológica*, 21(3), 431–462. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/773>
- Ayala-Pérez, L.A., Ramos Miranda, J., Flores Hernández, D., Sosa López, A. & Martínez Romero, G. E. (2015). *Ictiofauna marina y costera de Campeche*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Bautista-Ortega, J., Rosales-Martínez, V., Santillán-Fernández, A, Huicab-Pech, Z. G., & Galicia-Galicia, F. (2021). Fisheries discard as an alternative for agricultural feed in the state of Campeche, México. *Agro Productividad*, 14(1). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i14.1805>
- Betanzos-Torres, E. A., Marín-Muñiz, J. L., de los Ángeles Piñar-Álvarez, M., Celdrán-Sabater, D., & Mata-Alejandro, H. (2020). Desarrollo de la acuicultura con tecnología biofloc para producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en regiones rurales de México. *Rinderesu*, 4(1-2), 42-58. <https://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/40>
- Botello Ruvalcaba, M., Villaseñor Talavera, R., & Mezo Villalobos, S. (eds.) (2010). *Ordenamiento pesquero ribereño marino. Informe de ejecución 2010*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://acortar.link/v9popD>
- Caballero Chávez V. & Morales Martínez, R. G. (2021). *Pesquería de escama marina en el estado de Campeche*. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/736027/Pesca\\_escama\\_Campeche\\_I.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/736027/Pesca_escama_Campeche_I.pdf)
- Canto de Gante, Á. G., Sosa González, W. E., Bautista Ortega, J., Escobar Castillo, J., & Santillán Fernández, A. (2020). Escala de Likert: Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social. *Revista de la alta tecnología y sociedad*, 12(1), 38-45. <https://acortar.link/Igh8mx>
- Chi, A. A. P., Hernández, L. V., de Yta Castillo, D., Jiménez, A. C., & Herrera, I. C. H. (2022). ¿Qué podemos hacer para afrontar el cambio climático en la zona costera? *Revista Digital Universitaria*, 23(4). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.4.8>
- Cisneros-Montemayor, A. M., Abas, M., Palacios-Abrantes, J., & González-Espinosa, P. C. (2020). Análisis espacial de efectos anticipados del cambio climático sobre la pesca en México: Un panorama para la adaptación Spatial analysis of anticipated climate change effects on fisheries in Mexico: An overview for adaptation. *Ciencia Pesquera*, 28(1-2), 31-44. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/613551/03\\_Ciencia\\_Pesquera\\_28.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/613551/03_Ciencia_Pesquera_28.pdf)
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (30 de diciembre 2020). *PROGRAMA Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024*. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0)
- Coronado, E., Salas, S., Torres-Irinea, E., & Chuenpagdee, R. (2020). Disentangling the complexity of small-scale fisheries in coastal communities through a typology approach: The case study of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Regional Studies in Marine*

- Science*, 36, 101312. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101312>
- Galli, O. (2007). Pesca sustentable y soberanía alimentaria. *Ecología política*, (32), 21-30. <https://www.jstor.org/stable/pdf/20743684.pdf>
- Guerrero, J. M. C., & Izquierdo, J. M. C. (2023). Pesca y comercialización del pulpo en Yucatán: ¿un proceso extractivista impulsado por la Unión Europea? *Revista geográfica venezolana*, 64(2), 6. <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/regeoven/article/view/19713>
- Hernández, S. S., Demetrio, W. G., Mondragón, D. G., Pérez, S. M., & Bordi, I. V. (2021). Una aproximación a la innovación inclusiva entre productores de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del Estado de México. Iberoforum. *Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, 1(2), 1-31. <https://doi.org/10.48102/if.2021.v1.n2.170>
- Instituto Nacional de Economía y Geografía (INEGI). (2024). Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020. [https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_es-truc/702825198374.pdf](https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_es-truc/702825198374.pdf) [Consultado el 13 de mayo de 2024].
- Kemp, G. P., Day Jr., J., Yáñez-Arancibia, A. & Peyronnin, N. (2016). Can Continental Shelf River Plumes in the Northern and Southern Gulf of Mexico Promote Ecological Resilience in a Time of Climate Change? *Water*, 8(3), Basel, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, pp. 1-18.
- Lewison, R.L., Crowder, L., Read, A.J. & Freeman, S.A. (2004). Understanding impacts of fisheries bycatch on marine megafauna. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(11), 598-604. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.004>
- Madrid-Vera, J., Amezcua, F. & Morales-Bojórquez, E. (2007). An assessment approach to estimate biomass of fish communities from bycatch data in a tropical shrimp-trawl fishery. *Fisheries Research*, 83(1), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.08.026>
- Márquez Maldonado, J. J. (2022). Reconstrucción de cadenas de valor y de suministros en los ranchos de atún aleta azul de Baja California y su resiliencia ante las medidas sustentables. *Región y sociedad*, 34, e1666. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1666>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0690es>
- Orozco-Rojas, D., Monroy-Dosta, M., Bustos-Martínez, J., Ocampo-Cervantes, J., Barajas-Galván, E., & Ramírez-Torrez, J. (2022). Estatus bacteriológico y calidad del agua de cultivo en granjas acuícolas ornamentales de Morelos, México. *Abanico veterinario*, 12. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.25>
- Peña-Puch, A., Pérez-Jiménez, J. C., Munguía-Gil, A., & Espinoza-Tenorio, A. (2021). Social-ecological systems as a management unit: the case of Campeche fisheries, Mexico. *Economía, sociedad y territorio*, 21(65), 113-145. <https://doi.org/10.22136/est20211601>
- Pérez-Jiménez, J., Peña-Puch, A., Méndez-Loeza, I., Giard-Leroux, A., Flores-Ramos, E. & López Rasgado, F. (2016). Las pesquerías artesanales de elasmobranquios como parte de sistemas pesqueros complejos en el sur del Golfo de México. *Ciencia Pesquera*, 24 (número especial), pp. 113-124. [https://www.researchgate.net/publication/320565063\\_Las\\_pesquerias\\_artesanales\\_de\\_elasmobranquios\\_como\\_parte\\_](https://www.researchgate.net/publication/320565063_Las_pesquerias_artesanales_de_elasmobranquios_como_parte_)



- de\_sistemas\_pesqueros\_complejos\_en\_el\_sur\_del\_Golfo\_de\_Mexico
- Registro Nacional de Pesca y Acuicultura. (2024). *Relación de Unidades Económicas y Activos embarcaciones mayores, menores e instalaciones acuícolas*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/registro-nacional-de-pesca-y-acuicultura-rnpa?idiom=es>
- Ríos, J. A. S., & Duran, C. E. S. (2021). Análisis de la literatura de la industria acuícola de la producción de camarón desde lo global hacia lo local. *EDUCATECONCIENCIA*, 29(30), 108-129.
- Salas, S. (2000). *Fishing strategies of small-scale fishers and their implications for fisheries management [PhD]*. The University of British Columbia.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (11 de junio 2018). ACUERDO por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5525712&fecha=11/06/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525712&fecha=11/06/2018).
- Sepúlveda, L. (2023). Trabajan universitarios en planta comunitaria para secado de productos pesqueros. *Prensa UdeG*. <https://comsoc.udg.mx/noticia/trabajan-universitarios-en-planta-comunitaria-para-secado-de-productos-pesqueros>
- Shahidi, F. (2007). *Maximizing the value of marine by products: an overview*. Woodhead Publishing Limited.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)*. Recuperado el 05 de junio de 2024 de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Sotomayor, R. U., Martínez, A. N. M., Torres, R. G., Morales, R. G., & Murillo, R. N. (2022). Análisis de la producción de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en instalaciones acuícolas en México de 2014-2021. *AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura.*, 4(1), 1-6.
- Stentiford, G. D., Bateman, I. J., Hinchliffe, S. J., Bass, D., Hartnell, R., Santos, E. M., Devlin, M. J., Feist, S. W., Taylor, N. G. H., Verner-Jeffreys, D. W., van Aerle, R., Peeler, E. J., Higman, W. A., Smith, L., Baines, R., Behringer, D. C., Katsiadaki, I., Froehlich, H. E., & Tyler, C. R. (2020). Sustainable aquaculture through the One Health lens. *Nature Food*, 1(8), 468–474. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0127-5>
- Trejo-Jiménez R. (2018). Identificación de desechos de la pesca en la costa de Yucatán y estrategias de aprovechamiento para la comunidad de Sisal [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional UNAM. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000769894/3/0769894.pdf>



# Capítulo 3

## Biotransformación de residuos pesqueros y acuícolas a productos de valor

Miguel Oliva Ruiz<sup>1</sup>, Harumi Hernández-Guzmán<sup>1</sup>, Karina Jimenez-Morales<sup>1</sup>, Estefanía Rodríguez-Lamuz<sup>1</sup>, Juan Carlos Cuevas-Bernardino<sup>2</sup>, Soledad Pech-Cohuo<sup>3</sup>, Alejandro Pereira<sup>2</sup>, Emanuel Herrera-Pool<sup>1</sup>, Esteban Romero<sup>1</sup>, Neith Pacheco<sup>1\*</sup>

\*Autor de correspondencia: Neith Pacheco (npacheco@ciatej.mx).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14721881>

### Resumen

En el Sureste del país, la pesca y la acuicultura son dos sectores económicos con elevada importancia social que, además de ser actividades productivas, tienen un papel fundamental en las comunidades costeras al proveer alimentos de alta calidad proteica. Sin embargo, se generan diversos subproductos que impactan negativa-mente en el medio ambiente de la zona. Por tal motivo, su aprovechamiento en la elaboración de alimentos para animales, biofertilizantes, obtención de colágeno o como fuentes de aditivos alimenticios altos en grasas y proteínas representa una gran alternativa en las comunidades costeras y al interior de los estados. Adicionalmente, la identificación de algunas especies pesqueras y el conocimiento de técnicas analíticas son de gran relevancia para potenciar su aplicación. El presente capítulo tiene como objetivo presentar algunas de las principales biotransformaciones de los residuos pesqueros y acuícolas, así como la identificación de especies y técnicas de análisis realizadas como parte de los objetivos del proyecto nacional de investigación e incidencia (PRONAI) 321295.

**Palabras clave:** especies pesqueras; especies acuícolas; viales; colágeno; alimentos; vísceras.

---

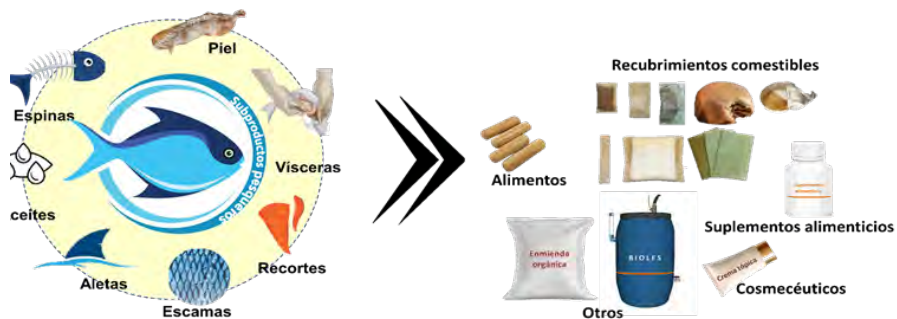
<sup>1</sup> Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Tablaje Catastral 31264 km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP 97302, Mérida, Yucatán, México.

<sup>2</sup> CONAHCyT - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C., Subsede Sureste, Tablaje Catastral 31264, km 5.5 Carretera Sierra Papacal – Chuburna Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Mérida, 97302, Yucatán, México.

<sup>3</sup> Universidad Politécnica de Yucatán. Tablaje Catastral 4448, Carretera Mérida-Tetiz Km. 4.5, C.P.97357, Ucu, Yucatán.

### 3.1 Introducción

Los residuos pesqueros o provenientes de la acuicultura, a nivel mundial, representan el 70% de la producción, equivalentes a 156 millones de toneladas, además de tener un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos, reducción de pérdidas económicas y generación de nuevos empleos (FAO, 2022; Reyes-Arias & Ortega-Montiel, 2010). Los subproductos se componen normalmente de cabezas, recortes, vísceras, piel, espinas y escamas (Figura 1). Su desperdicio ha generado pérdidas económicas y problemas ambientales debido a su alta carga microbiana, además de los desafíos técnicos para su procesamiento. A pesar de ello, cada vez se están empleando estos residuos para la preparación de alimentos y otros productos no comestibles (FAO, 2024; Jiménez-Trejo, 2018; Rodrigues et al., 2024; Wongsachia et al., 2024). En el caso de las harinas y aceite de pescado, en las últimas décadas se están produciendo a partir de subproductos pesqueros, repercutiendo positivamente en la reducción de los desperdicios (FAO, 2024).



**Figura 1.** Ejemplos de subproductos pesqueros y su biotransformación.

Fuente: elaboración propia.

Subproductos como la cabeza, la parte ósea, recortes del fileteado, aletas y vísceras (Ej. hígado o huevas) son una buena fuente de nutrientes como ácidos grasos omega-3, proteína, vitaminas y minerales. Con tecnologías adecuadas podrían procesarse en alimentos nutritivos de bajo costo como embutidos (salchichas o patés), sopas, salsas, harinas, aditivos alimentarios, recubrimientos comestibles, así como en otros productos como bioles, enmiendas orgánicas o ensilados (FAO, 2022; Jiménez-Trejo, 2018; Wongsachia et al., 2024) (Figura 1). Además de los usos alimentarios, las aplicaciones biotecnológicas, farmacéuticas y cosméticas tienen gran potencial para la biotransformación de residuos pesqueros a compuestos de alto valor, como ingredientes bioactivos, debido al elevado contenido en colágeno, enzimas, minerales, proteínas y péptidos, útiles para aplicaciones dermatológicas por sus propiedades an-

tioxidantes y antienvjecimiento o para suplementos alimenticios (Hou et al., 2009; Nguyen et al., 2020; Sun et al., 2013)we investigate the protective effects of both polypeptides against ultraviolet radiation-induced skin photoaging by the activity of superoxide dismutase (SOD).

En el Sureste mexicano algunas de las especies relevantes en la generación de residuos, cuyo aprovechamiento requiere mayor comercialización regional, apoyo económico, programas incluyentes y profundización en algunos casos en los estudios referentes a sus propiedades biológicas son: el pescado chacchi (*Haemulon plumierii*) y pargo (*Pagrus pagrus*), el pulpo de Yucatán (*Octopus maya*), el Maxquil (cangrejo araña), conchas y caracoles de moluscos y bivalbos “chivita y manzana maya”. Un ejemplo ha sido el posible uso de la tinta del pulpo de Yucatán para el estudio de propiedades antimicrobianas o el caso de los residuos para la generación de alimentos tradicionales, considerando de manera importante el manejo responsable de recursos pesqueros y con el enfoque hacia la soberanía alimentaria, a través del fortalecimiento de diversas cooperativas específicamente de mujeres y pescadores (Blázquez & Palacios, 2016; Munguía-Gil & Méndez-Cardenas, 2017; Tello-Cetina et al., 2018).

## **3.2 Biotransformación de residuos a partir de residuos de la pesca y acuacultura**

### ***3.2.1 Elaboración de ensilados***

Los desechos generados por la pesca y la acuacultura, por su alto valor biológico, pueden utilizarse para la elaboración de ensilados, los cuales pueden ser utilizados en la alimentación de aves, ganado y peces, además de poder ser utilizados también como fertilizantes (Spanopoulos-Hernández *et al.*, 2010). Estos se pueden obtener a través de dos procesos: el proceso químico que consiste en adicionar ácidos orgánicos y el proceso biológico, que utiliza la adición de bacterias ácido-lácticas. En ambos casos los procesos son sencillos, de bajo costo y replicables a gran escala (Arason, 1994). Entre las ventajas de ambos procesos, el ensilado obtenido por el proceso biológico, en el que bacterias lácticas son agregadas, no depende del consumo regular de ácidos orgánicos. Al ser un proceso gradual, los microorganismos producen el ácido láctico dando como resultado un ensilado con un pH alrededor de 4, que no requiere neutralizarse como en los ensilados químicos (Toledo- Pérez, 2007), impidiendo el crecimiento de microorganismos patógenos. Los procesos fermentativos, además, mejoran algunas características organolépticas del producto resultante como el sabor y la textura (Bozoglu & Ray, 1996) y estabilizan diversos aminoácidos como isoleucina, treonina, cistina, metionina y lisina, lo que hace que sus valores nutrimentales sean muy parecidos a los de la harina de pescado. Siendo un alimento proteico de alto valor biológico para la alimentación animal (Spanopoulos-Hernández *et al.*, 2010).

Para el proceso de elaboración de ensilados biológicos es necesario incorporar un inóculo de una o diferentes cepas de bacterias ácido-lácticas, así como alguna fuente de carbono que puede ser azúcar de mesa o melaza (Toledo & Llanes, 2006). Cabe mencionar que existen inóculos de fácil acceso, como los productos lácteos (leche, yogurt, etc.), bebidas fermentadas, entre otros, a los cuales se les puede adicionar las diferentes fuentes de carbono y dejar reposar por 24 horas, para posteriormente continuar con el proceso. Debido a que el proceso de fermentación es una vía para acelerar los procesos de reciclaje de nutrientes en la naturaleza, los residuos de pesca y acuicultura tienen biomoléculas que son esenciales tanto para las plantas como para los animales y pueden ser utilizados en ambos propósitos. Peña et al. (2020) utilizaron residuos de langostino y fermentaron únicamente con leche y melaza, integrando el ensilado en dietas para cerdos y el lixiviado en nutrición para pasto, teniendo ambos excelentes resultados. En la Figura 2 se presentan algunas imágenes de residuos y su transformación a ensilados.



**Figura 2.** Desechos de pescado procesados para la elaboración de ensilado biológico en el laboratorio de inocuidad y trazabilidad alimentaria del Sureste (LITAS) del CIATEJ.

Fuente: elaboración propia.

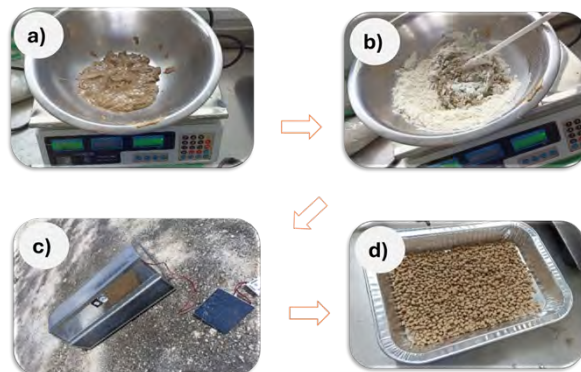
Finalmente, la elaboración de ensilados ofrece diversas ventajas, como la conservación de nutrientes y su mayor biodisponibilidad, además de aumentar la producción de alimentos, entre otros beneficios. Sin embargo, es importante mencionar que si la fermentación se prolonga demasiado, puede ocurrir una degradación de los nutrientes o incluso volverse tóxica para el ganado. Asimismo, puede propiciar la producción de ácido butírico, lo cual genera un olor desagradable en la zona de fermentación.

### ***3.2.2 Elaboración de alimentos a partir de ensilados***

Si bien entre los principales usos de los residuos de pescado se encuentran las harinas y aceites, algunos autores indican que se ha encontrado un mayor contenido de proteínas, lípidos y minerales en el ensilado de pescado producido por residuos de este. Además, presenta altos niveles de aminoácidos como lisina, treonina y aminoácidos azufrados, lo cual lo hace una fuente de proteína más económica que la harina de pescado, especialmente para la producción de alimento animal. Otra ventaja es que en

el ensilado la proteína se hidroliza de forma natural, por lo que tiene el potencial de aumentar el crecimiento y disminuir la mortalidad de los animales de granja (Sarkar et al., 2023). Como lo describe López et al. (2014), quienes utilizaron ensilado de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) para alimentar pollos de engorda y sustituyeron de un 10 a un 30% de alimento comercial por ensilado de pescado, logrando un desempeño similar, debido a que aunque los niveles de nutrientes no son tan altos como otras fuentes utilizadas, se puede aprovechar fácilmente la energía del ensilado, sin gastar energía en procesos metabólicos, debido a la condición de este, además de bajar los costos del alimento. Por otra parte, se han probado residuos de diferentes especies de peces y se han fermentado utilizando inóculos de fácil acceso como la utilización de bebidas probióticas comerciales de fácil acceso, donde ambos ensilados presentaron características adecuadas para su utilización como suplemento en la alimentación de organismos acuáticos (Spanopoulos et al., 2010).

Con los diferentes ensilados obtenidos de la fermentación de residuos de pescado (tilapia, residuos pesqueros y especies subutilizadas) realizados en el LITAS del Sureste del CIATEJ, como parte de los objetivos del proyecto PRONAI 321295, se formuló un alimento para ave de corral. Se tomó en cuenta la densidad de los ensilados, en el cual se adicionaron diferentes concentraciones de harinas como maíz y trigo, después de tener una humedad menor al 80% que permitiera su manejo. Las muestras se sometieron a un proceso de peletización, para posteriormente retirar el exceso de humedad en un secador solar, adicionalmente, también consideraron sustituciones desde un 5 hasta un 30% de ensilado biológico en dietas comerciales de aves de corral, lo cual permite un ahorro en el alimento. En la Figura 3 se observa la descripción gráfica de la elaboración del alimento para aves.



**Figura 3.** Descripción gráfica de alimento para aves a partir de ensilado biológico, realizado en el LITAS del CIATEJ. a: pasta obtenida a partir de residuos pesqueros molidos. b: mezcla de la pasta con harina de trigo o maíz. c: proceso de deshidratación de la mezcla obtenida en b utilizando un secador solar. d: alimento para aves obtenido tras la deshidratación de la mezcla de residuos pesqueros con harinas. Fuente: elaboración propia.

### ***3.2.3 Elaboración de fertilizantes a partir de ensilado***

Existen estudios en donde se han utilizado residuos de trucha (*Salmo Trutta*) para la elaboración de fertilizantes por vías de fermentación (Flores *et al.*, 2020). Los productos obtenidos han presentado características similares a otros biofertilizantes líquidos como en NPK, en cuanto a aminoácidos y microelementos, además de estar libre de microorganismos patógenos, tener niveles de metales pesados con contenido menor a los límites máximos permisibles y no presentaron fitotoxicidad en la germinación de lechuga a las diluciones probadas, concluyendo que estos productos a partir de vísceras de pescado pueden ser utilizados para la fertilización de zonas agrícolas y con posibles usos en sistemas tecnificados, fertirriego, hidroponía y acuaponías como suplemento de micronutrientes (Flores *et al.*, 2020). En estudios comparativos entre soluciones hidropónicas y ensilado de pescado, donde se utilizó en la proporción de 1g por litro, se reporta que el ensilado tuvo una productividad más alta en algunas variables como longitud de tallo, número de ramas y materia seca de hojas (Rojas *et al.*, 2020). Lo cual nos muestra un panorama sobre los múltiples beneficios de los ensilados como fertilizantes, aunado al impacto económico debido a las materias primas utilizadas, fácil elaboración y ventajas sobre el ambiente al utilizar fuentes renovables y no de origen sintético.

### ***3.2.4 Elaboración de biofertilizantes tipo bioles***

Los bioles son fertilizantes líquidos que se producen a partir de la fermentación de materia orgánica en un sistema anaerobio (en ausencia de oxígeno). En este proceso se favorece el crecimiento de microorganismos encargados de transformar gran variedad de residuos como estiércol, residuos de cocina (vegetales, pescado, etc.), hojas verdes, hojas secas y cenizas en compuestos (nutrientes) más simples que son fácilmente asimilados por las plantas. También se suelen adicionar otros microorganismos, que podemos encontrar en productos como la leche de vaca, yogurt, bebidas probióticas comerciales como Yakult, microorganismos de montaña que son recolectados para usar en campo de manera tradicional y levadura para pan, utilizando fuentes de carbono como azúcar, miel, melaza y piloncillo para alimentarlos. Otro ingrediente utilizado es el vinagre, que suele agregarse al inicio del proceso para mantener un medio estable para los microorganismos y promover su desarrollo.

Entre las ventajas de los bioles podemos mencionar su elaboración sencilla, el uso de insumos económicos y de fácil acceso, que pueden ser sustituidos por otros residuos presentes en la parcela. Además de ser una forma ecológica de aportar nutrientes a las plantas, ya que los bioles ayudan a fijar el nitrógeno atmosférico, así como a regenerar y mejorar la calidad de los suelos, ya que solubilizan nutrientes y elementos químicos útiles del suelo y producen sustancias orgánicas fisiológicamente



activas. De igual forma, y de acuerdo con los insumos utilizados, contribuyen al control de plagas y enfermedades, además de ser una fuente limpia de químicos, que tiene la capacidad de bio-remediar los suelos (SAGARPA, 2023). Además, la elaboración de bioles es un proceso fácilmente escalable con beneficios adicionales, como lo es la parte sólida resultante en el proceso de separación de la fracción líquida, conocida como biosol, puede integrarse como biofertilizante una vez que se retira el exceso de humedad.

La aplicación de los bioles es de forma líquida y directa al pie de la planta, vía foliar, o incluso puede utilizarse en sistemas de fertirriego. Además, durante su elaboración es muy fácil evaluar parámetros sencillos como los grados Brix, el pH, la conductividad eléctrica (CE) y los sólidos disueltos totales (TDS), que permiten tener un control rápido del proceso, como un seguimiento en las aplicaciones, así como en qué momento intervenir de forma técnica si fuese necesario. En la Figura 4 se representa la elaboración de bioles adicionados con residuos de pescado por mujeres de la comunidad de Cosgaya, comisaría del estado de Yucatán.



**Figura 4.** Descripción gráfica de elaboración de bioles adicionados con residuos de pescado, realizado en el CIATEJ Subsede Sureste por mujeres de la comunidad de Cosgaya.

Fuente: elaboración propia.

### ***3.2.5 Obtención de colágeno de fuentes marinas***

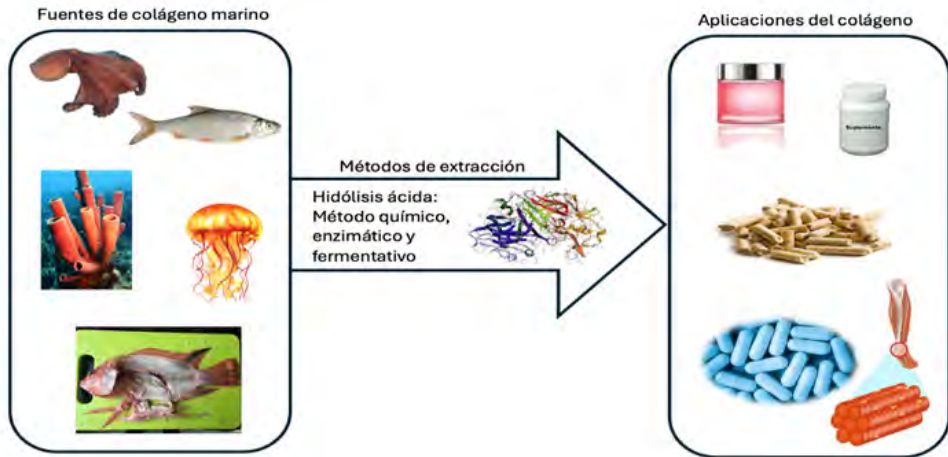
El colágeno son proteínas que proveen soporte estructural a los tejidos conectivos como huesos, piel y cartílago. Existen 29 tipos de colágeno presentes en el cuerpo humano y en conjunto suman el 30% de la proteína total del cuerpo (Barzkar et al., 2023). Acorde a la estructura primaria y/o organización tridimensional, el colágeno puede dividirse en varias subfamilias: i) Colágeno fibrilar, incluyendo tipos I-III, V y IX, constituidas por una cadena ininterrumpida, participan en la formación de fibrillas cruzadas y varias subfamilias de colágeno no fibrilar, con dominios de colágenos con algunas interrupciones; ii) Colágeno de tipo IV de la membrana basal; iii) Colágeno fibrilar de anclaje de tipo VII; y iv) Colágenos asociados a fibrillas de tipo VI y XIX. Debido a su abundancia en los tejidos animales y a sus características



estructurales y mecánicas, los miembros de la subfamilia del colágeno fibrilar son los más utilizados con fines biotecnológicos (Pozzolini et al., 2020).

Existen varias fuentes de colágeno como de bovinos, porcinos, roedores, pollos, tendón equino, cocodrilo, piel de oveja y marino, siendo el bovino una de las principales fuentes industriales debido a su baja inmunogenicidad y biocompatibilidad (Davison-Kotler et al., 2019). Sin embargo, en años recientes el colágeno marino ha sido de gran interés debido a sus propiedades biológicas, químicas y mecánicas (Davison-Kotler et al., 2019). Un número importante de especies de peces comerciales y de acuicultura, así como de especies no pesqueras, se utilizan como fuente de colágeno marino (Barzkar et al., 2023). Entre estas especies se encuentran invertebrados y vertebrados marinos como peces, *Medusozoa*, *Porifera*, *Echinoidea*, *Octopoda*, *Parapenaeus longirostri*, (medusas, esponjas, erizos de mar, pulpos, gambas, etc.). Las espinas, la piel y las aletas de los peces son una excelente fuente de colágeno que, además, reduce la contaminación ambiental ya que son residuos del procesamiento del pescado (Bhadra et al., 2021; Silvipriya et al., 2015).

La biocompatibilidad del colágeno, acompañada de su débil antigenicidad y biodegradabilidad, lo convierten en protagonista de una amplia gama de aplicaciones como elaboración de sistemas para liberación de fármacos, ingeniería de tejidos musculoesqueléticos, ingeniería de tejidos corneales, ingeniería dental, cosméticos, biomateriales novedosos para la generación de cartílago, piel, hueso, entre otros (Barzkar et al., 2023; Bhadra et al., 2021; Pozzolini et al., 2020; Silvipriya et al., 2015). También puede usarse en la industria alimentaria como péptidos en nutracéuticos. En la actualidad existen una amplia variedad de suplementos basados en péptidos derivados de colágeno que han sido patentados y comercializados en Europa, Japón y Estados Unidos (Pozzolini et al., 2020). En particular, el uso de fuentes provenientes de residuos marinos para la preparación de hidrolizados de gelatina aumenta constantemente, debido a la ausencia de riesgo de transmisión de la encefalopatía esponjiforme bovina (Pozzolini et al., 2020). En la Figura 5 se observan las diferentes fuentes del colágeno marino, los métodos de extracción y sus aplicaciones. El colágeno de origen marino cuenta con interesantes características fisicoquímicas y bioquímicas, lo que los hace potencialmente aplicables en el área biomédica en el campo del envejecimiento y las enfermedades degenerativas (Pozzolini et al., 2020). Por lo que es importante profundizar en el conocimiento de estas proteínas de origen marino, desde el punto de vista molecular como del comportamiento, para aprovechar plenamente sus propiedades y su potencial en la búsqueda de la salud y el bienestar humano, tal como se propuso en el proyecto PRONAI 321295.



**Figura 5.** Colágeno marino, fuentes, métodos de extracción y aplicaciones.  
Fuente: adaptado de Pozzolini et al. (2020)

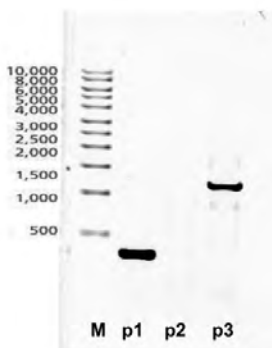
### 3.3.6 Identificación de especies acuícolas y su transformación

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, en México, así como en otros países, se han realizado estudios para determinar el valor nutricional de los residuos pesqueros de distintas especies nativas, con el fin de reducir los residuos sólidos que estos generan (David-Ruales, et al., 2014). Sin embargo, el aprovechamiento de los recursos pesqueros presenta diversos retos y dificultades, uno de ellos es el desconocimiento del acervo genético que se introduce o que se maneja en las unidades de producción, como es el caso de la tilapia (*Oreochromis niloticus*), especie altamente estimada en diversas unidades de producción en la acuicultura (Santos et al, 2018). Dicho conocimiento es de gran importancia, ya que la poca variabilidad genética en las poblaciones puede influir en la susceptibilidad a contraer diversas enfermedades y como resultado una merma en la producción. Según Santos et al., (2018), la identificación genética de lotes de tilapia representa información importante para poder conseguir mejoras en su producción, la conservación de las especies y la selección de cría con características de interés (como el crecimiento rápido, mejores índices de valores alimentarios, resistentes a enfermedades, entre muchas más). Por lo anterior, se hace indispensable tener una correcta identificación de las especies en cuestión.

A continuación, se muestra un resumen de los pasos que siguen para lograr una identificación a nivel molecular de una especie de tilapia utilizada para su aprovechamiento integral, en el LITAS del CIATEJ-Subsede Sureste, Mérida, Yucatán.

Se obtiene la extracción de ADN (ácido desoxirribonucleico) que contiene la información genética de los organismos, a partir de una porción del filete de la tilapia.

Este ADN se visualizó mediante un gel de agarosa para corroborar su integridad y se cuantificó por espectrofotometría. Posteriormente, se realiza una reacción en cadena de la polimerasa, llamada por sus siglas PCR, usando tres diferentes genes marcadores (Figura 6).



**Figura 6.** Gel de agarosa con los productos de la PCR para los genes marcadores: 18S (carril p1), gen COI (carril p2) y gen CybB (carril p3). M = Marcador de peso molecular de 1kb (invitrogene).

Fuente: elaboración propia.

El producto de la PCR del gen mitocondrial *cybB* se manda a secuenciar a otro laboratorio de investigación para la identificación de la cadena nucleotídica, es decir, del ADN (Figura 7). Posteriormente, se realiza una búsqueda mediante un programa, ejemplo el *blastn*<sup>15</sup> del National Center for Biotechnology Information (NCBI), de secuencias similares a la obtenida para el gen *cybB* del pez en investigación, en este caso la tilapia, con la finalidad de realizar un árbol filogenético y compararla con otras secuencias del gen *cybB* de otras tilapias. Esto se realiza con ayuda de herramientas como el algoritmo MUSCLE (Edgar, 2004), dentro el programa UGENE (Okonechnikov et al., 2012) y se muestra en la Figura 8. La filogenia se construyó mediante el programa IQ-TREE (Minh, et al., 2020). En la Figura 9 se aprecia el árbol filogenético para el gen *cybB* de diferentes especies, en donde las pertenecientes al género *Oreochromis* se divide en dos subgrupos, uno altamente conservado en donde se agrupa nuestra secuencia de interés denominada “*Oreochromis niloticus* (CIATEJ)”, y otro grupo de tilapias menos conservado.

<sup>15</sup>[https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&BLAST\\_SPEC=GeoBlast&PAGE\\_TYPE=BlastSearch](https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&BLAST_SPEC=GeoBlast&PAGE_TYPE=BlastSearch)

```

>cybB_Fw
AATGGCCACCTCGAAAACCCACCCCTTC TAAAAAT TGCAAATGATGCTCTAGTTGATCTCCGAGCCCTCAAACATTTCC
GTTTGTAGAAACTTTGGGTCCTACTAGGCCTTTGCTAGGCCCAAATCCTAACAGGCCTTTTTC TAGGCATACACTATAC
CTCCGACATCGCCACAGCCTCTCCCTCGTGCACCACATTTGCGAGAGTAAACTACGGCTGACTCATCCGAAACATACATG
CCAACGGGCATCTTTCTCTTTATTTCGATCTACTCCCAATTTGACAGGGCCTACTACGGCTCTACTATACAAGAA
ACCTGAAACATGGGTAATCCTTCTCTCTTAACTAATAGCAGCTTCGTAGGTAGCTCCCTCCATGAGGACAAATC
ATTC TGAGGTGCTACCGCTATTACCACTTCTCTCCGAGTCTCTTACATTGGCAATCCTTATGCTCAATGAATCTGAGGC
GATTTCCCGTAGACAATGCCACTCACTGCTTTTGGCTTCATTTCTCTCCCTCATGATTCAGGTCGACAAAATCTCAITTCGCC
GTTCACCTAAITTTCTCGAGAACTGGATCTAACACCCACAGGCCTAACTCAGATGCTGACAAAATCTCAITTCGCC
CTACTTCTCTATAAAGACTATTAG

>cybB_Rw_RevComp
CATCTTGCAGCCGCAACAA TAGTTCACCTAATTTCCCTTCACGAAACTGGATCTAACACCCACAGGCCTAAACTCAGATG
CTGACAAAATCTCATTTACCCCTACTCTCTATAAAGACTATTAGGCTTCGCAATCTTTTAAAT TGCCCTCATTTCTTA
GCCCTCTCTCCCAACTCTGCTGGCGGACTCTGACAACTTACCCCGCAACCCCTCTAGTAACCCCTCTCACATTAAC
TGAATGATACTTCTCTATTGCTTACCTGCTTAACTAATAGCAGCTTCGTAGGTAGCTCCCTCCATGAGGACAAATC
TGCTCGTCTAATTAATGCTACACTCTTACACTCCAACACAGGAGCACTAACCCTCCGCCCTTACGACCAATCTATT
TCACCTTTAGTTGCAAGCTCGCATCTCACTGAACTGGAGGCATCCCGTTGAACCCCTCTGTCATTTATGGCCAAAT
CGCATCTTCTCTACTTCTCCCTCTCTCGTTTTCGCCCCATCCACGGCTGGCTAGAAAACAAAATCCTTGAATGATCT
GC

>cybB_MERGE
AATGGCCACCTCGAAAACCCACCCCTTC TAAAAAT TGCAAATGATGCTCTAGTTGATCTCCGAGCCCTCAAACATTTCC
GTTTGTAGAAACTTTGGGTCCTACTAGGCCTTTGCTAGGCCCAAATCCTAACAGGCCTTTTTC TAGGCATACACTATAC
CTCCGACATCGCCACAGCCTCTCCCTCGTGCACCACATTTGCGAGAGTAAACTACGGCTGACTCATCCGAAACATACATG
CCAACGGGCATCTTTCTCTTTATTTCGATCTACTCCCAATTTGACAGGGCCTACTACTACGGCTCTACTATACAAGAA
ACCTGAAACATGGGTAATCCTTACCTGCTTAACTAATAGCAGCTTCGTAGGTAGCTCCCTCCATGAGGACAAATC
ATTC TGAGGTGCTACCGCTATTACCACTTCTCTCCGAGTCTCTTACATTGGCAATCCTTATGCTCAATGAATCTGAGGC
GATTTCCCGTAGACAATGCCACTCACTGCTTTTGGCTTCATTTCTCTCCCTCATGATTCAGGTCGACAAAATCTCAITTCGCC
GTTCACCTAAITTTCTCGAGAACTGGATCTAACACCCACAGGCCTAACTCAGATGCTGACAAAATCTCAITTCGCC
CTACTTCTCTATAAAGACTATTAG

GTTTCGCAATCTTTTAAAT TGCCCTCATTTCTCTCCCTCATGATTCAGGTCGACAAAATCTCAITTCGCC
TCGGGACTCTGACAACCTTACCCCGCAACCCCTCTAGTAACCCCTCTCACATTAACCCCTGAATGATACTTCTATTGCC
TAGCTATTCTACGCTCAATCTCAACAACTTGGTGGAGCTCTCGCCCTCTTATTC TCAATCTTAATAATCGTACC
CATTTCTCACACTCCCAAACACGAGGACTAACCCTCCGCCCTATCACAACTTTTATTCTGACTTCTTAGTTCGACAGCTGC
CCATCTCCCTGAAATGGAGGCATCCCGTTGAACCCCTCTGCTCATTTATGGCCAAATCGCATCTTCTCTACTTCTCC
CTCTCTCGTTTTCGCCCCATCCAGGCTGGCTAGAAAACAAAATCCTTGAATGATCTGC

```

Figura 7. Secuencias de la secuenciación del gen cybB. En amarillo se resalta la zona que sobrelapa entre ambas secuencias. Fuente: elaboración propia.

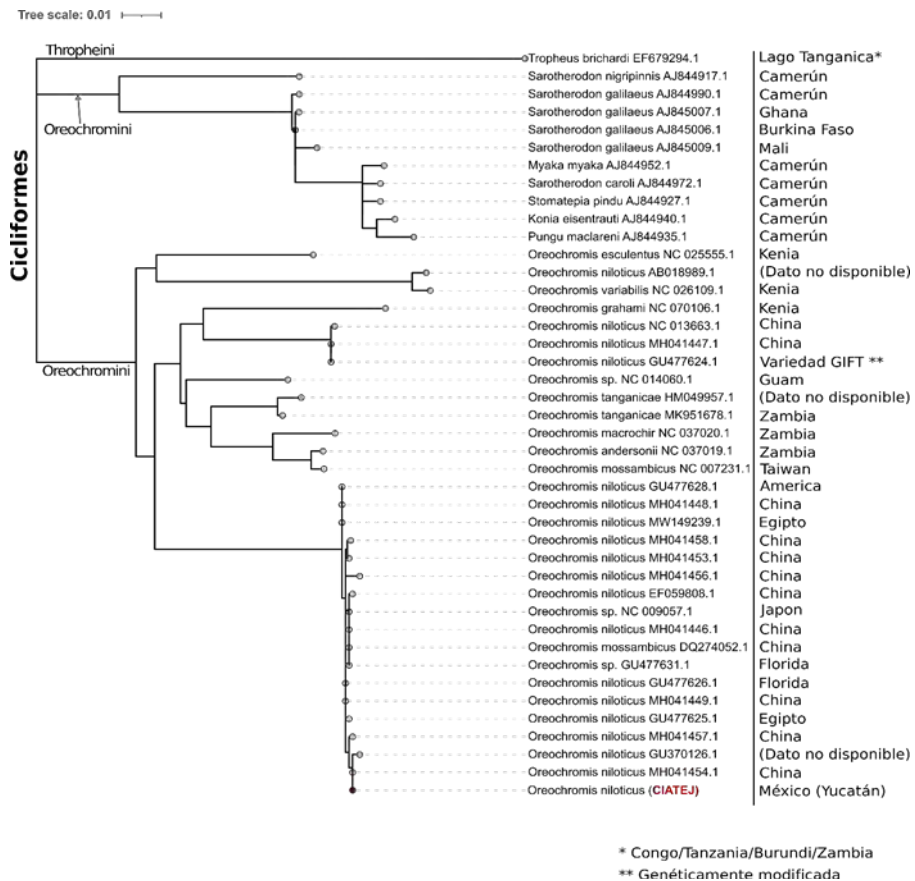


Figura 8. Alineamiento múltiple de secuencias de diferentes tilapias. En morado se encuentra el nombre de la secuencia perteneciente a la tilapia procesada en este trabajo (Tilapia) CIATEJ.

Fuente: elaboración propia.



No existen muchos reportes sobre la caracterización de esta especie a nivel molecular para variedades que se cultiven en México. Dados nuestros resultados, la especie que se ha trabajado en este estudio pudiera tener un origen asiático debido a las altas similitudes en secuencias con este tipo de variedades cultivadas en dicho continente. Lograr la correcta identificación del acervo genético es una herramienta indispensable hoy en día para la producción acuícola óptima de diversas especies. Las herramientas utilizadas en este estudio nos permiten tener la certeza y el control del material biológico usado en la cadena productiva. Este tipo de análisis nos muestra la gran importancia de contemplar el conocimiento del acervo genético de los individuos utilizados en la cadena de producción de tilapia, con la finalidad de conocer su procedencia y mantener registros de las variables nutrimentales, fisiológicas y fenotípicas que pudieran estar asociadas al genotipo de los individuos y no tanto a su manejo.

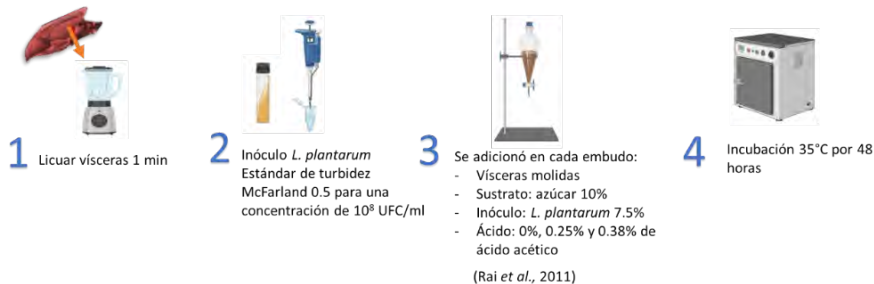


**Figura 9.** Reconstrucción filogenética de 42 secuencias pertenecientes al gen *cytb* de diferentes especies de tilapia. En rojo se muestra la especie de Tilapia utilizada en este trabajo, nombrada como “*Oreochromis niloticus* (CIATEJ)”. A un costado de los identificadores de las secuencias se encuentra la localidad de proveniencia de las muestras. Fuente: elaboración propia.

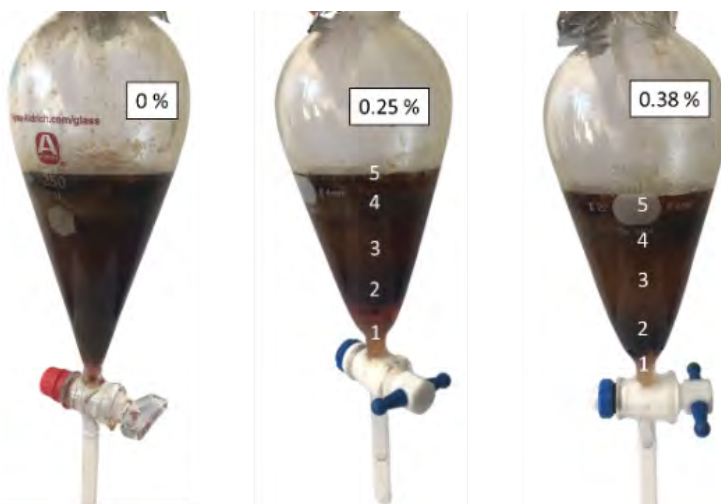
### 3.3.7 Aprovechamiento de vísceras de tilapia (*Oreochromis niloticus*) de cultivo

El enfoque en el aprovechamiento de las vísceras de tilapia es debido a que este sub-producto no se consume normalmente, además de que existen pocas investigaciones registradas de este tema y por su alto contenido en grasas insaturadas y proteínas. Adicional, las extracciones se realizaron por metodologías verdes, como alternativas respetuosas con el medio ambiente y rentables, tales como la fermentación microbiana y la extracción asistida por ultrasonido, por sus siglas en inglés (UAE). Los resultados obtenidos a partir de esta investigación son de utilidad para la comunidad del interior del estado y de los productores acuícolas, siendo una herramienta para el aprovechamiento de sus subproductos. Teniendo como objetivos finales el desarrollo de un alimento funcional o el generar alternativas de aplicaciones para la industria de alimentos. Y como beneficios, la reducción de la contaminación ambiental por la disposición actual de residuos, el impulso de la acuicultura como una opción viable en comparación con la pesca tradicional que está siendo afectada por el cambio climático y el apoyo a las comunidades ofreciendo una fuente adicional de ingreso económico.

Las fermentaciones se realizaron con vísceras de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) obtenidas en la granja acuícola Pescafina S.A. de C.V. establecida en la comunidad de Timul, Motul, Yucatán, México. La metodología utilizada para el proceso de fermentación fue la de Rai et al., (2011) con adecuaciones al proceso y el posterior análisis químico proximal de cada una de las fases obtenidas (Figura 10). Uno de los principales parámetros a evaluar fue la adición de ácido acético (0%, 0.25% y 0.38%) para generar la separación de 5 fases (Figura 11), de las cuales se resalta que las fases de mayor proporción y con un contenido alto de proteínas fueron las fases 3 y 4 de las fermentaciones acidificadas (0.25% y 0.38% de ácido acético), el rango osciló entre 5.31% a 7.26%. En cuanto a la cantidad de grasas, la fase 5 fue quien tuvo un mayor porcentaje con valores entre 86.14 y 89.96% (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con lo reportado en la metodología de referencia.



**Figura 10.** Proceso de fermentación de vísceras de tilapia (*O. niloticus*). Fuente: elaboración propia.



**Figura 11.** Fermentación de vísceras de tilapia (*O. niloticus*) a las 48 horas a 35 °C, con diferentes valores de acidificación. Fuente: elaboración propia

**Tabla 1.** Composición proximal de las fases de la fermentación de vísceras de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Fases fermentación	Proteína (%)		Grasa (%)	
	0.25%	0.38%	0.25%	0.38%
	ác. acético	ác. acético	ác. acético	ác. acético
Fase 2	4.26 ± 0.04	4.50 ± 0.08	0.20 ± 0.00	1.39 ± 0.14
Fase 3	6.44 ± 0.08	7.26 ± 0.01	0.82 ± 0.02	2.17 ± 0.14
Fase 4	5.31 ± 0.09	6.57 ± 0.15	49.89 ± 0.83	41.70 ± 2.60
Fase 5	1.61 ± 0.07	0.86 ± 0.00	86.14 ± 0.96	89.96 ± 0.33

Fuente: elaboración propia.

Dentro de los resultados más destacados se pudo observar que la fermentación con 0.38% de ácido acético tiene un contenido de proteína mayor para las fases 3 y 4, en comparación con la fermentación 0.25% de ácido acético. En cuanto al contenido de grasas, la fase 5 tiene un alto contenido de grasa para ambas fermentaciones. Por lo tanto, se puede concluir que las fases 3 y 5 con 0.38% de ácido acético presentaron los mayores contenidos de proteínas y grasas, respectivamente. Adicional, la fermentación con 0.38% de ácido acético mostró un crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) e inhibición de coliformes totales desde las 24 horas. En general, la fermentación con ácido acético y agentes iniciadores (BAL) de vísceras de tilapia puede ser un método verde de generación de compuestos de alto valor como proteínas y grasas.



### 3.4 Técnicas de análisis utilizadas en la biotransformación de residuos pesqueros y acuícolas

En la biotransformación de subproductos pesqueros a productos de alto valor se recurre inicialmente a la caracterización fisicoquímica para la identificación, cuantificación y evaluación de metabolitos, nutrientes y propiedades biológicas. Entre las técnicas y métodos más usados se encuentran los análisis fisicoquímicos proximales para determinar contenido de grasa, proteína, fibra, humedad, cenizas, material libre de nitrógeno, así como métodos espectrofotométricos UV-Vis, fluorescencia, cromatográficos y espectrométricos (resonancia o de masas) para la identificación, cuantificación y trazabilidad de metabolitos o nutrientes de interés como ácidos grasos, azúcares, aminoácidos, entre otros (Abdul-Hamid et al., 2002; Hou et al., 2009; Ngo et al., 2010; Tello-Cetina et al., 2018) id: "ITEM-1", issue: "1", issued: {"date-parts": [{"2018"}]}, page: "13-17", title: "Uso de la melanina del pulpo (*Octopus maya*). Los residuos pesqueros y los productos obtenidos a partir de su biotransformación pueden tener diferentes características dependiendo del origen de la materia prima, los microorganismos y enzimas involucradas en el proceso de biotransformación, y los tratamientos aplicados para su manejo como el secado solar y la molienda. La caracterización de estos subproductos es importante para comprender sus propiedades biológicas y funcionales. Diferentes técnicas analíticas pueden emplearse para la caracterización de las proteínas, aminoácidos libres, compuestos bioactivos, biopolímeros y ácidos grasos.

Los aminoácidos son importantes debido a su participación en la síntesis de proteínas y su función como precursores de hormonas y neurotransmisores. Se ha demostrado que el consumo de algunos aminoácidos produce efectos importantes sobre la salud humana, por ejemplo, estos pueden estar asociados positivamente con la reducción en el riesgo de sufrir un evento cardiovascular o asociarse a una mayor probabilidad de desarrollar obesidad (Dai et al., 2022). Respecto a la alimentación animal, tienen un efecto significativo sobre el desarrollo, reproducción, lactancia y la salud de los animales (Li et al., 2011). En plantas son importantes debido a que actúan como promotores del crecimiento, permiten capturar diferentes minerales y ayudan a mantener el pH del suelo (R. S. et al., 2023). Debido a lo anterior, es importante conocer el perfil de aminoácidos en productos que serán destinados a la alimentación humana, o bien se empleen en actividades relacionados con la alimentación animal y nutrición del suelo para aplicaciones agrícolas y hortícolas.

La determinación del perfil de aminoácidos puede realizarse empleando diferentes técnicas analíticas como cromatografía de capa fina (TLC, thin layer chromatography, por sus siglas en inglés), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, high pressure liquid chromatography), espectrometría de masas (MS, mass spectrometry).

try), resonancia magnética nuclear (NMR, nuclear magnetic resonance) y sensores electroquímicos. Estas técnicas analíticas proporcionan ciertas ventajas y desventajas respecto a complejidad, costo, conveniencia, efectividad, sensibilidad, repetibilidad y reproducibilidad (Xu et al., 2020). Aunque existen diversas opciones, la técnica analítica comúnmente empleada para la determinación del perfil de aminoácidos es la cromatografía líquida (LC, liquid chromatography, por su siglas en inglés), esta puede acoplarse a detectores de UV-vis (Ultravioleta-visible), arreglo de fotodiodos (DAD, Diode array detection), fluorescencia (FL) y espectrometría de masas de triple cuadrupolo (MS/MS), siendo esta última la más conveniente debido a que proporciona resultados con un alto nivel de confiabilidad (Azilawati et al., 2015). A través de LC-MS/MS es posible obtener el perfil de aminoácidos esenciales y no esenciales de residuos pesqueros, bioles y ensilados; también se puede determinar de forma simultánea aminoácidos no estructurales como el ácido  $\gamma$ -aminobutírico (gamma-aminobutyric acid) (GABA, por sus siglas en inglés) (Becker et al., 2023). Este último actúa como neurotransmisor y tiene un efecto antidepresivo, antihipertensivo, antidiabético y potenciador del sistema inmunitario (Sahab et al., 2020); además se produce de forma activa por acción de bacterias ácido-lácticas en los procesos de fermentación de ensilados de pescado. Debido a sus múltiples beneficios, monitorear la producción de GABA durante procesos de fermentación ha adquirido relevancia. La información obtenida mediante LC-MS/MS proporciona de esta manera el perfil de aminoácidos disponibles tras el proceso de fermentación, lo anterior permite a su vez realizar una mejor prospección acerca de las potenciales aplicaciones tecnológicas de estos subproductos.

Los subproductos pesqueros también son una fuente importante de biopolímeros como el colágeno. La proporción de prolina e hidroxiprolina, así como la distribución de otros aminoácidos en la estructura macromolecular del colágeno, determinan sus propiedades funcionales, como la temperatura de gelación y la fuerza mecánica. Por lo tanto, la caracterización de estos biopolímeros es importante para determinar algunas de sus propiedades funcionales y potenciales aplicaciones. Las técnicas analíticas como LC-MS/MS son una alternativa para su caracterización. Mediante LC-MS/MS se puede obtener información del perfil de aminoácidos, a su vez, esta información puede complementarse con los datos obtenidos a través de otras técnicas analíticas aplicadas en el campo de la caracterización de biopolímeros, como NMR, espectroscopía infrarroja por sus siglas en inglés (FTIR, Fourier transform infrared spectroscopy), microscopía electrónica de barrido, análisis termogravimétrico (TGA, Thermogravimetric analysis), calorimetría diferencial de barrido (DSC, Differential Scanning Calorimetry) (Jafari et al., 2020; Maity et al., 2019). Respecto a la caracterización de aceites de pescado obtenidos a partir de subproductos pesqueros, esta se ha incrementado debido a la búsqueda de fuentes alternativas

de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana y un creciente interés en lograr un manejo integral de los residuos pesqueros. Las técnicas analíticas ampliamente aceptadas para la determinación de ácidos grasos en aceites de origen animal y vegetal son la cromatografía de gases acoplada a detector de ionización de llama por sus siglas en inglés (FID, Flame Ionization Detector) (Muhammad Alinafiah et al., 2021) y espectrometría de masas (MS) (Guerrero-Esperanza et al., 2023). La cromatografía de gases (GC-MS, Gas chromatography- mass spectrometry) es una técnica analítica altamente selectiva, permite determinar el perfil de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Lo anterior es útil para definir las potenciales aplicaciones de aceites de pescado obtenidos a partir de subproductos pesqueros y determinar si aportarían beneficios para la salud de los consumidores, también es una alternativa para el análisis de aceites de pescado obtenidos a través de procesos de fermentación de subproductos pesqueros (Nikiforova et al., 2020).

### **3.4 Conclusiones**

Los residuos pesqueros han adquirido gran interés debido a su alto contenido nutricional, los cuales pueden convertirse mediante biotecnología a productos de alto valor agregado. Los procesos biotecnológicos aplicados y más estudiados en el CIA-TEJ han sido los procesos como el ensilado y los procesos fermentativos con microorganismos alimentarios a partir de subproductos como las vísceras, con la finalidad de obtener posibles aplicaciones como la elaboración de biofertilizantes a partir del uso de los ensilados y productos alimenticios animales para ganado o aves. El colágeno representa también otro subproducto de importancia por sus valiosas aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Los estudios de caracterización de estos subproductos y productos finales han adquirido gran relevancia para identificar las especies estudiadas, así como los contenidos de metabolitos y nutrientes de interés. Por ello se aplican técnicas fisicoquímicas generales como los análisis proximales, hasta técnicas más sofisticadas que permiten profundizar en el conocimiento de los productos procesados para tener un completo panorama de ellos.

## Referencias

- Abdul-Hamid, A., Bakar, J., & Bee, G. H. (2002). Nutritional quality of spray dried protein hydrolysate from Black Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Food Chemistry*, 78(1), 69–74. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00380-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00380-6)
- Arason, S. (1994). Production of fish silage. En A. M. Martin (ed.), *Fisheries Processing* (244–272). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5303-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5303-8_11)
- Azilawati, M. I., Hashim, D. M., Jamilah, B., & Amin, I. (2015). RP-HPLC method using 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate incorporated with normalization technique in principal component analysis to differentiate the bovine, porcine and fish gelatins. *Food Chemistry*, 172, 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.093>
- Barzkar, N., Sukhikh, S., Babich, O., Venmathi Maran, B. A., & Tamadoni Jahromi, S. (2023). Marine collagen: purification, properties and application. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1245077. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2023.1245077/BIB-TEX>
- Becker, S., Schulz, A., Kreyer, S., Dreßler, J., Richter, A., & Helmschrodt, C. (2023). Sensitive and simultaneous quantification of 16 neurotransmitters and metabolites in murine microdialysate by fast liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta*, 253, 123965. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.123965>
- Bhadra, B., Sakpal, A., Patil, S., Patil, S., Date, A., Prasad, V., & Dasgupta, S. (2021). A Guide to Collagen Sources, Applications and Current Advancements. *Systematic Bio-science and Engineering*, 1(2), 67–87. <https://doi.org/10.37256/SBE.1220211043>
- Blázquez, P., & Palacios, F. (2016). Participación de las mujeres en la pesca: nuevos roles de género, ingresos económicos y doble jornada. *Sociedad y Ambiente*, 1(9), 121–141. <https://doi.org/E-ISSN:2007-6576>
- Bozoglu, F & Ray, B (1996). *Lactic Acid Bacteria: Current Advances in Metabolism, Genetics and Applications*. Springer <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61462-0>
- Dai, Z., Zheng, W., & Locasale, J. W. (2022). Amino acid variability, tradeoffs and optimality in human diet. *Nature Communications*, 13(1), 6683. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34486-0>
- David-Ruales, C. A., Torres-Toro, C., Hincapié-Ávila, S., & Londoño-Londoño, J. (2014). Aprovechamiento de residuos de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*: uso de tecnologías limpias para la extracción de aceite. *Orinoquia*, 18(2), 294–299. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89645828018.pdf>
- Davison-Kotler, E., Marshall, W. S., & García-Gareta, E. (2019). Sources of Collagen for Biomaterials in Skin Wound Healing. *Bioengineering* 2019, 6 (3), 56. <https://doi.org/10.3390/BIOENGINEERING6030056>
- Edgar R. C. (2004). MUSCLE: multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. *Nucleic acids research*, 32(5), 1792–1797. <https://doi.org/10.1093/nar/gkh340>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Diagnóstico de los Sectores de la Pesca y la Acuicultura en el Estado de Yucatán*. [http://www.cedepesca.net/wp-content/uploads/2016/05/FAO\\_Diagnosticodelossectorespesca-yacuiculturaenYucatan.pdf](http://www.cedepesca.net/wp-content/uploads/2016/05/FAO_Diagnosticodelossectorespesca-yacuiculturaenYucatan.pdf)

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *El estado mundial de la pesca y acuicultura Hacia la transformación azul*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura. La transformación azul en acción*. <https://doi.org/10.4060/cd0690es>
- Flores Jalixto, M. A., Roldán Acero, D. J., & J. G Juscamaita Morales. (2020). Evaluación de fitotoxicidad y caracterización de un fertilizante líquido elaborado mediante fermentación láctica utilizando subproductos del procesamiento de trucha (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecología Aplicada*, 19 (2), 121-131. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1563>
- Guerrero-Esperanza, M., Wrobel, K., Wrobel, K., & Ordaz-Ortiz, J. J. (2023). Determination of fatty acids in vegetable oils by GC-MS, using multiple-ion quantification (MIQ). *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 104963. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104963>
- Hou, H., Li, B., Zhao, X., Zhuang, Y., Ren, G., Yan, M., Cai, Y., Zhang, X., & Chen, L. (2009). The effect of pacific cod (*Gadus macrocephalus*) skin gelatin polypeptides on UV radiation-induced skin photoaging in ICR mice. *Food Chemistry*, 115(3), 945–950. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.015>
- Jafari, H., Lista, A., Siekapen, M. M., Ghaffari-Bohlouli, P., Nie, L., Alimoradi, H., & Shavandi, A. (2020). Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. *Polymers*, 12(10), 2230 <https://doi.org/10.3390/polym12102230>
- Jiménez-Trejo, R. (2018). Identificación de desechos de la pesca en la costa de Yucatán y estrategias de aprovechamiento para la comunidad de Sisal [tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional UNAM. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000769894>
- Li, X., Rezaei, R., Li, P., & Wu, G. (2011). Composition of amino acids in feed ingredients for animal diets. *Amino Acids*, 40 (4), 1159–1168. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0740-y>
- López, F., Gomez, G., Ortiz, M., & Perea, C. (2014). Evaluación del ensilaje de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis spp*) en alimentación de pollos de engorde. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1). [https://www.scielo.org/co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612014000100013](https://www.scielo.org/co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000100013)
- Maity, P. P., Dutta, D., Ganguly, S., Kapat, K., Dixit, K., Chowdhury, A. R., Samanta, R., Das, N. C., Datta, P., Das, A. K., & Dhara, S. (2019). Isolation and mass spectrometry based hydroxyproline mapping of type II collagen derived from *Capra hircus* ear cartilage. *Communications Biology*, 2(1), 146. <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0394-6>
- Minh BQ, Schmidt HA, Chernomor O, Schrempf D, Woodhams MD, von Haeseler A, Lanfear R (2020) IQ-TREE 2: New models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era. *Molecular Biology and Evolution*, 37(5), 1530-1534. <https://doi.org/10.1093/molbev/msaa015>
- Munguía-Gil, M. T., & Méndez-Cardenas, S. A. (2017). Pescadoras de maxquil. Rasgos de empoderamiento ambiental en San Felipe, Yucatán. *Veredas*, 35, 47–72. <https://veredasojs.xoc.uam.mx/index.php/veredas/article/view/451>

- Muhammad Alinafiah, S., Azlan, A., Ismail, A., & Mahmud Ab Rashid, N.-K. (2021). Method Development and Validation for Omega-3 Fatty Acids (DHA and EPA) in Fish Using Gas Chromatography with Flame Ionization Detection (GC-FID). *Molecules*, 26(21). <https://doi.org/10.3390/molecules26216592>
- Nikiforova, A., Zamaratskaia, G., & Pickova, J. (2020). Fatty acid composition of salted and fermented products from Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*). *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 595–605. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04091-z>
- Ngo, D. H., Qian, Z. J., Ryu, B. M., Park, J. W., & Kim, S. K. (2010). *In vitro* antioxidant activity of a peptide isolated from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) scale gelatin in free radical-mediated oxidative systems. *Journal of Functional Foods*, 2(2), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.02.001>
- Nguyen, J. K., Masub, N., & Jagdeo, J. (2020). Bioactive ingredients in Korean cosmetics: Trends and research evidence. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(7), 1555–1569. <https://doi.org/10.1111/jocd.13344>
- Okonechnikov, K., Golosova, O., Fursov, M., & UGENE team (2012). Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit. *Bioinformatics (Oxford, England)*, 28(8), 1166–1167. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts091>
- Pozzolini, M., Scarfi, S., & Giovine, M. (2020). Marine Collagen and its Biotechnological Applications. En S. K. Kim (ed.), *Encyclopedia of Marine Biotechnology* (1007–1030). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119143802.CH39>
- Rai, A. K., Jini, R., Swapna, H. C., Sachindra, N. M., Bhaskar, N., & Baskaran, V. (2011). Application of native lactic acid bacteria (LAB) for fermentative recovery of lipids and proteins from fish processing wastes: Bioactivities of fermentation products. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20(1), 32–44. <https://doi.org/10.1080/10498850.2010.528174>
- Arias Reyes, L. M., & Montiel Ortega, S. (2010). Campesinos-pescadores de Yucatán: uso de la biodiversidad y apropiación de recursos naturales costeros. *Revista de Geografía Agrícola*, (44), 25-40. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/757/75721681003.pdf>
- Rodrigues, P. V., Cunha, A. B., Andrade, M. A., Vilarinho, F., Machado, A. V., & Castro, M. C. R. (2024). Blown film of PLA for packaging with green tea and fish industrial residues: An insight on their properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101283>
- Rojas Luciano, E. W., Milla Salinas, D. L., Acuña Núñez, C. A., Casas Goñas, J. M. del C., & Salas Asencios, R. (2020). Ensilado biológico de pescado y su efecto sobre el crecimiento de plantas de tomate silvestre (*Solanum pimpinellifolium* L.) y comercial (*S. lycopersicum* L.). *Cátedra Villarreal*, 7(2), 126–134. <https://doi.org/10.24039/cv201972332>
- R. S., S., Warke, V. G., Mahajan, G. B., & Annature, U. S. (2023). Effect of amino acids on growth, elemental content, functional groups, and essential oils composition on hydroponically cultivated coriander under different conditions. *Industrial Crops and Products*, 197, 116577. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116577>
- Sahab, N. R. M., Subroto, E., Balia, R. L., & Utama, G. L. (2020). -Aminobutyric acid found in fermented foods and beverages: current trends. *Heliyon*, 6(11), e05526. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05526>



- Santos-Romero, R.B., Pérez-León, M.I., Rodríguez-Magadán, H.M., Caballero-Sánchez, I., Montes-Yedra, J., & Gómez-Ugalde, R.M. (2018). Caracterización genética de la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada en los valles centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 128-134.
- Sarkar, S. I., Hasan M. M., Hossain, S., Khan, M., Islam A. A., Paul, S. K and G. Rasul. (2023). Exploring fish in a new way: A review on non-food industrial applications of fish. *Heliyon*, 9 (12), 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22673>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Biofertilizantes: rendimiento y nutrientes para las plantas y suelos*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/biofertilizantes-rendimiento-y-nutrientes-para-las-plantas-y-suelos>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Biofertilizantes, nutrición integral y respeto al medio ambiente*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/biofertilizantes-nutricion-integral-y-respeto-al-medio-ambiente?idiom=es>
- Silvipriya, K. S., Kumar, K. K., Bhat, A. R., Dinesh Kumar, B., John, A., & James, S. (2015). Collagen: Animal Sources and Biomedical Application. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(03), 123–127. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50322>
- Spanopoulos-Hernández, M., Ponce.Palafoz, J. T., Barba-Quintero, G., Ruelas-Inzunza, J. R., Tiznado-Contreras, M. R., Hernández-González, C y K. Shirai. (2010). Producción de ensilados biológicos a partir de desechos de pescado, del ahumado de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y del fileteado de tilapia (*Oreochromis sp*), para la alimentación de especies acuícolas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(2), 167-178. Recuperado de [https://rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol9%20no%202/RMIQVol9No2\\_5.pdf](https://rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol9%20no%202/RMIQVol9No2_5.pdf)
- Sun, L., Zhang, Y., & Zhuang, Y. (2013). Antiphotaging effect and purification of an antioxidant peptide from tilapia (*Oreochromis niloticus*) gelatin peptides. *Journal of Functional Foods*, 5(1), 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.09.006>
- Tello-Cetina, J., Chan-Pat, A., Rivera-Muñoz, G., Tamayo-Cortes, J., Jiménez-Suaste, N., & Loria-Sunsa, H. (2018). Uso de la melanina del pulpo (*Octopus maya*) de Yucatán como agente antibacteriano. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 35(1), 13–17. <https://doi.org/ISSN 0138-8452>
- Toledo Pérez, J & Llanes Iglesias, J. (2006). Estudio comparativo de los residuos de pescado ensilados por vías bioquímica y biológica. *AquaTIC*, (25), 28-33. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/494/49402505.pdf>
- Trejo-Jimenez, R. (2018). *Identificación de los desechos de la pesca en la costa de Yucatán y estrategias de aprovechamiento para la comunidad de Sisal* [tesis de Licenciatura Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional UNAM. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000769894>
- Wongsaichia, S., Naruetharadhol, P., Pienwisetkaew, T., Gawborisut, S., & Ketkaew, C. (2024). Unleashing customer empathy in the circular economy: Development of a high-calcium fish sausage prototype from fermented fish residue. *Future Foods*, 9, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100291>
- Xu, W., Zhong, C., Zou, C., Wang, B., & Zhang, N. (2020). Analytical methods for amino acid determination in organisms. *Amino Acids*, 52(8), 1071–1088. <https://doi.org/10.1007/s00726-020-02884-7>





## Capítulo 4

# Aplicaciones de biomateriales de quitina/quitosano derivado de diferentes fuentes naturales

Us-Medina Ulil<sup>1</sup>, Pech-Couho Soledad Cecilia<sup>2</sup>, Martín-López Hector<sup>1</sup>,  
Ayora-Talavera Teresa<sup>1\*</sup>

\*Autor de correspondencia: Ayora-Talavera, Teresa (tayora@ciatej.mx)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14722005>

### Resumen

La quitina es uno de los polímeros naturales más abundante después de la celulosa, se extrae comercialmente de los caparazones de los crustáceos, aunque en los últimos años se ha estado proponiendo la utilización de insectos para su obtención. Industrialmente, este biomaterial se extrae utilizando ácidos y bases en concentraciones elevadas y sus residuos generan serios daños al medioambiente. Para minimizar dichos daños, la ciencia propone la extracción y modificación de la quitina por procesos eco-amigables como los métodos enzimáticos o métodos de fermentación combinados con métodos físicos, donde sus residuos puedan aprovecharse en la producción de alimentos animales o biofertilizantes. La quitina y el quitosano deben su importancia a sus propiedades funcionales como la actividad antibacteriana, actividad antioxidante y antiinflamatoria, agente encapsulante para la liberación controlada de compuestos bioactivos y/o medicamentos, formador de películas para la elaboración de bioplásticos, empaquetado de alimentos, incrementar la vida de anaquel de un producto, la formación de bioplásticos para la regeneración tisular, la eliminación de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales o la conservación de semillas.

**Palabras clave:** aprovechamiento; residuos pesqueros; actividad biológica; biopelículas.

---

<sup>1</sup> Centro Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco (CIATEJ), Subsede Sureste, ABlaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP: 97302 Mérida, Yucatán, México. Teléfonos: (999) 9202671 / (999) 3410039

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Yucatán (UPY), Km. 4.5. Carretera Mérida – Tetiz, Tablaje Catastral 7193. CP 97357, Mérida, Yucatán, México.

## 4.1 Introducción

Los biopolímeros son compuestos formados por unidades más pequeñas conocidas como monómeros que están repetidas varias veces a lo largo de la cadena. Algunos ejemplos son las proteínas formadas por aminoácidos, el material genético, ADN y ARN formados por desoxirribonucleótidos y ribonucleótidos, respectivamente, la celulosa que está formada por unidades de  $\beta$ -glucosa y el almidón constituido por  $\alpha$ -glucosa. Cada una de estas moléculas cumplen una función importante en los seres vivos, pueden ser inmunológicas, transportadoras, catalíticas, conservación de la información genética, energía de reserva, estructurales, entre otros. En este contexto, la cutícula de los artrópodos que forma el esqueleto externo les proporciona soporte, protección y evita la deshidratación, está formada principalmente por proteínas, minerales, pigmentos y quitina (Mohan et al., 2023). La quitina es un polímero natural que forma parte de los caparazones de los insectos, langostas, cangrejos, camarones y de los micelios de algunos hongos (Muthukrishnan et al., 2020). Puede purificarse y modificarse a quitosano por métodos químicos, biológicos y/o en combinación con métodos físicos para ser utilizado como materia prima en diversos procesos (Martín-López et al., 2021). La quitina y el quitosano son compuestos biológicamente versátiles no tóxicos, biocompatibles y biodegradables, por lo que tienen diversas aplicaciones tecnológicas aprovechables en diferentes industrias como alimentaria, cosmética, agrícola, medicina, entre otros (Chattopadhyay et al., 2023; J. Liu et al., 2017).

Por lo anterior, el objetivo del presente capítulo es dar un panorama de las diferentes fuentes de quitina y quitosano, sus propiedades biológicas una vez extraídas y purificadas, los métodos de obtención de estos biopolímeros, así como sus aplicaciones como biomateriales para la elaboración de biopelículas y encapsulación de diferentes compuestos.

## 4.2 Definición de quitina y quitosano

### 4.2.1 Quitina

La quitina es el segundo biopolímero de mayor abundancia en la naturaleza después de la celulosa, se encuentra presente en diferentes estructuras como son los caparazones de crustáceos y escamas de peces, los exoesqueletos de insectos y en la pared celular de algunos hongos (Lin et al., 2017; Mohan et al., 2023; Mu et al., 2024). La quitina presenta tres arreglos estructurales conocidos como alomorfos  $\alpha$ ,  $\beta$  o  $\gamma$  según el arreglo en la región cristalina (Ben Aoun et al., 2024). La composición  $\alpha$  es la más abundante, se conforma por cadenas antiparalelas y está presente en los caparazones de crustáceos como el camarón y el cangrejo, presenta una alta estabilidad estructural debido a los fuertes puentes de hidrógeno intermoleculares. La estructura  $\beta$  está

compuesta por cadenas paralelas, está presente en la pluma de calamar y se considera estructuralmente menos estable debido a su unión por fuerzas moleculares débiles (Kadokawa, 2024; Mohan et al., 2022). La  $\gamma$ -quitina es una inusual mezcla de dos cadenas paralelas y una antiparalela, esta se encuentra principalmente estómagos de *Loligo* y en fibras de los capullos de escarabajos *Ptinus* (Ben Aoun et al., 2024; Giraldo et al., 2024) (Figura 1).



**Figura 1.** Diferentes conformaciones estructurales de la quitina.

Fuente: Kadokawa (2024).

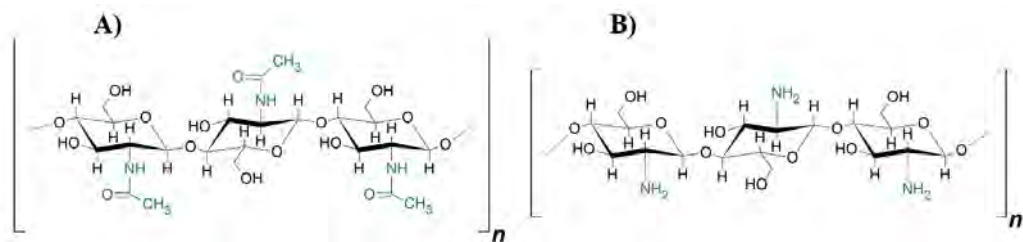
La estructura química de la quitina consta de unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces  $\beta$ -(1-4) (Ben Aoun et al., 2024; Kadokawa, 2024). Se caracteriza por ser un material insoluble en agua y en la mayoría de los solventes orgánicos debido principalmente a que su estructura es compacta y de alta cristalinidad, influenciadas por los abundantes puentes de hidrógeno intra e intermoleculares. Además, la prevalencia de grupos -NH y -OH lo hacen un material con carga neta negativa, estas características limitan en gran medida las aplicaciones de este material en procesos industriales (Ben Aoun et al., 2024; Y. Liu et al., 2023; J. Zhang et al., 2023).

La quitina se caracteriza por presentar múltiples aplicaciones en la industria, particularmente en el campo de los biomateriales, biomedicina y alimentos (J. Zhang et al., 2023). Es un material no tóxico, no irritante y biodegradable. Se conoce que ciertos pesos moleculares están asociados a respuestas del sistema inmune que contribuyen a un control en procesos inflamatorios, pero su difícil solubilidad hace complicada su aplicación práctica (Mu et al., 2024) a diferencia de algunos de sus derivados como los quitosanos o su derivado más importante, el quitosano. Entre otras aplicaciones de la quitina destacan la producción de membranas, nanofibras, andamios y esponjas, planeadas también para fines biomédicos (Elieh-Ali-Komi & Hamblin, 2016).

#### 4.2.2 Quitosano

El quitosano es quizás el derivado más importante de la quitina, este es un material biodegradable, biocompatible y biofuncional (EL Knidri et al., 2019), no es tóxico y posee una excelente actividad biológica antimicrobiana y antiinflamatoria, que lo

hacen ideal para aplicaciones en biomedicina como andamios, soportes celulares y para la curación de heridas mediante geles y/o películas protectoras (Giraldo et al., 2024; Kohrs et al., 2019). El quitosano se obtiene a partir de la desacetilación de la quitina y posee una estructura química conformada por unidades de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces  $\beta$ -(1-4). A diferencia de la quitina, el quitosano pierde el grupo acetilo y su lugar lo ocupa un grupo amino (Figura 2), lo que genera acetato como subproducto (Giraldo et al., 2024). Cuando la quitina alcanza un grado de desacetilación mayor al 50% se considera que se ha obtenido quitosano (EL Knidri et al., 2019; Pellis et al., 2022; J. Zhang et al., 2023).



**Figura 2.** Estructura química de la A) quitina y B) quitosano.

Fuente: Pellis et al. (2022).

El quitosano es un biopolímero catiónico, se considera que su valor económico es dependiente de su capacidad biológica, esta a su vez dependerá de las características fisicoquímicas, que son evaluadas mediante el grado de desacetilación (GD), peso molecular (PM), polidispersión e índice de cristalinidad (ICr) (Mohan et al., 2022; Pellis et al., 2022). Múltiples propiedades de este biopolímero como son la solubilidad y la biodegradabilidad son dependientes del PM y GD (Tabla 1), las múltiples variaciones entre estos factores lo hacen de especial interés y amplían aún más la gran gama de aplicaciones. El quitosano de alto PM abarca de 310 – 375 kDa, mientras que, de mediano PM abarca 190 – 310 kDa y de bajo PM de 50 – 190 kDa (Mohan et al., 2022). Un elevado PM refleja mayores valores de viscosidad, adsorción de moléculas lipofóbicas, tensión superficial y conductividad, mientras que un bajo PM sugiere materiales con menores valores en densidad y viscosidad, pero mayor capacidad de penetración al interior de la célula y mejor solubilidad en agua (Joseph et al., 2021). Diferentes variaciones en PM y GD han demostrado mejor desempeño en aplicaciones específicas. Alto PM (>300 kDa) y alto GD (70-90%) funcionan para sistemas de suministro de fármacos, andamios para ingeniería de tejidos, inmovilización enzimática y celular, encapsulación, como ingrediente alimenticio, embalaje alimenticio y como antimicrobiano. Alto PM (>300 kDa) y bajo GD (55-70%) actúa en mejor medida como agente emulsificante, buena actividad antimicrobiana y buen desempeño en farmacéutica, como polímero para nanocompuestos y en for-

mulaciones alimenticias. Bajo PM (<300 kDa) y alto GD (70-90%) puede emplearse en biomedicina para la curación de heridas, como conservante alimenticio, en el tratamiento de aguas, reducción de metales e impresión molecular. Bajo PM (<300 kDa) y bajo GD (55-70%) es ideal en el suministro de fármacos/genes, inhibición de fitopatógenos, presentan mejor biodegradabilidad y estimulan el crecimiento de plantas (Joseph et al., 2021).

**Tabla 1.** Propiedades fisicoquímicas y biológicas del quitosano de fuentes marinas

Propiedades	Función
<b>Fisicoquímicas</b>	Solubilidad, reactividad, comportamiento ácido-base, comportamiento electrostático, flexibilidad, conformación polimérica, viscosidad, cristalinidad, porosidad, resistencia a la tracción, conductividad, habilidad para quelar metales y fotoluminiscencia
<b>Biológicas</b>	Biodegradabilidad, biocompatibilidad, mucoadhesión, hemostasia, analgésico, mejorador de la adsorción, antimicrobiano, anticolesterolemico, antioxidante, no toxico.

Fuente: Pellis et al. (2022).

### 4.3 Fuentes de obtención de quitosano

La quitina y su derivado, el quitosano, por lo general, se extraen comercialmente de los residuos pesqueros como el camarón, langostinos y cangrejos (Elieh-Ali-Komi & Hamblin, 2016). Sin embargo, existen otras fuentes alternas (Tabla 2) con características similares o superiores de los comerciales como, por ejemplo, los insectos y hongos (Hahn et al., 2020; Hisham et al., 2024), por lo que pueden brindar un mayor número de aplicaciones o facilitar el proceso de conversión de la quitina reduciendo los pasos del proceso y minimizando la cantidad de recurso invertido (Lee et al., 2022). Dependiendo de la fuente de obtención de la quitina/quitosano, pueden diferir en concentración, estructura, ICr, pureza, morfología y estabilidad térmica (Ben Aoun et al., 2024). En este contexto, las investigaciones sobre la obtención de quitina a partir de pupas de moscas soldado negro (*Hermetia illucens*) y de moscas adultas, utilizando el método químico y biológico, se observó un mayor contenido de quitina en las pupas en comparación con las moscas adultas (Xiong et al., 2023). Por otro lado, se estudió el contenido y rendimiento de la quitina en diferentes estadios larvales de la mosca soldado negro y se observó que las pupas tuvieron mayor rendimiento (31.1%) que de las moscas adultas (5.6%) (Soetemans et al., 2020). Otros insectos que han sido evaluados como posibles fuentes de quitina/quitosano son las larvas de escarabajos (*Scarabaeidae*), el gusano de seda, la abeja melífera (*Apis mellifera*), grillos (*Gryllus*) y la mosca doméstica (*Musca domestica* L.); hongos como *Absidia sp.*, *Trichoderma harzium*, *Mucor rouxi*, *Benjamiell apoitrasii*, *A. flavus*, también se han evaluado para dicho fin (Joseph et al., 2021).

Entre las fuentes emergentes es importante hacer hincapié en las diferencias y retos que pueden traer el uso de insectos y algunos hongos, que es la presencia de melanina ligada de forma covalente a la molécula de quitina, que no suele eliminarse por completo tras el proceso de despigmentación o decoloración, sino que sólo se aminora la coloración. La melanina presente en la cutícula de los insectos es una forma particular de la eumelanina, con la capacidad de proteger de la luz UV y absorber la energía proveniente de los fotones y convertirla rápidamente en calor (Khayrova et al., 2021).

**Tabla 2.** Diferentes fuentes evaluadas para la obtención de quitina y quitosano

Fuente	Biomasa
<b>Crustáceos</b>	Cangrejo ( <i>Gecarcinucidea sp.</i> ), camarón ( <i>litopenaeus sp.</i> ), krill ( <i>Euphausia sp.</i> ), langosta ( <i>Homarus sp.</i> ) y escamas de pescado
<b>Insectos</b>	Saltamontes ( <i>Ailopus sp.</i> ), langosta ( <i>Doclostaurus sp.</i> ), abeja melífera ( <i>Apis mellifera</i> ) y Escarabajos ( <i>Calosoma sp.</i> )
<b>Moluscos</b>	Pluma de calamar ( <i>Doryteuthis spp.</i> ), almejas ( <i>Tegillarca granosa</i> ), ostras ( <i>Crassostrea sp.</i> ) y mejilones ( <i>Mytilus sp.</i> )
<b>Hongos</b>	<i>Aspergillus nige</i> , <i>Lactarius Vellereus</i> , <i>Mucor Rouxii</i> , <i>Penecelium notatum</i> , <i>Hongo shiitake</i> , <i>Seta ostra</i> y <i>Seta de cardo</i>

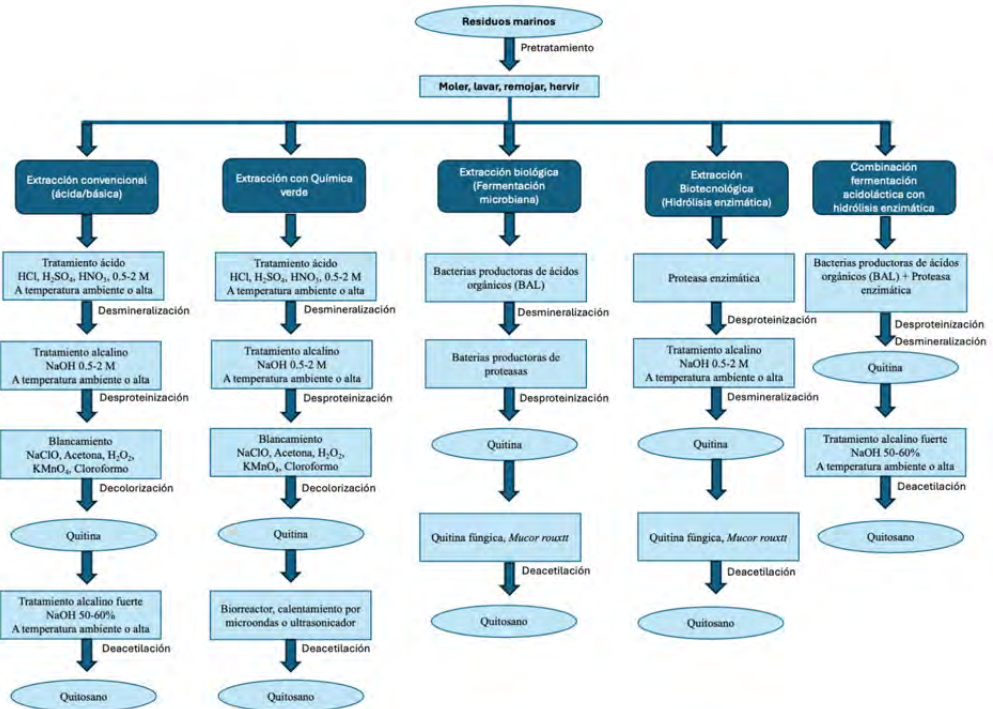
Fuente: Ben Aoun et al. (2024).

#### 4.4 Métodos obtención de la quitina y quitosano

Debido al contenido de proteínas y minerales, el exoesqueleto presenta una alta cristalinidad, peso molecular elevado, es duro, inelástico, con baja solubilidad en soluciones acuosas y solventes orgánicos, lo que limita sus aplicaciones y el aprovechamiento de las propiedades biológicas (Kim et al., 2023). Por lo anterior, se han descrito varios procesos para la extracción de la quitina (Figura 3), todos se basan en la desmineralización y la desproteínización de la biomasa que la contiene (Anggraeni et al., 2022; Pech-Cohuo et al., 2020). La desmineralización es un proceso que consiste en la remoción de minerales, principalmente carbonato de calcio a cloruro de calcio, con la liberación de dióxido de carbono (Mohan et al., 2022). Durante el proceso de desproteínización ocurre la ruptura de las uniones químicas entre la quitina y las proteínas, se considera la etapa más crítica del proceso porque puede ocurrir una desacetilación parcial de la quitina, así como una hidrólisis que reduciría su peso molecular (Mohan et al., 2020). Adicionalmente, se puede incluir un paso de decoloración, donde se remueve el carotenoide astaxantina con una mezcla de solventes orgánicos de hipoclorito de sodio, acetona, permanganato de potasio o peróxido de hidrógeno (Yadav et al., 2019; Abidin et al., 2020). Por tanto, obteniéndose cinco grandes grupos de metodologías encaminadas a la extracción de quitina y quitosano, incluyendo la extracción química por métodos convencionales, método de extracción química verde, ex-



tracción biológica (fermentación microbiana), extracción por método biotecnológico o enzimático y métodos que recurren a la combinación dos o más métodos.



**Figura 3.** Diagrama de métodos de extracción de quitina y quitosano.

Fuente: adaptado de Anggraeni et al. (2022).

#### 4.4.1 Método químico

Por lo general, es el método más utilizado debido a que se obtiene un mayor grado de purificación, desacetilación y en menor tiempo. Para ello se utilizan ácidos y bases concentradas de los que se requieren ser neutralizados al término de cada fase del proceso (Abdel-Rahman et al., 2015). Para la eliminación de los minerales se han reportado el uso del ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido nítrico ( $HNO_3$ ), ácido acético ( $C_2H_4O_2$ ) y ácido fórmico ( $CH_2O_2$ ); de esos ácidos el más eficiente y utilizado es el HCl en concentraciones variables de 0.275 a 2 M, la reacción se lleva a cabo en un máximo de 48 h, dependiendo del tipo de biomasa y la temperatura es menor a 100 °C (Nguyen et al., 2017; Abidin et al., 2020). Seguidamente, se utiliza un álcali concentrado para la eliminación de las proteínas, generalmente se utiliza hidróxido de sodio (NaOH) variando las temperaturas (menores a 100 °C), concentración (0.125-2.5 M) y los tiempos en el proceso (de minutos hasta 2 o 3

días), lo cual afecta la eficiencia de este proceso y depende de la fuente específica de la biomasa (Hahn et al., 2020; Mohan et al., 2020; Abidin et al., 2020). Los ácidos y las bases utilizadas en este proceso son altamente corrosivos por lo que se requiere un postratamiento como: neutralización, secado y molienda (Bastiaens et al., 2019).

#### 4.4.2 Método biológico

A pesar de que la extracción química es la menos eco amigable y rentable, es la más utilizada en la industria, por lo que se sugieren métodos de purificación de la quitina y obtención de quitosano que sean eco-amigables (Terkula Iber et al., 2022). En este contexto, se han propuesto diversas estrategias de fermentación utilizando bacterias, hongos y/o enzimas o la combinación de ellas para la purificación de la quitina y la obtención de quitosano (Aranday-García et al., 2019). En el proceso de fermentación, los minerales son eliminados con ácidos orgánicos producidos por bacterias lácticas como *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus bulgaricus*, *L. delbruekii*, *L. brevis*, *Lactococcus lactis*, *Acetobacter pasteurianus*, estos producen tanto ácido láctico y/o ácido acético que reacciona con los minerales (Martín-López et al., 2021; Pech-Cohuo et al., 2020; Q. Zhang et al., 2022). La liberación de los ácidos orgánicos en la fermentación ácido-láctica impide el crecimiento de bacterias patógenas, permite la recuperación de productos de valor agregado, disminuye la cristalinidad de la quitina mediante la eliminación de minerales y aumenta la solubilidad, características importantes para el proceso de desproteínización. Otros estudios se han enfocado en la utilización de enzimas capaces de romper las proteínas que se encuentran entrelazadas en la quitina llamadas proteasas, las comerciales (alcalasa o una mezcla de enzimas), proteasas aisladas (proteasas de piñuela), o las proteasas producidas y liberadas por bacterias (*Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amylolysans*, *B. subtilis variant*) durante el proceso fermentativo (Pachapur et al., 2016). En un estudio realizado después de la fermentación ácido-láctica se observó que utilizar proteasas de piñuela o Ch'om (*Bromelia pinguin*) mejora la calidad de la quitina en más de un 15.8% (Pech-Cohuo et al., 2020).

Una vez que la quitina es purificada con grados de desacetilación por encima del 30%, se procede a la utilización de hongos o enzimas desacetilasas (*Rhizopus oligosporus*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum acutatum*, *Fusarium solani*, *aspergillus niger*) para la eliminación el grupo funcional acetil ubicado en el grupo amino del carbono 2 (Aranday-García et al., 2019). A diferencia del proceso químico, los minerales, pigmentos y proteínas resultantes pueden ser aprovechados para el desarrollo de alimentos para animales o como fertilizante en los cultivos agroecológicos (Terkula Iber et al., 2022).

### **4.4.3 Método físico**

En la química verde se tiene el objetivo de implementar metodologías de extracción de moléculas con actividad biológica y propiedades fisicoquímicas, que incrementen la eficiencia, sea sostenible y disminuya el impacto ambiental. En este contexto, se ha utilizado el método físico con el método biológico y químico como pretratamiento o durante el proceso de extracción para disminuir la cristalinidad de la quitina, la estructura nativa de la molécula y aumentar la solubilidad para que los ácidos inorgánicos producidos en la fermentación y las enzimas empleadas puedan tener mayor accesibilidad a sus componentes. En este sentido, se ha reportado el uso en diferentes etapas de la purificación de microondas, sonicación y/o explosión de vapor (Mohan et al., 2022; Poshina et al., 2018).

La extracción asistida por microondas se basa en el rápido calentamiento del solvente con la muestra donde la irradiación de ondas electromagnéticas induce la conducción iónica y la rotación dipolar. Por lo tanto, una exposición del residuo a las microondas con una potencia de 300 a 650 Watts entre 2 a 60 min acelera la transferencia de energía, elimina los puentes de hidrógeno y facilita la solvatación (Li et al., 2023).

La energía ultrasónica disminuye las tensiones electrostáticas existentes en la estructura del exoesqueleto provocando el hinchamiento de la quitina, aumenta la superficie de contacto, disminuye la cristalinidad e incrementa la disponibilidad de minerales y las proteínas, incrementa el hinchamiento de la quitina, esto facilita la actividad de los reactantes o enzimas permitiendo una mayor purificación (Martín-López et al., 2020; Q. Zhang et al., 2022).

La explosión de vapor es una técnica utilizada para convertir energía calorífica en energía mecánica por la elevada presión del vapor; esta técnica es aprovechada para expandir la estructura molecular de la quitina y disminuir la cristalinidad dando acceso a los ácidos orgánicos y a las enzimas. También se ha reportado el uso de esta técnica para la desacetilación de la quitina; sin embargo, también puede romper la molécula y generar productos secundarios o puede degradar la molécula de interés, debido a esto se sugiere cortos tiempos de exposición de la muestra (Tian et al., 2018).

## **4.5 Aplicaciones de la quitina**

Debido a las propiedades fisicoquímicas y biológicas tanto de la quitina purificada como de su derivado, quitosano, tienen un amplio espectro de aplicaciones industriales (Tabla 3). El quitosano suele utilizarse como ingrediente en la elaboración de los alimentos debido a sus diversas propiedades biológica. Estas incluyen la capacidad de neutralizar radicales libres, quelar metales, biocompatibilidad, baja toxicidad, actividad antimicrobiana y actividad antiinflamatoria. Por otro lado, el quitosano

puede formar películas comestibles e inteligentes, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los productos alimentarios (Copado et al., 2021).

**Tabla 3.** Aplicaciones del quitosano obtenido de residuos alimentarios.

Objetivo	Industria	Método	Fuente
Encapsulado de aceite rico en omega-3 de fuentes vegetales y animales	Alimentaria	Secado por aspersión	de-la-Haba et al. (2023)
		Gelación iónica	Chang et al. (2021)
Encapsulado de aceite esencial	Alimentaria	Gelacion iónica	Kaboudi et al. (2023)
Películas comestibles	Alimentaria	Casting	Purohit et al. (2023)
Conservación postcosecha de la cereza		Baño de recubrimiento de frutas	Mujtaba et al. (2023)
Eliminación de cromo (VI), cobalto, cadmio, cobre y hierro	Tratamiento de agua	Nanoencapsulado	Lin et al. (2022)
Eliminación de tintes		Hidrogeles	Wang et al. (2021)
Eliminación de pesticidas (acephate, omthosate, and methyl parathion)			Das et al. (2020) Mostafa et al. (2021)
Germinación del sésamo	Agrícola	Formación de película	Godínez-Garrido et al. (2022)
Membrana regenerativa para pie diabético	Farmacéutica	Películas	Chen et al. (2023)
Encapsulado de doxorrubicina	Farmacéutica	Encapsulado	Shikuku et al. (2024)

En los últimos años, la industria de los alimentos ha centrado su atención en el diseño y elaboración de alimentos con propiedades benéficas a la salud; además de mejorar su contenido nutricional, busca prevenir las enfermedades crónicas degenerativas como las cardiovasculares y respiratorias crónicas, cáncer, diabetes, etcétera, así como también incrementar la vida de anaquel de los alimentos. En este contexto, el quitosano y otros compuestos biocompatibles se utilizan como material de recubrimiento en la elaboración de nanocápsulas debido a sus propiedades formadoras de película. El objetivo principal es preservar las propiedades de ingredientes con actividad biológica, evitando su oxidación o degradación durante el procesamiento en condiciones ambientales o almacenamiento (de-la-Haba et al., 2023). En la Tabla 3 se observa que se han encapsulado aceites vegetales y animales ricos en ácidos grasos poliinsaturados esenciales (omega-3 y omega-6) componentes de las células cerebrales, así como compuestos polifenólicos con actividad antioxidante, antiinflamatoria, antidiabética y anticancerígena (Lu et al., 2022). Por otro lado, se han encapsulado aceites esenciales con actividad antioxidante y antibacteriana para preservar los alimentos (Purohit et al., 2023; Sharma et al., 2024).

En la actividad agrícola, el quitosano se mezcla con otros ingredientes como la gelatina, óxido de zinc, antocianinas y aceites esenciales para generar un recubrimiento inteligente en la conservación de las semillas (Godínez-Garrido et al., 2022; Kaboudi et al., 2023; Mujtaba et al., 2023). Por otro lado, para reducir los riesgos de la producción por efectos de las plagas, se utilizan diversos pesticidas en los cultivos. Los organofosforados como el ometoato —que sirve como acaricida e insecticida por contacto o ingestión similar a las acciones de acefato, metil paratión— es utilizado para matar a los insectos antes de realizar las cosechas, se aplican en forma de roció en las plantas (Mostafa et al., 2021; Wang et al., 2021). Sin embargo, estos pesticidas son fácilmente arrastrados a los cuerpos de agua como lagos, ríos y aguas subterráneas lo que ocasiona su contaminación. Además, la actividad industrial también está involucrado la contaminación del agua por metales pesados como el cromo, hierro, cobre, cobalto y cadmio, por citar algunos (X. Lin et al., 2022). Estos pesticidas y metales pesados han sido asociados al incremento de los riesgos de padecer alguna enfermedad crónica no transmisible como el cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares (Das et al., 2020; X. Lin et al., 2022; Mostafa et al., 2021). En este contexto, el quitosano puede ser una solución debido a que contienen grupos funcionales amino e hidroxilo ( $-\text{NH}_2$  y  $-\text{OH}$ ) activos. Cuando se somete a condiciones de pH ácido, los grupos  $-\text{NH}_2$  del quitosano son protonados parcialmente, formando iones amino cargados positivamente ( $\text{NH}_3^+$ ) capaces de interactuar con sustancias de carga negativa como proteínas, pigmentos, proteínas, células tumorales, bacterias, ADN y ARN, compuestos organofosforados, metales pesados (Pellis et al., 2022; Wang et al., 2021).

En la industria farmacéutica se ha utilizado para encapsular el ingrediente activo y permitir una liberación controlada de los medicamentos y al desarrollo de biopelículas capaces de regenerar el tejido (Chen et al., 2023). Cuando se perpetua un daño en el tejido, por lo general las células encargadas de la eliminación de patógenos y regeneración realizan su función en un tiempo aproximado de 3 a 5 días; sin embargo, en la población con diabetes mellitus la regeneración tisular se ve comprometida, lo que retarda la cicatrización de la piel. Por otro lado, se han realizado estudios de liberación controlada de medicamentos encapsulado con quitosano como es el caso de la doxorubicina, metotrexato, dacarbazina para el tratamiento de cáncer (Ataabadi et al., 2023; Ourani-Pourdashti et al., 2022; Shikuku et al., 2024).

## 4.6 Conclusiones y perspectivas

La quitina es un biopolímero versátil por sus diferentes usos industriales; en la literatura científica se han establecido varias condiciones metodológicas de extracción y transformación a sus derivados. Siendo los métodos químicos más utilizados que generan un impacto negativo al medio ambiente, paralelamente se han establecido métodos físicos y biológicos que son más amigables con el medio ambiente. Sin embargo, hace falta optimizar las metodologías para obtener un polímero con características similares a los métodos químicos. A su vez, dicho polímero puede ser utilizado en la encapsulación de compuestos con actividad antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena, antidiabética y ser utilizado en la elaboración de alimentos funcionales, así como en la biomedicina para la regeneración de tejidos.

## Referencias

- Abdel-Rahman, R. M., Hrdina, R., Abdel-Mohsen, A. M., Fouda, M. M. G., Soliman, A. Y., Mohamed, F. K., Mohsin, K., & Pinto, T. D. (2015). Chitin and chitosan from Brazilian Atlantic Coast: Isolation, characterization and antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, *80*, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.06.027>
- Angraeni, A. S., Jayanegara, A., Laconi, E. B., Kumalasari, N. R., & Sofyan, A. (2022). Marine by-products and insects as a potential chitosan source for ruminant feed additives. *Czech Journal of Animal Science*, *67*(8), 295–317. <https://doi.org/10.17221/42/2022-CJAS>
- Aranday-García, R., Saimoto, H., Shirai, K., & Ifuku, S. (2019). Chitin biological extraction from shrimp wastes and its fibrillation for elastic nanofiber sheets preparation. *Carbohydrate Polymers*, *213*, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.083>
- Ataabadi, F. V., Oveissi, F., Etebari, M., & Taheri, A. (2023). Preparation of chitosan nanoparticles for simultaneous drug delivery of dacarbazine and enoxaparin in melanoma. *Carbohydrate Polymers*, *316*, 121041. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121041>
- Bastiaens, L., Soetemans, L., D'Hondt, E., & Elst, K. (2019). Sources of Chitin and Chitosan and their Isolation. En L. A. M. van den Broek & C. G. Boeriu, *Chitin and Chitosan* (pp. 1–34). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119450467.ch1>
- Ben Aoun, R., Trabelsi, N., Abdallah, M., Mourtzinis, I., & Mhamdi, R. (2024). Towards a greener future: Exploring the challenges of extraction of chitin and chitosan as bioactive polysaccharides. *Materials Today Communications*, *39*, 108761. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.108761>
- Chang, P.-K., Tsai, M.-F., Huang, C.-Y., Lee, C.-L., Lin, C., Shieh, C.-J., & Kuo, C.-H. (2021). Chitosan-Based Anti-Oxidation Delivery Nano-Platform: Applications in the Encapsulation of DHA-Enriched Fish Oil. *Marine Drugs*, *19*(8), 470. <https://doi.org/10.3390/md19080470>
- Chattopadhyay, K., Xavier, K. A. M., Balange, A. K., Bhowmick, A., & Nayak, B. B. (2023). Interaction of chitosan gel at different pH conditions prepared with acetic acid as food acidulant in fish protein emulsion sausages: Effect of pH conditions of chitosan gel on sausage quality. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *29*, 100346 <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2022.100346>
- Chen, S., Gao, J., Luo, X., Sun, Y., Jin, W., & He, R. (2023). Therapy of reprogrammable immune activating supramolecular-based chitosan membranes for skin regeneration. *Materials & Design*, *227*, 111713. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111713>
- Copado, C. N., Julio, L. M., Diehl, B. W. K., Ixtaina, V. Y., & Tomás, M. C. (2021). Multilayer microencapsulation of chia seed oil by spray-drying using electrostatic deposition technology. *LWT*, *152*, 112206. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112206>
- Das, L., Das, P., Bhowal, A., & Bhattacharjee, C. (2020). Synthesis of hybrid hydrogel nano-polymer composite using Graphene oxide, Chitosan and PVA and its application in waste water treatment. *Environmental Technology & Innovation*, *18*, 100664. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100664>
- de-la-Haba, F., Antequera, T., Ruiz, J., Solomando, J. C., Pajuelo, A., & Pérez-Palacios, T. (2023). Suitability in the microencapsulation of fish oil and in vitro bioaccessibil-



- ity of omega-3 fatty acids. *Food Bioscience*, 55, 103027. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103027>
- EL Knidri, H., Dahmani, J., Addaou, A., Laajeb, A., & Lahsini, A. (2019). Rapid and efficient extraction of chitin and chitosan for scale-up production: Effect of process parameters on deacetylation degree and molecular weight. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 1092–1102. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.079>
- Elieh-Ali-Komi, D., & Hamblin, R. M. (2016). Chitin and Chitosan: Production and Application of Versatile Biomedical Nanomaterials. *International Journal of Advanced Research*, 4(3), 411–427. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5094803/>
- Giraldo, J. D., García, Y., Vera, M., Garrido-Miranda, K. A., Andrade-Acuña, D., Marrugo, K. P., Rivas, B. L., & Schoebitz, M. (2024). Alternative processes to produce chitin, chitosan, and their oligomers. *Carbohydrate Polymers*, 332, 121924. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.121924>
- Godínez-Garrido, N. A., Torres-Castillo, J. A., Ramírez-Pimentel, J. G., Covarrubias-Prieto, J., Cervantes-Ortiz, F., & Aguirre-Mancilla, C. L. (2022). Effects on Germination and Plantlet Development of Sesame (*Sesamum indicum* L.) and Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seeds with Chitosan Coatings. *Agronomy*, 12(3), 666. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030666>
- Hahn, T., Tafi, E., Paul, A., Salvia, R., Falabella, P., & Zibek, S. (2020). Current state of chitin purification and chitosan production from insects. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95(11), 2775–2795. <https://doi.org/10.1002/jctb.6533>
- Hisham, F., Maziaty Akmal, M. H., Ahmad, F., Ahmad, K., & Samat, N. (2024). Biopolymer chitosan: Potential sources, extraction methods, and emerging applications. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102424. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102424>
- Joseph, S. M., Krishnamoorthy, S., Paranthaman, R., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2021). A review on source-specific chemistry, functionality, and applications of chitin and chitosan. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100036>
- Kaboudi, Z., Peighambaroust, S. H., Nourbakhsh, H., & Soltanzadeh, M. (2023). Nanoencapsulation of Chavir (*Ferulago angulata*) essential oil in chitosan carrier: Investigating physicochemical, morphological, thermal, antimicrobial and release profile of obtained nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237, 123963. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123963>
- Kadokawa, J. (2024). An overview on acylation methods of  $\alpha$ -chitin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262, 130166. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130166>
- Khayrova, A., Lopatin, S., & Varlamov, V. (2021). Obtaining chitin, chitosan and their melanin complexes from insects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 167, 1319–1328. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.086>
- Kim, H., Kim, H., Ahn, Y., Hong, K. B., Kim, I. W., Choi, R. Y., Suh, H. J., & Han, S. H. (2023). The Preparation and Physicochemical Characterization of *Tenebrio molitor* Chitin Using Alcalase. *Molecules*, 28(7). <https://doi.org/10.3390/molecules28073254>
- Kohrs, N. J., Liyanage, T., Venkatesan, N., Najarzadeh, A., & Puleo, D. A. (2019). Drug Delivery Systems and Controlled Release. En R. Narayan (ed.) *Encyclopedia of Bio-*

- medical Engineering* (pp. 316–329). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.11037-2>
- Lee, Y. H., Kim, S. C., Nam, K. D., Kim, T. H., Jung, B. O., Park, Y.-I., Synytsya, A., & Park, J. K. (2022). Chitosan isolated from black soldier flies *Hermetia illucens*: Structure and enzymatic hydrolysis. *Process Biochemistry*, *118*, 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.04.020>
- Li, Z., Li, M. C., Liu, C., Liu, X., Lu, Y., Zhou, G., Liu, C., & Mei, C. (2023). Microwave-assisted deep eutectic solvent extraction of chitin from crayfish shell wastes for 3D printable inks. *Industrial Crops and Products*, *194*, 116325. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116325>
- Lin, N., Zhao, S., Gan, L., Chang, P. R., Xia, T., & Huang, J. (2017). Preparation of fungus-derived chitin nanocrystals and their dispersion stability evaluation in aqueous media. *Carbohydrate Polymers*, *173*, 610–618. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.016>
- Lin, X., He, X., Lei, L., Zhao, Y., Cui, L., & Wu, G. (2022). Development of ionic liquid filled chitosan capsules to remove Cr(VI) from acidic solution: Adsorption properties and mechanism. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *10*(4), 108081. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108081>
- Liu, J., Liu, S., Wu, Q., Gu, Y., Kan, J., & Jin, C. (2017). Effect of protocatechuic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antioxidant properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*, *73*, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.035>
- Liu, Y., Qin, Z., Wang, C., & Jiang, Z. (2023). N-acetyl-d-glucosamine-based oligosaccharides from chitin: Enzymatic production, characterization and biological activities. *Carbohydrate Polymers*, *315*, 121019. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121019>
- Lu, M., Zhou, Q., Yu, H., Chen, X., & Yuan, G. (2022). Colorimetric indicator based on chitosan/gelatin with nano-ZnO and black peanut seed coat anthocyanins for application in intelligent packaging. *Food Research International*, *160*, 111664. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111664>
- Martín-López, H., Pech-Cohuo, S. C., Ayora-Talavera, T., Cuevas-Bernardino, J. C., Ramos-Díaz, A., Espinosa-Andrews, H., Shirai, K., & Pacheco, N. (2021). Deacetylation of chitin obtained by biological method and its application in melipona honey-incorporated antimicrobial biofilms. *MRS Advances*, *6*(38), 885–892. <https://doi.org/10.1557/s43580-021-00168-0>
- Martín-López, H., Pech-Cohuo, S. C., Herrera-Pool, E., Medina-Torres, N., Cuevas-Bernardino, J. C., Ayora-Talavera, T., Espinosa-Andrews, H., Ramos-Díaz, A., Trombotto, S., & Pacheco, N. (2020). Structural and physicochemical characterization of chitosan obtained by uae and its effect on the growth inhibition of *pythium ultimum*. *Agriculture (Switzerland)*, *10*(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100464>
- Mohan, K., Ganesan, A. R., Ezhilarasi, P. N., Kondamareddy, K. K., Rajan, D. K., Sathishkumar, P., Rajarajeswaran, J., & Conterno, L. (2022). Green and eco-friendly approaches for the extraction of chitin and chitosan: A review. *Carbohydrate Polymers*, (287), 119349. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119349>
- Mohan, K., Ganesan, A. R., Muralisankar, T., Jayakumar, R., Sathishkumar, P., Uthayakumar, V., Chandirasekar, R., & Revathi, N. (2020). Recent insights into the extraction,

- characterization, and bioactivities of chitin and chitosan from insects. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 17–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.016>
- Mohan, K., Rajan, D. K., Ganesan, A. R., Divya, D., Johansen, J., & Zhang, S. (2023). Chitin, chitosan and chitoooligosaccharides as potential growth promoters and immunostimulants in aquaculture: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 251, 126285. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126285>
- Mostafa, M., Bin Jumah, M. N., Othman, S. I., Alruhaimi, R. S., Salama, Y. F., Allam, A. A., & Abukhadra, M. R. (2021). Effective removal of different species of organophosphorus pesticides (acephate, omthosate, and methyl parathion) using chitosan/Zeolite-A as multifunctional adsorbent. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101875. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101875>
- Mu, L., Wu, L., Wu, S., Ye, Q., & Zhong, Z. (2024). Progress in chitin/chitosan and their derivatives for biomedical applications: Where we stand. *Carbohydrate Polymers*, (343), 122233. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122233>
- Mujtaba, M., Ali, Q., Yilmaz, B. A., Seckin Kurubas, M., Ustun, H., Erkan, M., Kaya, M., Cicek, M., & Oner, E. T. (2023). Understanding the effects of chitosan, chia mucilage, levan based composite coatings on the shelf life of sweet cherry. *Food Chemistry*, 416, 135816. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135816>
- Muthukrishnan, S., Mun, S., Noh, M. Y., Geisbrecht, E. R., & Arakane, Y. (2020). Insect Cuticular Chitin Contributes to Form and Function. *Current Pharmaceutical Design*, 26(29), 3530–3545. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200523175409>
- Nguyen, T. T., Barber, A. R., Smith, P., Luo, X., & Zhang, W. (2017). Application and optimization of the highly efficient and environmentally-friendly microwave-intensified lactic acid demineralization of deproteinized Rock lobster shells ( *Jasus edwardsii*) for chitin production. *Food and Bioproducts Processing*, 102, 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.02.005>
- Ourani-Pourdashti, S., Mirzaei, E., Heidari, R., Ashrafi, H., & Azadi, A. (2022). Preparation and evaluation of niosomal chitosan-based in situ gel formulation for direct nose-to-brain methotrexate delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 1115–1126. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.031>
- Pachapur, V. L., Guemiza, K., Rouissi, T., Sarma, S. J., & Brar, S. K. (2016). Novel biological and chemical methods of chitin extraction from crustacean waste using saline water. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(8), 2331–2339. <https://doi.org/10.1002/jctb.4821>
- Pacheco, N., Garnica-Gonzalez, M., Gimeno, M., Bárzana, E., Trombotto, S., David, L., & Shirai, K. (2011). Structural characterization of chitin and chitosan obtained by biological and chemical methods. *Biomacromolecules*, 12(9), 3285–3290. <https://doi.org/10.1021/bm200750t>
- Pech-Cohuo, S. C., Herrera-Pool, E., Ramos-Días, A., Cuevas-Bernardino, J. C., Ayora-Talavera, T., & Pacheco-López, N. (2020). Aprovechamiento de proteasas de piñuella (*Bromelia pinguin*) para desproteinización de desechos de camarón. En N. A. Pacheco-López, J. C. Cuevas-Bernardino, & T. del R. Ayora-Talavera (eds.), *Aprovechamiento de frutos, productos y subproductos tropicales*. Editorial: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (Vol. 1, pp. 149–152).
- Pellis, A., Guebitz, G. M., & Nyanhongo, G. S. (2022). Chitosan: Sources, Processing and Modification Techniques. *Gels*, 8(7), 393. <https://doi.org/10.3390/gels8070393>

- Poshina, D. N., Raik, S. V., Poshin, A. N., & Skorik, Y. A. (2018). Accessibility of chitin and chitosan in enzymatic hydrolysis: A review. *Polymer Degradation and Stability*, (156), 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.09.005>
- Purohit, S. D., Priyadarshi, R., Bhaskar, R., & Han, S. S. (2023). Chitosan-based multifunctional films reinforced with cerium oxide nanoparticles for food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 143, 108910. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108910>
- Sharma, H., Ahuja, A., Sharma, B., Kulshreshtha, A., Kadam, A., & Dutt, D. (2024). Vapor Phase Antimicrobial Active Packaging Application of Chitosan Capsules Containing Clove Essential Oil for the Preservation of Dry Cakes. *Food and Bioprocess Technology*, 17(3), 780–790. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03151-9>
- Shikuku, R., Hasnat, M. A., Mashrur, S. B. A., Haque, P., Rahman, M. M., & Khan, M. N. (2024). Chitosan-based pH-sensitive semi-interpenetrating network nanoparticles as a sustained release matrix for anticancer drug delivery. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7, 100515. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100515>
- Soetemans, L., Uyttebroek, M., & Bastiaens, L. (2020). Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 3206–3214. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041>
- Terkula Iber, B., Azman Kasan, N., Torsabo, D., & Wese Omuwa, J. (2022). A Review of Various Sources of Chitin and Chitosan in Nature. *Journal of Renewable Materials*, 10(4), 1097–1123. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.018142>
- Tian, Z., Wang, S., Hu, X., Zhang, Z., & Liang, L. (2018). Crystalline reduction, surface area enlargement and pore generation of chitin by instant catapult steam explosion. *Carbohydrate Polymers*, 200, 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.075>
- Wang, P., Li, L., Pang, X., Zhang, Y., Zhang, Y., Dong, W.-F., & Yan, R. (2021). Chitosan-based carbon nanoparticles as a heavy metal indicator and for wastewater treatment. *RSC Advances*, 11(20), 12015–12021. <https://doi.org/10.1039/D1RA00692D>
- Xiong, A., Ruan, L., Ye, K., Huang, Z., & Yu, C. (2023). Extraction of Chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Its Puparium by Using Biological Treatment. *Life*, 13(7), 1424. <https://doi.org/10.3390/life13071424>
- Yadav, M., Goswami, P., Paritosh, K., Kumar, M., Pareek, N., & Vivekanand, V. (2019). Seafood waste: a source for preparation of commercially employable chitin/chitosan materials. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0243-y>
- Zainol Abidin, N. A., Kormin, F., Zainol Abidin, N. A., Mohamed Anuar, N. A. F., & Abu Bakar, M. F. (2020). The Potential of Insects as Alternative Sources of Chitin: An Overview on the Chemical Method of Extraction from Various Sources. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 4978. <https://doi.org/10.3390/ijms21144978>
- Zhang, J., Mohd Said, F., & Jing, Z. (2023). Hydrogels based on seafood chitin: From extraction to the development. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126482. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126482>
- Zhang, Q., Duan, L., & Li, Y. (2022). Positive effects and mechanism of ultrasound on chitin preparation from shrimp shells by co-fermentation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 88, 106066. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106066>



# Capítulo 5

## Aprovechamiento integral de biomasa proveniente de macroalgas (como el sargazo) en la región de la península de Yucatán

Raúl Tapia-Tussell<sup>1</sup>, Edgar Olguín-Maciel<sup>1</sup>, Liliana Alzate-Gaviria<sup>1</sup>, Elda I. España-Gamboa<sup>1</sup>, Eréndira T. Quintanar-Orozco<sup>1\*</sup>, Karla J. Azcorra-May<sup>1</sup>, Tanit Toledano-Thompson<sup>1</sup>; Rosa M. Leal-Bautista<sup>2</sup>, Silvia A. Peraza-Ku<sup>3</sup>, Carlos B. Díaz-Arriaga<sup>20</sup>, Daniella E. Pacheco-Catalán<sup>1</sup>, José M. Cervantes-Uc<sup>3</sup>, Jorge A. Uribe-Calderón<sup>3</sup>

\*Autor de correspondencia: Eréndira T. Quintanar-Orozco (erequent27@gmail.com).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14726392>

### Resumen

Las macroalgas forman parte del ecosistema marino y se pueden clasificar en tres grandes grupos según su color: rojas, pardas y verdes. Sus principales funciones son servir de hábitat y fuente de alimentación para algunas especies. Sin embargo, un aumento en la cantidad de macroalgas puede indicar un desequilibrio en el medio ambiente; atribuible a la eutrofización, la cual se caracteriza por una mayor cantidad de nutrientes presentes. Un ejemplo de este fenómeno es el arribazón de sargazo, que ya forman parte de una nueva normalidad en el Caribe. Las cantidades anuales de sargazo que llegan a la costa dependen, entre otros factores, de las condiciones climatológicas, como las corrientes marinas y los vientos, y de la eutrofización (Johns et al., 2020). Una alternativa para mitigar los problemas ambientales, económicos y de salud humana que generan los arribazones de sargazo es aprovechar la biomasa para obtener productos de valor agregado. Por ello, en este capítulo, como una primera perspectiva del aprovechamiento de las macroalgas en la península de Yucatán, se presentan los resultados de su caracterización, así como un panorama general de los usos específicos del sargazo en México.

**Palabras clave:** bioproductos; biocombustible; biorrefinería, biomasa; mitigación ambiental.

---

<sup>1</sup> Unidad de Energía Renovable, Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C., 97302 Mérida, Yucatán, México

<sup>2</sup> Unidad de Ciencias del Agua, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., 77500 Cancún, Quintana Roo, México

<sup>3</sup> Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C., 97205 Mérida, Yucatán, México



## 5.1 Importancia de la caracterización de macroalgas

Las macroalgas se clasifican en tres grandes grupos: rojas (*Rhodophyta*), verdes (*Chlorophyta*) y pardas (*Phaeophyta*). Se puede encontrar caracterización fisicoquímica variable entre grupos, así como entre especies del mismo grupo. Esta diferencia se debe a la estacionalidad, condiciones ambientales y el área geográfica en las que se han recolectado (Øverland et al., 2019).

Se han observado macroalgas que arriban a las costas de la península de Yucatán. Específicamente en el Caribe mexicano se ha encontrado que el sargazo pelágico, macroalga parda del género *Sargassum*, ha arribado con mayor abundancia. Esta macroalga puede ofrecer servicios ecológicos en los ecosistemas marinos, ya que actúa como zona de refugio para diversas especies; sin embargo, en cantidades abundantes representa riesgos importantes en el ámbito ambiental y socioeconómico, lo cual compromete el desarrollo sostenible de las regiones afectadas (Rodríguez-Martínez et al., 2029).

Entre los impactos negativos se encuentra la generación de lixiviados y gases contaminantes, como el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), que pueden ocasionar la contaminación del suelo y agua. De igual forma, los grandes volúmenes presentes en el mar impiden el paso de la luz solar, provocando una disminución en la concentración del oxígeno disuelto que causa desequilibrios ecológicos. Por otra parte, durante la recolecta de las macroalgas se pueden generar impactos derivados del uso de maquinaria pesada, como la destrucción de zonas de anidación o la erosión de las playas (Olguin-Maciél et al., 2022).

El aprovechamiento del sargazo podría contribuir a mitigar las problemáticas asociadas a este fenómeno. Por ello, diversos emprendedores se han enfocado en la obtención de productos a partir del sargazo, como zapatos, libretas, material de construcción, fertilizantes, alginatos, fucoïdanos y biocombustibles, entre otros (Rosellón-Druker et al., 2022).

Cabe destacar que las primeras aproximaciones al aprovechamiento del sargazo se realizaron de manera empírica, sin conocimiento de la composición de la materia prima. Por este motivo, en el proyecto SEMAR-CONAHCYT “Estudios técnicos de caracterización de sargazo orientados a la generación de normatividad asociada a riesgos y a su potencial aprovechamiento productivo” [305292], liderado por el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), se determinó la composición proximal del sargazo, con lo cual se pueden establecer las mejores rutas de manejo y aprovechamiento de la biomasa.

Se ha demostrado que la composición del sargazo proveniente del Gran Cinturón de Sargazo del Atlántico (GASB) varía según la temporalidad y el sitio de colecta (Davis et al., 2021; Vázquez-Delfín et al., 2021). Adicionalmente, y a raíz del proyecto anteriormente mencionado, se encontró que la variación también se presenta



en transectos perpendiculares a la línea de playa. Por ello, es necesario continuar con el monitoreo de la composición proximal del sargazo para tomar las mejores decisiones en cuanto a su valorización. En la Tabla 1 se muestran los resultados referentes a la composición del sargazo en diferentes temporalidades (Azcorra-May et al., 2022; Azcorra-May et al., 2023). Se encontró que la biomasa posee carbohidratos que pueden ser aprovechados en la obtención de biocombustibles o en la extracción de compuestos bioactivos como los alginatos y fucoidanos.

**Tabla 1.** Caracterización proximal del sargazo (datos en base seca).

Parámetros (%)	Invierno 2020 <sup>*</sup>	Verano 2022 <sup>**</sup>	Verano 2023 <sup>+</sup>
Humedad	15.98 ± 0.31	14.39 ± 0.37	16.57 ± 0.34
Cenizas	21.13 ± 0.25	19.25 ± 0.20	16.36 ± 0.21
Lignina	29.52 ± 0.18	28.25 ± 0.43	26.43 ± 0.94
Glucosa	7.80 ± 1.61	5.22 ± 0.72	5.83 ± 0.40
Xilosa	3.51 ± 0.05	1.99 ± 0.31	1.63 ± 0.15
Fucosa	6.26 ± 0.08	2.63 ± 0.31	1.09 ± 0.02
Carbono	31.87 ± 1.82	34.87 ± 0.02	37.62 ± 0.08
Hidrógeno	4.92 ± 0.09	4.81 ± 0.01	5.07 ± 0.02
Nitrógeno	1.16 ± 0.02	0.73 ± 0.01	0.98 ± 0.12
Azufre	0.98 ± 0.03	1.08 ± 0.03	0.78 ± 0.03
Relación C:N*	27.47	47.77	38.39

\*Valor adimensional, resultado de la división de C/N

Fuente: \*: Azcorra-May et al. (2022); \*\*: Azcorra-May et al. (2023); +: elaboración propia.

En el caso de la fucosa, es especialmente importante conocer su contenido si se pretende utilizarla para la extracción de fucoidanos, ya que, como se puede observar en la Tabla 1, los valores presentan marcadas variaciones. Otro parámetro importante es la relación C:N, ya que este valor es clave para tomar decisiones si se quiere llevar a cabo un proceso de digestión anaerobia para la producción de biocombustibles. Por otro lado, en 2023 se monitorearon diferentes puntos en la costa de Yucatán: Chelem Puerto, Chuburná Puerto y Puerto Progreso, en los que predominó la presencia de algas rojas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Caracterización proximal de algas rojas (datos en base seca)

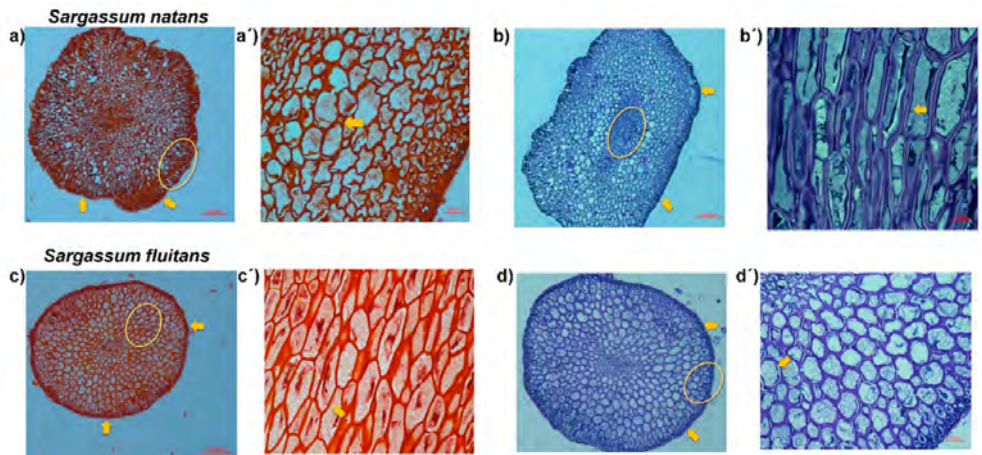
Parámetros	Chuburná Pto.	Chelem Pto.	Pto. Progreso
Humedad	6.1	8.9	9.4
Cenizas	60.4	47.2	46.13
Lignina	1.88	3.73	3.06
Glucosa	1.03	3.52	3.04
Xilosa	0.77	1.31	1.32
Arabinosa	0.03	0.13	0.12
Fucosa	0.02	0.08	0.08
Carbono	16.99	22.45	17.70
Hidrógeno	1.22	2.47	1.40
Nitrógeno	0.80	1.88	0.83
Azufre	0.40	1.20	0.46
Oxígeno*	80.59	72	79.61
Relación C:N**	21.23	11.94	21.32

\*Calculado por diferencia; \*\* valor adimensional, resultado de la división de C/N.

Fuente: elaboración propia.

## 5.2 Limitantes para el aprovechamiento de sargazo

Existen limitantes para el aprovechamiento del sargazo, relacionadas con la presencia de altos contenidos de material recalcitrante, como la lignina. La lignina es un biopolímero formado por una red polifenólica, cuya función es aportar rigidez y protección a las plantas vasculares (Chávez-Sifontes & Domine, 2013). Aunque este compuesto no suele asociarse a las macroalgas, hemos identificado por primera vez la presencia de una pared secundaria compuesta por células lignificadas en el sargazo colectado en playas de Quintana Roo (Figura 1) (Alzate-Gaviria et al., 2021). También se han identificado compuestos fenólicos precursores de monolignoles involucrados en la biosíntesis de la lignina (Azcorra-May et al., 2022). Estos resultados indican que la biomasa proveniente del GASB presenta características diferenciadas a las algas del género *Sargassum* presentes en el golfo de México, debido a que las macroalgas del GASB están sometidas a un estrés abiótico durante su trayectoria. La recalcitrancia de esta biomasa hace necesario aplicar pretratamientos para su valorización.



**Figura 1.** Secciones transversales teñidas con safranina O del *S. natans* (a,a') y *S. fluitans* (c,c'). Secciones transversales teñidas de azul de toluidina del tallo de *S. natans* (b,b') y *S. fluitans* (d,d').

Fuente: Alzate-Gaviria et al. (2021).

Otra limitante para la valorización es la presencia de metales como el arsénico, cadmio, aluminio, níquel, entre otros, que pueden interferir en los procesos de transformación del alga y limitar la aplicación de los productos con valor agregado obtenidos de esta materia prima (Milledge et al., 2020; Olguin-Maciel et al., 2022; Rodríguez-Martínez et al., 2020). Por ello, es importante realizar el seguimiento o trazabilidad de metales durante la obtención de compuestos con valor agregado (Azcorra-May et al., 2022).

### 5.3 Usos potenciales del sargazo

En función de la composición de la biomasa de sargazo, se pueden establecer las estrategias más adecuadas para su aprovechamiento. Dependiendo de su composición y el grado de descomposición, el sargazo puede definirse como un residuo o una materia prima. Aunque numerosos estudios científicos se han enfocado en determinar su potencial en la producción de alginatos, fucoidanos, biofertilizantes, biocarbón, bioetanol, biogás, entre otros (Oxenford et al., 2021), es necesario considerar la sostenibilidad de los procesos de valorización. De acuerdo a los resultados del proyecto SEMAR-Conahcyt, se describen a continuación los principales productos que se pueden obtener a partir de esta biomasa, clasificados en bioproductos y biocombustibles.

### **5.3.1 Bioproductos**

Actualmente existe un mayor interés en la obtención de productos cuya fuente sea a partir de residuos, especialmente cuando los procesos de obtención y/o extracción son caracterizados por ser económicamente sustentables (Churton & McCabe, 2024). Es por ello que cada vez se exploran diferentes fuentes, de acuerdo a las zonas geográficas en las que se encuentran con el objetivo de aprovechar los recursos disponibles; como es el caso del Caribe mexicano en el que se han observado una cantidad inusual de sargazo.

#### **5.3.1.1 Alginatos**

El alginato es un polímero natural presente en las algas pardas, utilizado en la industria química, textil, gastronómica y farmacéutica debido a su biocompatibilidad y baja toxicidad (Nogueira et al., 2022). También se emplea en forma de hidrogeles para la curación de heridas, la ingeniería de tejidos y los sistemas de liberación de fármacos.

En cuanto al uso de los alginatos en la rama farmacéutica como vehículo de liberación de medicamentos, en este proyecto se estudió su uso para la liberación del 5-fluorouracilo. Este fármaco se emplea en el tratamiento de diferentes tipos de cáncer y se administra principalmente por vía intravenosa durante las quimioterapias. Sin embargo, es importante buscar alternativas para que su administración represente un menor costo y daño al paciente, así como una mayor eficiencia y efectividad en el tratamiento (Claudio-Rizo et al., 2021; Maghsoudi et al., 2020; Wu et al., 2020). Una alternativa para lograrlo es a través de la microencapsulación en la cual se emplean hidrogeles de polímeros naturales (alginato y quitosano), que tienen la capacidad de liberar fármacos en respuesta a estímulos externos como cambios en el pH, luz, temperatura, campo eléctrico, campo magnético y ultrasonido (Berger et al., 2004). El ultrasonido tiene la ventaja de no ser invasivo ni ionizante y puede traspasar tejidos con una precisión espacio-temporal aceptable (Bawa et al., 2009).

En este sentido, se produjo con éxito microesferas de doble capa de alginato-quitosano, que contienen el fármaco 5-fluorouracilo y cuya liberación se ha estimulado con ultrasonido como una alternativa para administrar fármacos anticancerígenos. Los alginatos utilizados en este estudio se extrajeron del sargazo recolectado en el Caribe mexicano (Puerto Morelos, Quintana Roo) con un rendimiento del 45%. Este biopolímero se caracterizó mediante técnicas de espectrometría infrarroja (FTIR) y análisis RMN-1H, encontrando que posee una composición de 46% de unidades manurónicas y 54% de unidades gularónicas con una masa molar de  $3.81 \times 10^5$  g/mol. Con una capa de quitosano entrecruzada de sodio se cubrieron las microesferas de alginato 5-Fluoracilo obtenidas. Estas tuvieron un diámetro de 120 nm, con una

eficiencia de encapsulación del 25% y con 44% de capacidad en la carga del fármaco. Por otro lado, se determinó que el uso de ultrasonido en las microesferas generó una liberación pulsátil de las microesferas, esto ocasionó un control en los perfiles de liberación. Esto demuestra que el uso del ultrasonido puede ser empleado para el control en los sistemas de liberación en la aplicación de tratamientos contra el cáncer, siempre que se elija correctamente el binomio polímeros-fármaco. Estos resultados indican que el alginato extraído del sargazo es un polímero idóneo para formar geles cuyo uso sea como encapsulantes celulares, los cuales tienen aplicaciones ambientales y biomédicas.

Otro potencial del alginato de sodio (AS) es su uso como hidrogel en la producción de electrodos para supercapacitores. Estos hidrogeles pueden generar nanoestructuras porosas que, en combinación con nanopartículas con características como una amplia área superficial y funcional, como el óxido de grafeno reducido y el óxido de manganeso, resultarían en materiales con propiedades electroquímicas mejoradas (You et al., 2020). La estabilidad de los hidrogeles a partir de AS depende de parámetros como el peso molecular y la composición del biopolímero. Sin embargo, en el caso del AS extraído del sargazo, su tamaño molecular podría verse comprometido debido al proceso natural de degradación que sufre esta macroalga.

Se ha trabajado en la implementación de una metodología para la obtención y caracterización de AS a partir de sargazo proveniente de Quintana Roo en diferentes transectos perpendiculares a la línea de playa, para luego explorar su aplicación en electrodos para supercapacitores. La extracción de AS se llevó a cabo por el método reportado por Peraza-Ku (2021), y su caracterización fisicoquímica incluyó técnicas como espectroscopía infrarroja (FT-IR), análisis termogravimétrico (TGA) y resonancia magnética nuclear (RMN), así como la determinación de la masa molecular. Los AS extraídos de los tres diferentes transectos perpendiculares a la línea de playa demostraron la formación de hidrogeles estables al entrecruzarse con cloruro de calcio. Con esto se observa el potencial del uso de AS a partir de sargazo, sin importar los transectos perpendiculares en los cuales se llevó a cabo el muestreo de esta macroalga para la formación de hidrogeles empleados en supercapacitores. Sin embargo, se continúa evaluando las propiedades electroquímicas de AS extraído a partir de sargazo.

### **5.3.1.2 Hemicelulosa**

La hemicelulosa es un polisacárido con múltiples aplicaciones, entre ellas su conversión a energía. A partir de un pretratamiento de despolimerización se ha obtenido este polisacárido con un rendimiento del 2.74% en base seca (Azcorra-May et al., 2023). Después de obtener la hemicelulosa, se caracterizó su composición estructural mediante cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) y FT-IR, identi-

cando los monómeros glucosa y xilosa, característicos de la hemicelulosa, así como la presencia de grupos funcionales hidroxilo y carbonilo asociados a este polisacárido.

Teniendo en cuenta que la hemicelulosa es un heteropolisacárido, esta puede ser utilizada para la obtención de diferentes monómeros como xilosa, manosa, glucosa y galactosa. Basados en los resultados obtenidos, se pueden obtener 27.4 kg de este compuesto por tonelada de sargazo seco.

La hemicelulosa puede ser utilizada para producir biocombustibles, alimentos funcionales como oligosacáridos o compuestos químicos como furfurales (Huang et al., 2021). Las características de la hemicelulosa (bajo costo, biodegradabilidad y biocompatibilidad) han impulsado estudios para definir posibles aplicaciones. Se ha encontrado que es posible cambiar su propiedad hidrofílica a hidrofóbica al reaccionar el grupo funcional hidroxilo, explorando su uso en la generación de biopelículas utilizadas como material de empaque, así como hidrogeles con aplicaciones en la industria médica (recubrimiento de heridas o sistemas de liberación de medicamentos) (Hu et al., 2020). Finalmente, es importante destacar que la xilosa presente en la hemicelulosa puede ser convertida catalíticamente en xilitol, un compuesto relevante en la industria alimentaria por sus propiedades endulzantes y antiinflamatorias (Peng et al., 2014).

### ***5.3.1.3 Compuestos fenólicos***

La lignina, como se ha mencionado anteriormente, es una red polifenólica que, por su alto contenido de carbono, puede ser utilizada para la obtención de biocarbones o para la extracción de compuestos fenólicos precursores en la síntesis de compuestos químicos de interés comercial. Se caracterizó esta lignina, encontrando grupos funcionales como carbonilo e hidroxilo, así como enlaces C=C de anillos aromáticos, característicos de los polifenoles. Corroboramos la recalcitrancia de este compuesto utilizando técnicas de análisis termogravimétrico (TGA), que demostraron que la descomposición de este compuesto polifenólico se lleva a cabo a temperaturas superiores a 500 °C, confirmando que el bioproducto es lignina. La despolimerización de este compuesto permitió identificar compuestos fenólicos presentes en la lignina, como el ácido vainillínico, el ácido *p*-coumárico y el ácido gálico (Azcorra-May et al., 2022).

Estos compuestos fenólicos tienen numerosas aplicaciones como reactivos químicos de alta pureza, precursores en la síntesis verde de compuestos de interés como alcaloides utilizados en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, entre otros. Además, por su alto contenido de carbono, la lignina puede ser pirolizada para la obtención de biocarbón.

#### **5.3.1.4 Biofertilizantes**

Durante la digestión anaerobia del sargazo se genera un residuo sólido denominado digestato. En el grupo de trabajo se está caracterizando este residuo, obteniendo resultados prometedores en el análisis elemental orgánico. Encontramos un incremento del 60% en el contenido de nitrógeno en el digestato respecto al sargazo fresco, lo cual es importante para el tratamiento de suelos erosionados con déficit de nitrógeno. Para esta aplicación específica, los metales presentes pueden fungir como micronutrientes (minerales esenciales) que promueven la retención de agua y enriquecen las características agronómicas de los suelos, mejorando la productividad de los cultivos (Thompson et al., 2020).

#### **5.3.2 Biocombustibles**

En los últimos años se ha observado un incremento en el consumo energético global debido al aumento de la urbanización. La energía requerida para satisfacer las necesidades humanas se obtiene mayoritariamente de combustibles fósiles, lo que ha ocasionado un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), atribuidos al incremento de la temperatura global y, por lo tanto, al cambio climático (Su et al., 2015). La proliferación de las mareas doradas de sargazo se debe, entre otras cosas, al incremento de la temperatura del océano, atribuido al cambio climático. Por ello, es necesario encontrar nuevas alternativas de materia prima para la producción de energía, que sean amigables con el ambiente y viables económicamente. Ante esto, el uso del sargazo para la producción de biocombustibles contribuye a mitigar los impactos negativos de su descomposición y disminuye la dependencia de combustibles fósiles (Aparicio et al., 2020; Thompson et al., 2020). Diversas investigaciones se han centrado en el uso del sargazo como materia prima para la obtención de bioenergéticos. A continuación, se hablará de los biocombustibles con mayor potencial de ser obtenidos a corto y mediano plazo, debido a su mayor grado de maduración tecnológica.

##### **5.3.2.1 Biogás**

El biogás es una opción de combustible amigable con el ambiente, obtenido a partir de la digestión anaerobia de diferentes materias primas orgánicas como residuos agrícolas, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, aguas residuales domésticas o industriales, entre otros. Durante la digestión anaerobia un conjunto de microorganismos transforma la materia orgánica mediante cuatro etapas en ausencia de oxígeno, produciendo un biogás constituido principalmente por metano (60-



80%) y dióxido de carbono (20-40%) (Thompson et al., 2020). Las cuatro etapas de la digestión anaerobia son hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Durante la hidrólisis los compuestos de gran tamaño como proteínas, grasas y carbohidratos se transforman en compuestos solubles de menor tamaño como aminoácidos, ácidos grasos y azúcares simples. En la acidogénesis los microorganismos transforman la materia orgánica en ácidos orgánicos de cadena corta, produciendo también dióxido de carbono, hidrógeno y alcoholes, entre otros. La acetogénesis se caracteriza por la transformación de los ácidos grasos de cadena corta en precursores del metano (acetato, hidrógeno y dióxido de carbono). Finalmente, en la metanogénesis las arqueas metanogénicas producen metano a partir del acetato, hidrógeno y dióxido de carbono (Obileke et al., 2021).

Para mejorar los rendimientos y la calidad del metano durante la digestión anaeróbica se puede promover la transferencia directa de electrones (DIET) entre microorganismos, utilizando materiales conductores como carbón granular, biocarbón, nanomagnetita y minerales, entre otros (Holmes et al., 2016; Malvankar y Lovley, 2014). Los materiales eléctricamente conductores podrían sustituir pilas y/o citocromos para intercambiar electrones entre los microorganismos (Rotaru et al., 2014). El empleo de DIET depende de las características del sustrato, ya que en algunos casos el uso de carbón no aumenta el rendimiento debido a la adsorción de inhibidores e incluso ácidos grasos de cadena corta (Shanmugam et al., 2017).

La selección adecuada de la materia prima es esencial en la producción de biogás. El sargazo, por ejemplo, ha ganado atención por su amplia disponibilidad y alto contenido de humedad (Yuhendra et al., 2021). Para utilizar el sargazo como materia prima es importante conocer la cantidad de sólidos volátiles que contiene, ya que estos representan la materia orgánica que los microorganismos pueden transformar a biogás.

Mediante la digestión anaerobia del sargazo hemos logrado producir entre 41 y 387 litros de metano por kilogramo de sólidos volátiles del sargazo (Chikani-Cabrera et al., 2022; Salgado-Hernández et al., 2022). Este amplio intervalo se debe a que el sargazo posee compuestos difíciles de degradar como fibras insolubles, lignina, polifenoles, metales pesados y sales, que limitan la etapa de hidrólisis en la digestión anaerobia. Para obtener mejores rendimientos en la producción de metano es importante realizar pretratamientos al sargazo, rompiendo las estructuras de difícil acceso para los microorganismos y liberando los compuestos más fáciles de degradar. Los principales pretratamientos se clasifican en químicos (uso de ácidos, bases u oxidantes fuertes), físicos (empleo de temperatura o reducción del tamaño de la partícula de sargazo) y biológicos (uso de enzimas ligninolíticas que disminuyen la recalcitrancia de la biomasa).

El sargazo es una materia prima prometedora para la producción de biogás, lo que ayudaría a resolver los problemas de contaminación en el Caribe mexicano. Sin embargo, aún falta investigar el rendimiento en la producción de metano a mayor escala.

### 5.3.2.2 Bioetanol

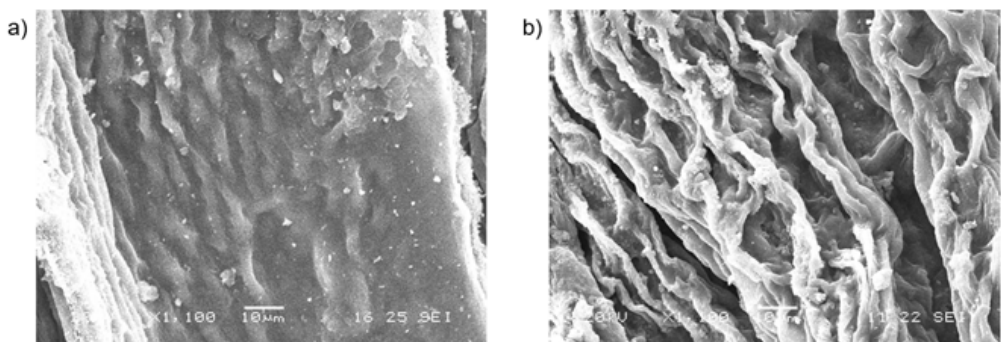
Otra alternativa para la obtención de biocombustibles es el bioetanol. Sin embargo, como se ha mencionado, la estructura recalcitrante del sargazo impide el acceso a los compuestos de interés que se quieren transformar (holocelulosa).

En ese sentido, se ha explorado la tecnología High-pressure (TH-P), que permite la ruptura de la estructura del sargazo, obteniendo sólidos enriquecidos en glucanos. El glucano es una estructura compleja que debe transformarse en una más simple, como la glucosa, para la obtención de bioetanol. Este proceso de conversión se denomina hidrólisis enzimática, que permite obtener glucosa disponible para transformarse en bioetanol a través de fermentación (Aparicio et al., 2021).

Los tratamientos más aplicados a esta materia prima son los hidrotérmicos, que utilizan altas temperaturas y presiones, con altos requerimientos energéticos y grandes volúmenes de agua (20 L por kilogramo de sargazo) (Aparicio et al., 2021; Thompson et al., 2019). Por ello, se ha buscado desarrollar metodologías sostenibles para la obtención de bioetanol y otros compuestos precursores (polioles) para la síntesis de biocombustibles como el combustible sostenible de aviación (SAF).

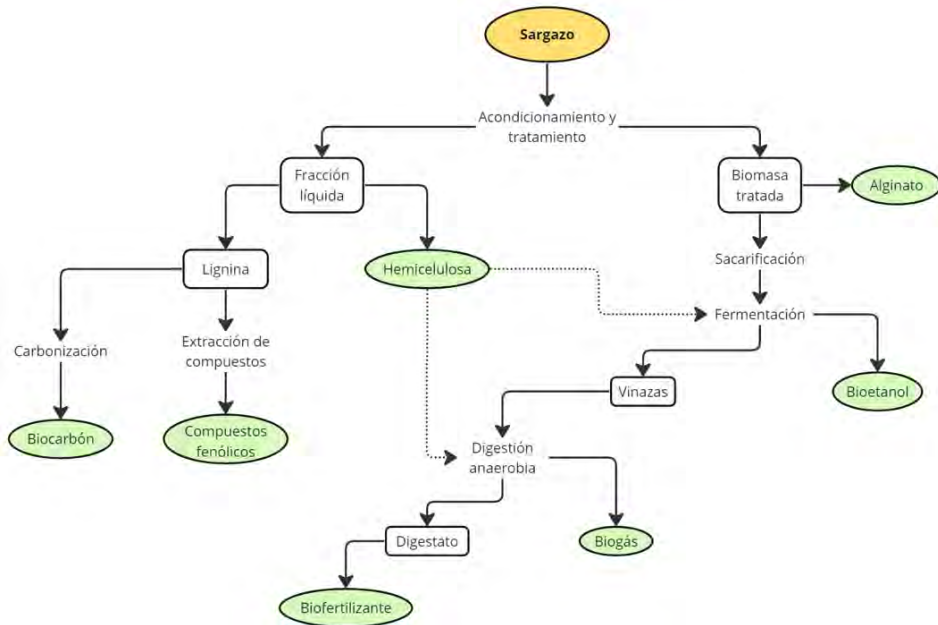
### 5.3.3 Aprovechamiento integral de sargazo

Se ha desarrollado un proceso para la transformación del sargazo que remueve el 70% del material recalcitrante, modificando su estructura y facilitando el acceso a los compuestos de interés. En la Figura 2 se observan los cambios estructurales mediante micrografías electrónicas de barrido (SEM) del sargazo antes y después del pretratamiento. Este proceso es sostenible y cuenta con una maduración tecnológica (TRL) de 4.



**Figura 2.** Micrografías del sargazo antes del tratamiento (a) y después del tratamiento (b). Fuente: Azcorra-May et al., 2023.

Como se ha demostrado, el sargazo puede utilizarse para obtener diferentes productos con valor agregado. Sin embargo, la recuperación de estos debe de ser económicamente rentable y sostenible. Debido a su compleja estructura, la recuperación de un solo producto generalmente no es rentable, por lo que el aprovechamiento integral bajo un esquema de biorrefinería es la alternativa más prometedora (Saldarriaga-Hernandez et al., 2020), contribuyendo a cambiar el paradigma del sargazo de un residuo a un recurso.



**Figura 3.** Esquema integral de aprovechamiento del sargazo.  
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 3 se presenta una propuesta de aprovechamiento integral del sargazo, donde se señala que se pueden obtener hasta siete compuestos con valor agregado a partir de esta biomasa. Con esta propuesta, los residuos de los procesos serían utilizados para la obtención de biogás mediante digestión anaerobia, evitando la generación de residuos contaminantes y obteniendo energía, la cual puede ser utilizada en los procesos de bioconversión.

## **5.4 Conclusión**

El uso del sargazo para obtención de bioproductos como biocombustibles, alginatos, fucoidanos y fertilizantes, entre otros, puede contribuir en la disminución de los problemas ambientales que se generan por su acumulación y descomposición en las playas. Por otro lado, es necesario enfocar las estrategias de valorización para que los procesos productivos sean sostenibles. Por ello surge la alternativa de desarrollar biorrefinerías marinas, en las que se busca maximizar la obtención del mayor número de compuestos con valor agregado y minimizar la generación de residuos. De acuerdo con la composición de las macroalgas, podemos mencionar que estas poseen diversos componentes que pueden ser aprovechados y esta acción puede ser la opción viable para convertir la crisis del sargazo en el Caribe en una oportunidad para obtener beneficios.

## Referencias

- Alzate-Gaviria, L., Domínguez-Maldonado, J., Chablé-Villacís, R., Olguin-Maciel, E., Leal-Bautista, R. M., Canché-Escamilla, G., Caballero-Vázquez, A., Hernández-Zepeda, C., Barredo-Pool, F. A., & Tapia-Tussell, R. (2021). Presence of polyphenols complex aromatic “Lignin” in *Sargassum* Spp. From Mexican Caribbean. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.3390/jmse9010006>
- Aparicio, E., Rodríguez-Jasso, R. M., Lara, A., Loredó-Treviño, A., Aguilar, C. N., Kostas, E. T., & Ruiz, H. A. (2020). Biofuels production of third generation biorefinery from macroalgal biomass in the Mexican context: An overview. En M. D. Torres, S. Kraan & H. Dominguez (eds.), *Sustainable Seaweed Technologies* (pp. 393-446). Elsevier <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817943-7.00015-9>
- Aparicio, E., Rodríguez-Jasso, R. M., Pinales-Márquez, C. D., Loredó-Treviño, A., Robledo-Olivo, A., Aguilar, C. N., Kostas, E. T., & Ruiz, H. A. (2021). High-pressure technology for *Sargassum* spp biomass pretreatment and fractionation in the third generation of bioethanol production. *Bioresource Technology*, 329(January), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124935>
- Azcorra-May, K. J., Olguin-Maciel, E., Domínguez-Maldonado, J., Toledano-Thompson, T., Leal-Bautista, R. M., Alzate-Gaviria, L., & Tapia-Tussell, R. (2022). *Sargassum* biorefineries: potential opportunities towards shifting from wastes to products. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-022-02407-2>
- Azcorra-May, K. J., Olguin-Maciel, E., Leal-Bautista, R. M., Canche-Escamilla, G., Alzate-Gaviria, L., Toledano-Thompson, T., & Tapia-Tussell, R. (2024). *Sargassum* delignification: a first step to mitigate the socio-economic and environmental impacts in the Caribbean through its sustainable exploitation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 1837–1845. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-023-05158-w>
- Bawa, P., Pillay, V., Choonara, Y. E., & Du Toit, L. C. (2009). Stimuli-responsive polymers and their applications in drug delivery. *Biomedical Materials*, 4(2), 22001. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-6041/4/2/022001>
- Berger, J., Reist, M., Mayer, J. M., Felt, O., Peppas, N. A., & Gurny, R. (2004). Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 57(1), 19–34. [https://doi.org/10.1016/S0939-6411\(03\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0939-6411(03)00161-9)
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15–46. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629266003.pdf>
- Chikani-Cabrera, K. D., Fernandes, P. M. B., Tapia-Tussell, R., Parra-Ortiz, D. L., Hernández-Zárate, G., Valdez-Ojeda, R., & Alzate-Gaviria, L. (2022). Improvement in methane production from pelagic *sargassum* using combined pretreatments. *Life*, 12(8), 1214. <https://doi.org/10.3390/life12081214>
- Claudio-Rizo, J. A., Cano Salazar, L. F., Flores-Guía, T. E., & Cabrera-Munguía, D. A. (2021). Estructuras metal-orgánicas (MOFs) nanoestructuradas para la liberación controlada de fármacos. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 14(26), 1e-29e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.26.69634>

- Churton, H., & McCabe, B. K. (2024). Advancing a food loss and waste bioproduct industry: A critical review of policy approaches for application in an Australian context. *Heliyon*, *10*(12), e32735. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32735>
- Davis, D., Simister, R., Campbell, S., Marston, M., Bose, S., McQueen-Mason, S. J., Gomez, L. D., Gallimore, W. A., & Tonon, T. (2021). Biomass composition of the golden tide pelagic seaweeds *Sargassum fluitans* and *S. natans* (morphotypes I and VIII) to inform valorisation pathways. *Science of the Total Environment*, *762*, 143134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143134>
- Holmes, D. E., Dang, Y., Walker, D. J. F., & Lovley, D. R. (2016). The electrically conductive pili of *Geobacter* species are a recently evolved feature for extracellular electron transfer. *Microbial Genomics*, *2*(8), e000072. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000072>
- Huang, L. Z., Ma, M. G., Ji, X. X., Choi, S. E., & Si, C. (2021). Recent developments and applications of hemicellulose from wheat straw: a review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *9*, 690773. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.690773>
- Hu, L., Fang, X., Du, M., Luo, F., & Guo, S. (2020). Hemicellulose-based polymers processing and application. *American Journal of Plant Sciences*, *11*(12), 2066–2079. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.1112146>
- Johns, E. M., Lumpkin, R., Putman, N. F., Smith, R. H., Muller-Karger, F. E., Rueda-Roa, D. T., et al. (2020). The establishment of a pelagic *Sargassum* population in the tropical Atlantic: biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, *182*, 102269. <https://doi.org/10.1016/j.pocan.2020.102269>
- Maghsoudi, S., Taghavi Shahraki, B., Rabiee, N., Fatahi, Y., Dinarvand, R., Tavakolizadeh, M., Ahmadi, S., Rabiee, M., Bagherzadeh, M., & Pourjavadi, A. (2020). Burgeoning polymer nano blends for improved controlled drug release: a review. *International Journal of Nanomedicine*, *(15)*, 4363–4392. <https://doi.org/10.2147/ijn.s252237>
- Malvankar, N. S., & Lovley, D. R. (2014). Microbial nanowires for bioenergy applications. *Current Opinion in Biotechnology*, *27*, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.003>
- Milledge, J. J., Maneein, S., Arribas, E., & Bartlett, D. (2020). *Sargassum* Inundations in Turks and Caicos : Methane Potential and Proximate, Ultimate, Lipid, Amino Acid, Metal and Metalloid Analyses. *Energies*, *13*, 1523. <https://doi.org/10.3390/en13061523>
- Nogueira, M. T., Chica, L. R., Yamashita, C., Nunes, N. S. S., Moraes, I. C. F., Branco, C. C. Z., & Branco, I. G. (2022). Optimal Conditions for Alkaline Treatment of Alginate Extraction from the Brown Seaweed *Sargassum cymosum* C. Agardh by Response Surface Methodology. *Applied Food Research*, *2*(2), 100141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2022.100141>
- Obileke, K., Nwokolo, N., Makaka, G., Mukumba, P., & Onyeaka, H. (2021). Anaerobic digestion: Technology for biogas production as a source of renewable energy—A review. *Energy & Environment*, *32*(2), 191–225. <https://doi.org/10.1177/0958305X20923117>
- Olguin-Maciel, E., Leal-Bautista, R. M., Alzate-Gaviria, L., Domínguez-Maldonado, J., & Tapia-Tussell, R. (2022). Environmental impact of *Sargassum* spp. landings: an evaluation of leachate released from natural decomposition at Mexican Caribbean



- coast. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 91071–91080. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-22123-8>
- Oxenford, H. A., Cox, S.-A., van Tussenbroek, B. I., & Desrochers, A. (2021). Challenges of turning the Sargassum crisis into gold: current constraints and implications for the Caribbean. *Phycology*, 1(1), 27–48. <https://doi.org/10.3390/phycolgy1010003>
- Øverland, M., Mydland, L. T., & Skrede, A. (2019). Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1), 13–24. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9143>
- Peng, P., & She, D. (2014). Isolation, structural characterization, and potential applications of hemicelluloses from bamboo: A review. *Carbohydrate Polymers*, 112, 701–720. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.06.068>
- Peraza-Ku, S. A. (2021). Encapsulamiento y liberación del 5-fluoracilo en microesferas de doble capa alginate-quitosano. [tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. Repositorio institucional CICY. <http://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/2079>
- Rodríguez-Martínez, R. E., Medina-Valmaseda, A. E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L. V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., ... & García-Rivas, M. C. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. *Marine pollution bulletin*, 146, 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>
- Rodríguez-Martínez, R. E., Roy, P. D., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., Carrillo-Domínguez, S., Collado-Vides, L., García-Sánchez, M., & van Tussenbroek, B. I. (2020). Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018–2019. *PeerJ*, 8, e8667. <https://doi.org/10.7717/peerj.8667>
- Rosellón-Druker, J., Calixto-Pérez, E., Escobar-Briones, E., González-Cano, J., Masiá-Nebot, L., & Córdova-Tapia, F. (2022). A Review of a Decade of Local Projects, Studies and Initiatives of Atypical Influxes of Pelagic Sargassum on Mexican Caribbean Coasts. *Phycology*, 2(3), 254–279. <https://doi.org/10.3390/phycolgy2030014>
- Rotaru, A.-E., Shrestha, P. M., Liu, F., Shrestha, M., Shrestha, D., Embree, M., Zengler, K., Wardman, C., Nevin, K. P., & Lovley, D. R. (2014). A new model for electron flow during anaerobic digestion: direct interspecies electron transfer to Methanosaeta for the reduction of carbon dioxide to methane. *Energy & Environmental Science*, 7(1), 408–415. <http://dx.doi.org/10.1039/C3EE42189A>
- Saldarriaga-Hernandez, S., Hernandez-Vargas, G., Iqbal, H. M. N., Barceló, D., & Parra-Saldívar, R. (2020). Bioremediation potential of Sargassum sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach. *Science of the Total Environment*, 715, 136978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136978>
- Salgado-Hernández, E., Ortiz-Ceballos, Á. I., Martínez-Hernández, S., Rosas-Mendoza, E. S., Dorantes-Acosta, A. E., Alvarado-Vallejo, A., & Alvarado-Lassman, A. (2022). Methane production of sargassum spp. biomass from the mexican caribbean: solid–liquid separation and component distribution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 219. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010219>
- Shanmugam, S. R., Adhikari, S., Wang, Z., & Shakya, R. (2017). Treatment of aqueous phase of bio-oil by granular activated carbon and evaluation of biogas production. *Biore-source Technology*, 223, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.008>
- Su, Y., Zhang, P., & Su, Y. (2015). An overview of biofuels policies and industrialization in



- the major biofuel producing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 991–1003. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.032>
- Thompson, T. M., Young, B. R., & Baroutian, S. (2020). Pelagic Sargassum for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study on Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118(October 2019), 109564. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564>
- Thompson, Terrell M., Young, B. R., & Baroutian, S. (2019). Advances in the pretreatment of brown macroalgae for biogas production. *Fuel Processing Technology*, 195(July), 106151. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106151>
- Vázquez-Delfín, E., Freile-Pelegrín, Y., Salazar-Garibay, A., Serviere-Zaragoza, E., Méndez-Rodríguez, L. C., & Robledo, D. (2021). Species composition and chemical characterization of Sargassum influx at six different locations along the Mexican Caribbean coast. *Science of the Total Environment*, 795, 148852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148852>
- Wu, J., Zhang, Z., Zhou, W., Liang, X., Zhou, G., Han, C. C., Xu, S., & Liu, Y. (2020). Mechanism of a long-term controlled drug release system based on simple blended electrospun fibers. *Journal of Controlled Release*, 320, 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.01.020>
- You, Y., Qu, K., Shi, C., Sun, Z., Huang, Z., Li, J., Dong, Mengyao., Guo, Z. (2020). Binder-free CuS/ZnS/sodium alginate/rGO nanocomposite hydrogel electrodes for enhanced performance supercapacitors. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 310-319. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.169>
- Yuhendra, A. P., Farghali, M., Mohamed, I. M. A., Iwasaki, M., Tangtaweewipat, S., Ihara, I., Sakai, R., & Umetsu, K. (2021). Potential of biogas production from the anaerobic digestion of Sargassum fulvellum macroalgae: Influences of mechanical, chemical, and biological pretreatments. *Biochemical Engineering Journal*, 175, 108140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2021.108140>



## Capítulo 6

# Perspectiva sobre algunas tecnologías solares para el deshidratado de productos agrícolas y residuos pesqueros en comunidades de Yucatán

Erick C. López-Vidaña<sup>1</sup>, Jorge Escobedo Bretado<sup>1</sup>, Manuel A. Lizardi Jiménez<sup>2</sup>, Neith Pacheco<sup>3</sup>, Miguel Oliva Ruiz<sup>3</sup>, Esteban Romero De la Serna<sup>3</sup>, Ángel Tlatelpa-Becerro<sup>4</sup>, Ignacio R. Martín Domínguez<sup>1</sup>

Autor de correspondencia: Erick C. López-Vidaña (erick.lopez@cimav.edu.mx).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14726546>

## Resumen

En este capítulo se aborda el uso de tecnologías solares de fácil construcción y acceso para el deshidratado de productos alimentarios con el fin de aprovechar de forma integral los recursos naturales de algunas comunidades de la península de Yucatán. Se aborda de forma general la clasificación de los secadores solares, así como la construcción, implementación y mejora de un secador solar doméstico, mediante el intercambio de saberes que sirvió de retroalimentación y la propuesta de un segundo modelo que se ajustó mejor a las necesidades de los pobladores de las comunidades de Cosgaya y Suytunchén. El impacto en las comunidades de las experiencias de implementación del secado solar es un proceso que solamente se podrá medir a lo largo del tiempo, pues se ha buscado generar un cambio a nivel sistémico. En esta experiencia los diálogos de saberes fueron fundamentales para lograr el entendimiento de la problemática y la búsqueda de una solución clara, a su vez con la recursividad de los procesos, es decir el escuchar a las y los miembros de la comunidad en las experiencias adquiridas y sus ideas y recomendaciones para una mejor adopción de las tecnologías transferidas.

**Palabras clave:** tecnologías solares; secado solar; incidencia social; trabajo comunitario; conservación de alimentos

---

<sup>1</sup> CONAHCYT - Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Subsede Durango, Calle CIMAV #110, Ejido Arroyo Seco, CP 34147, Durango, Durango., México.

<sup>2</sup> CONAHCYT - Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Lomas Segunda Sección, Sierra Leona 550, San Luis Potosí, 78210, San Luis Potosí, México

<sup>3</sup> Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Tlajete Catastral 31264 km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP 97302, Mérida, Yucatán, México.

<sup>4</sup> Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla - Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Félix Arias, Quinta Sección los Amates S/N, CP 62824, Yecapixtla, Morelos, México.

## 6.1 Introducción

Las tecnologías alimentarias modernas han demostrado varios fracasos a la hora de resolver nuevos problemas nutricionales globales (ingesta de calorías vacías, desnutrición, etc.). En realidad, este fracaso es causado por estructuras productivas que promueven un crecimiento económico excesivo, a menudo muy alejado de las estrategias de prevención y atención. Por otro lado, gran parte del conocimiento de los pueblos y sociedades tradicionales se ha conservado durante siglos, cumpliendo un rol moral de guardián de la naturaleza (Hernández, 2020). Este papel proviene del lugar que ocupa el conocimiento ecológico tradicional en procesos más equilibrados y homeostáticos. El papel de guardianes persistió incluso durante la conquista y el colonialismo y puede proporcionar alternativas hacia una buena nutrición. Sin embargo, para maximizar la utilidad, la intrusión de elementos tecnológicos los deja vulnerables a los impactos nutricionales y ambientales. En la mayoría de los casos, los afectados (Berger, 2016) obtienen poco o ningún beneficio del uso de tecnologías modernas (Lates & Casvean, 2020) para transformar los recursos naturales (vivos y abióticos), por lo que sería mejor pensarlos como un patrimonio biocultural.

Los pueblos y comunidades tradicionales también viven en muchos lugares donde los recursos naturales se transforman en bienes de valor agregado con la ayuda de herramientas tecnológicas. Incluso se ha definido como conocimiento tradicional para distinguirlo de la ciencia “real” en una postura moderna/colonial, legitimando así la epistemología imperialista (Beltrán, 2017). De esta manera, el conocimiento científico y el conocimiento en forma de conocimiento sobre los pueblos y sociedades tradicionales, las técnicas tradicionales, deberían integrarse en un proceso no jerárquico y decolonial. Los miembros de las comunidades han desarrollado, dado sus necesidades, procedimientos y protocolos para mejorar su vida, desde la producción de alimentos hasta su conservación y preservación, por ejemplo, el secado solar. Es obvio para los investigadores y científicos modernos que el conocimiento científico obtenido mediante el método científico es una forma universal de conocimiento.

La tecnología se vuelve un gran aliado en su búsqueda de contender con los elementos. Sus conocimientos también son universales para los habitantes de pueblos y comunidades tradicionales y les han permitido sobrevivir en muchas ocasiones mediante sus protocolos, usos y costumbres específicos. No hay dicotomía. En primer lugar, solo una mentalidad colonial puede despreciar el conocimiento tradicional, porque el conocimiento tradicional es la acumulación y la riqueza de sabiduría de los grupos humanos e incluso de toda la humanidad. Este es el pensamiento principal cuando nos enfrentamos a la pregunta: ¿qué colectivo de investigación e incidencia en torno a los procesos de secado hemos logrado crear? La primera respuesta es un colectivo transdisciplinario, lo que significa que el conocimiento se construye

a partir de personas, de comunidades, en amplio acuerdo con investigadores que, después de todo, también son humanos. En un proceso recursivo en el diseño de los equipos y con una idea clara de que no existe jerarquía cientificista (entendido como el reduccionismo que solo considera algunos elementos de la ciencia al servicio de unos cuantos) (Sorrell, 1994), pero sí lo estrictamente científico que ayude a la comunidad. Por lo tanto, el núcleo es un equipo de personas que requieren el secado, poseedores de conocimientos locales y ambientales y también posgraduados en “ciencias” nacionales e internacionales. Se desarrolla entonces un proceso dialógico no jerárquico entre los miembros del colectivo abordando dos conceptos clave: 1) incertidumbre científica en torno a los desafíos nutricionales y ambientales emergentes, es decir, dimensionamiento de los equipos específicos para la comunidad y 2) evaluación y recursividad de los resultados que los compañeros y compañeras de la comunidad indican sobre la evaluación de secadores en el territorio, bajo las condiciones ambientales y socio ecológicas del lugar.

Por otro lado, alrededor del mundo existe una gran pérdida y desperdicio de alimentos que se estima en un 30% del volumen producido a nivel mundial (FAO, 2019), incluso en un porcentaje mayor en países de bajos recursos. Los alimentos acuáticos son vitales y en algunas regiones de México representan una porción considerable de la dieta diaria de las personas. Se estima que para el 2050 la población mundial será de aproximadamente 9 billones de personas y esto representa un aumento del 70% en producción de alimentos (Philip et al., 2022) con el respectivo aumento de los recursos necesarios para su producción, por lo que resulta necesario abordar acciones para mitigar la pérdida y desperdicio de alimentos.

En lo que respecta a la pesca, se estima que entre el 30 y 60% de estos productos acuáticos se pierde o desperdicia a lo largo de la cadena de valor, desde la recolección hasta el consumidor final. Lo anterior puede deberse a varios factores como malas prácticas de recolección, descarte de especies no deseadas, manipulación deficiente, falta de cadena de frío e inocuidad del producto resultando en alta mortalidad de especies que se comercializan vivos, aumento de la carga bacteriana, retraso en el enfriamiento, daño físico y deterioro de la calidad, entre otros. El pescado se procesa de diversas formas con el fin de preservarlo y conservarlo, tales como: ahumado, el secado al sol y la salazón son métodos tradicionales comunes asociados con las cadenas de valor en pequeña escala utilizando tecnología de bajo costo y con servicios e instalaciones mínimos. Un procesamiento más sofisticado se lleva a cabo en entornos fabriles, que cumplen con estándares internacionales de higiene e inocuidad alimentaria que requiere de una alta inversión y alto consumo energético (FAO, 2019)



**Figura 1.** izquierda: acuicultura en la península de Yucatán; derecha: eviscerado del pescado.

Fuente: elaboración propia.

El integrar tecnologías que aprovechen la energía solar en el sector productivo tiene un impacto ambiental positivo, al mismo tiempo que promueve la no dependencia de combustibles fósiles y coadyuvan al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible, como el objetivo 7: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna; y el objetivo 2: poner fin al hambre. Por otro lado, el migrar hacia sistemas productivos sostenibles, con especial atención a las comunidades productoras de alimentos, ayuda a mejorar la calidad de vida de sus habitantes al formar cadenas productivas que involucren a miembros de la comunidad. Es importante resaltar que el garantizar que las necesidades alimenticias de las poblaciones sean satisfechas sin depender de manera importante de las importaciones coadyuva a tener seguridad y soberanía alimentaria.

Durante la ejecución del proyecto PRONAI con número 321295 de soberanía alimentaria “Desarrollo e implementación de metodologías sustentables para el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas de la península de Yucatán, para su valorización como ingredientes alimenticios nutritivos y productos funcionales” se procuró la divulgación e integración de las energías renovables en los procesos productivos y de transformación para tener un sistema menos dependiente de combustibles fósiles, que brinde beneficios ambientales, sociales y económicos tangibles tanto a nivel macroeconómico como local, al mismo tiempo que se ofrece una solución de una problemática del sistema agroalimentario regional, buscando la incidencia social mediante las tecnologías solares en los territorios y en el cuidado del medioambiente a partir de diversas experiencias socioculturales con las que se identifica la relación de prácticas cotidianas con la soberanía y la autodeterminación alimentaria.

Las experiencias en la implementación del secado solar, particularmente para el proyecto 321295, se engloba totalmente en el objetivo general del proyecto, el cual busca lograr diseñar un modelo replicable basado en la transferencia dialéctica de saberes para el aprovechamiento de la biomasa de algas y de residuos pesqueros y acuícolas en la península de Yucatán con la búsqueda de resultados socio ecológicamente significativos, en el contexto de la soberanía alimentaria efectivizando el Derecho Humano a la Alimentación. Adicionalmente, este objetivo se ha ido alcanzando a través de los objetivos particulares de incidencia e investigación, considerando en cada punto el saber de las comunidades y combinando con el saber científico, principalmente en la búsqueda por lograr implementar experiencias piloto de procesos de bajo costo para el desarrollo de productos valorizados en las comunidades de estudio con el soporte técnico-científico y la evaluación de las características de los productos desarrollados.

Abordar la pérdida y desperdicio de los alimentos acuáticos requiere un enfoque multidisciplinario que incluya políticas y un entorno regulatorio adecuado, aprovechamiento de tecnologías sustentables y compartir los conocimientos hacia las comunidades en donde la producción de alimentos marinos sea una de las principales actividades comerciales. Adoptar una metodología de incidencia social adecuada que procure la adopción y transferencia tecnológica exitosa permitirá la mejora de la infraestructura disponible, la equidad de género y el establecimiento de alianzas comerciales para garantizar la venta de los subproductos obtenidos.

## **6.2 Secado solar**

El secado es uno de los métodos más utilizados, versátiles y económicos que implica una reducción de la humedad del alimento favoreciendo la supresión del desarrollo de bacterias y hongos manteniendo los alimentos microbiológicamente estables (Lewis, 2022; Shirkole et al., 2023) permitiendo su almacenamiento por periodos prolongados. Desde tiempos antiguos, el secado a cielo abierto ha sido el método más utilizado por la humanidad, por ser un método que no requiere de ningún equipo especial sino sólo exponer el alimento a la intemperie; sin embargo, esta técnica tiene diversos inconvenientes que afectan la calidad de los productos deshidratados (Ennissioui et al., 2023) No obstante, los métodos de conservación industrial basan su suministro energético en combustibles fósiles, provocando contaminación, altos costos operativos, emisión de gases de efecto invernadero y contribución al calentamiento global.

En este sentido, el proceso de secado solar es un método tecnificado, que resuelve los inconvenientes del secado a cielo abierto. Son tecnologías relativamente asequibles, de bajo mantenimiento y de fácil operación, lo que resulta altamente pertinente para poder conservar una gran variedad de alimentos, reducir la pérdida de alimentos y contribuir a la mitigación de la subalimentación mundial.



## 6.3 Tipos de secadores solares

### 6.3.1 Clasificación general

Una de las clasificaciones más generales de los secadores solares es mostrada en la Figura 2, en donde se dividen de acuerdo al movimiento del aire dentro de la cámara de secado, al tipo de exposición del producto a la irradiancia solar o secadores híbridos que obtienen la energía calorífica de diferentes fuentes.



Figura 2. Clasificación general de los secadores solares.

Fuente: elaboración propia.

#### 6.3.1.1 Basado en el movimiento del aire

##### 6.3.1.1.1 Secadores solares pasivos

El secador solar pasivo se caracteriza por ser de una construcción simple mediante la cual el aire se mueve naturalmente (convección natural) dentro del secador debido al efecto de cambio de la densidad del aire por el cambio de temperatura. Se pueden construir con materiales que se consiguen fácilmente, como lámina galvanizada, láminas de plástico, madera, lana de vidrio y vidrio o policarbonato para ventanas. Los rayos solares entran al secador a través de la cubierta transparente de la cámara de secado creando las condiciones necesarias para secar los alimentos. Este tipo de secadores se utilizan regularmente para secar cultivos alimentarios en pequeñas cantidades a una temperatura de entre 40 y 50 °C, por lo que lo hace adecuado para utilizarlo en casa para la conservación de carne, pescado, verduras y frutas.

### ***6.3.1.1.2 Secadores solares activos***

El secador solar activo utiliza un ventilador o extractor de aire para procurar el flujo de aire dentro de la cámara de secado, mejorando la transferencia de calor al producto y la evacuación del aire húmedo hacia el exterior. El ventilador otorga un flujo de aire constante dentro de la cámara de secado, lo que permite que la evaporación de la humedad del producto sea más uniforme, comparado con los secadores pasivos. El tamaño del ventilador dependerá del tamaño del secador o la cámara de secado y tendrá un efecto en el costo del equipo y mantenimiento.

### ***6.3.1.2 Basado en la exposición del producto a la radiación solar***

De acuerdo al tipo de exposición del alimento a la radiación solar, los secadores solares pueden dividirse en directos, indirectos o mixtos. La selección del tipo de secador dependerá del tipo de alimento (considerando características de calidad del producto seco) y de la gestión de la energía requerida para el proceso de secado.

#### ***6.3.1.2.1 Secador solar tipo directo***

En un secador solar directo el producto a secar se coloca dentro de la cámara de secado y la radiación solar que entra por la ventana incide de manera directa en los alimentos (Figura 3). El producto seco puede verse afectado de manera positiva o negativa en sus propiedades físicas, químicas u organolépticas debido a la exposición directa a la luz solar y esto dependerá de las características propias del alimento en cuestión.



**Figura 3.** Secador solar cilíndrico tipo directo. Fuente: elaboración propia.

### **6.3.1.2.2 Secador solar tipo indirecto**

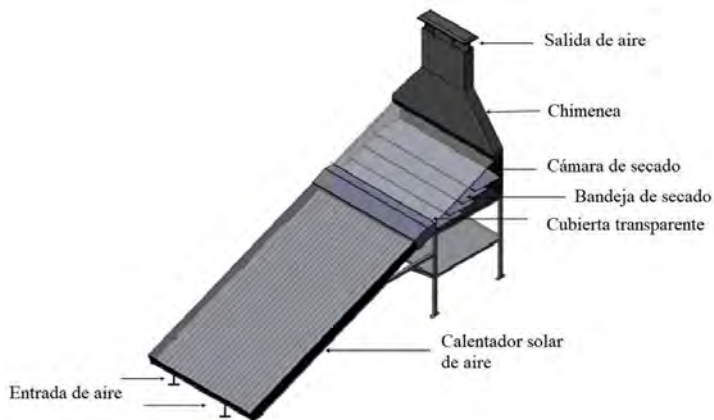
En los secadores solares indirectos el calor o la energía necesaria para deshidratar los alimentos se aprovecha a partir de la radiación solar incidente sobre un colector solar que está conectado a la cámara de secado (Figura 4). Este colector solar calienta el aire en su interior y es conducido de manera natural o forzada hacia la cámara de secado para eliminar la humedad de los productos. La cámara de secado está hecha de material opaco que evita la exposición directa de los productos a la radiación solar. Normalmente en este tipo de secadores existe un ventilador que impulsa el aire caliente hacia el secador para favorecer el desempeño del colector solar.



**Figura 4.** Secador solar tipo indirecto.  
Fuente: Salhi et al. (2024).

### 6.3.1.2.3 Secador solar tipo mixto

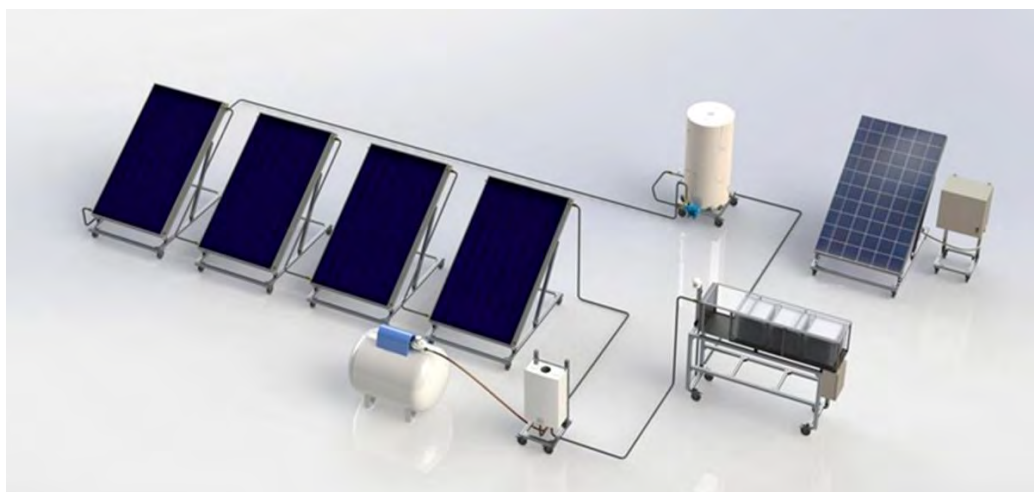
La combinación de ambos secadores, tipos directos e indirectos, resulta en un secador tipo mixto. En un secador solar de tipo mixto los productos están expuestos de manera directa e indirecta a la radiación solar, es decir, de manera directa por la incidencia de los rayos solares y de manera indirecta por el aporte de aire caliente por el colector solar, tal y como como se muestra en la Figura 5. Este tipo de secador consta de dos partes principales: un colector solar y una cámara de secado. La radiación solar es recibida tanto por el colector solar como por la cámara de secado a través de la cubierta transparente. El aire pasa a través del colector solar y se mueve hacia la cámara de secado, para deshidratar el alimento y luego ser evacuado en la parte superior de la cámara de secado por circulación natural o forzada, de tal suerte que el alimento recibe calor solar (aire caliente) y radiación solar al mismo tiempo.



**Figura 5.** Secador solar tipo mixto.  
Fuente: adaptado de Lopez-Vidaña et al. (2020).

### 6.3.1.2.4 Secador solar híbrido

Los secadores solares también se pueden clasificar según otros factores como tipo de energía utilizada (convencional o renovable), el modo de operación (continuo o por lotes) y el modo de transferir energía (radiativo, convectivo y conductivo) (Ortiz-Rodríguez et al., 2022). Algunas otras variantes tienen que ver con el diseño constructivo de la cámara de secado ya sea tipo túnel, tipo gabinete, forma parabólica u otros. El secador solar híbrido es un tipo de secador solar que utiliza energía adicional de otras fuentes (gas LP, biomasa, biogás, eléctrica, solar, etc.). La Figura 6 muestra un secador solar híbrido que tiene un calentador auxiliar gas LP, un panel fotovoltaico y un tanque de almacenamiento térmico.



**Figura 6.** Secador solar híbrido con almacenamiento térmico.

Fuente: elaboración propia.

## **6.4 Desarrollo y prueba de prototipos de baja escala para la diseminación de tecnologías de secado solar**

Derivado del proyecto “Desarrollo e implementación de metodologías sustentables para el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas de la península de Yucatán, para su valorización como ingredientes alimenticios nutritivos y productos funcionales”, se ha encontrado una potencial sinergia entre la energía solar para secado y los productos marinos aprovechables. Este conjunto de aprovechamiento de recursos naturales puede permitir mejorar la economía de las poblaciones de la región.

### **6.4.1 Contexto climatológico**

Los niveles de irradiación solar en el sureste de México hacen de la península de Yucatán un lugar privilegiado para el uso de la energía solar como fuente de energía para la transformación de los productos de aprovechamiento marinos, dándoles un alto valor agregado.

La Figura 7 muestra que los valores de radiación solar en la península de Yucatán son de entre 6.027 - 5.205 kWh/m<sup>2</sup> por día. Estos valores muestran que el uso de la energía solar es adecuado para el procesamiento de productos marinos, para el secado, por ejemplo.





**Figura 7.** Irradiación horizontal global (GHI, kWh/m<sup>2</sup> por día). Fuente: Solargis (2024).

Si bien los valores de la irradiación solar hacen su uso altamente pertinente en la península, se deben de tomar en cuenta factores climatológicos como la cantidad de días de nubosidad y las precipitaciones, así como características de los secadores solares como la ubicación, la orientación, los materiales de construcción y sus dimensiones a fin de poder ser ubicados de forma sencilla.

#### **6.4.2 Prototipos de secado solar**

Como parte del progreso del proyecto mencionado anteriormente, se desarrollaron prototipos de secado solar de baja escala para realizar actividades de incidencia social mediante cursos, talleres y pláticas comunitarias con el objetivo de que los miembros de la comunidad conocieran estas sencillas tecnologías y cómo poderlas aplicar con los excedentes de la producción agrícola o en su propia casa. La evaluación de tecnología para el aprovechamiento de energía solar en sistemas de secado permite determinar y mostrar el potencial de aplicación de esta fuente de energía para procesos de secado de productos de alto valor social y económico en el Sureste de México.

A continuación, se muestra el desarrollo y prueba de prototipos a través de una descripción del dimensionamiento, instrumentación, puesta en marcha y resultados de estos secadores solares.

### 6.4.3 Secador solar indirecto tipo chimenea

Los secadores solares tipo chimenea son hechos con materiales de fácil acceso y de un costo relativamente económico, entre los que se enlistan:

- Perfiles de aluminio
- Perfil de acero
- Lamina de acero
- Lámina de aluminio
- Vidrio de 5 a 10 mm
- Silicón para altas temperaturas
- Cinta térmica

La Figura 8 muestra un secador solar de tipo indirecto ubicado en las instalaciones de CIATEJ-Unidad Sureste. En estos secadores la energía solar se aprovecha de forma indirecta mediante un colector solar para el calentamiento de aire que se encuentra acoplado a la cámara de secado.



**Figura 8.** Secador solar indirecto tipo chimenea.  
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a pruebas de su desempeño (Figura 9) realizadas, muestran un comportamiento relativamente bueno. Los perfiles de temperatura del aire muestran cómo la temperatura del aire (ambiente) a la entrada del sistema (1, parte inferior



del colector solar) se eleva sustancialmente hasta la salida del colector (2), que es la entrada a la secadora, y se mantiene constante hasta la salida de la secadora (3) debido a que se operó sin carga. En la prueba realizada se alcanzó un máximo de 52 °C, cuando la temperatura ambiente estaba en 39 °C. Las temperaturas alcanzadas pueden utilizarse para el secado de productos naturales de la península.

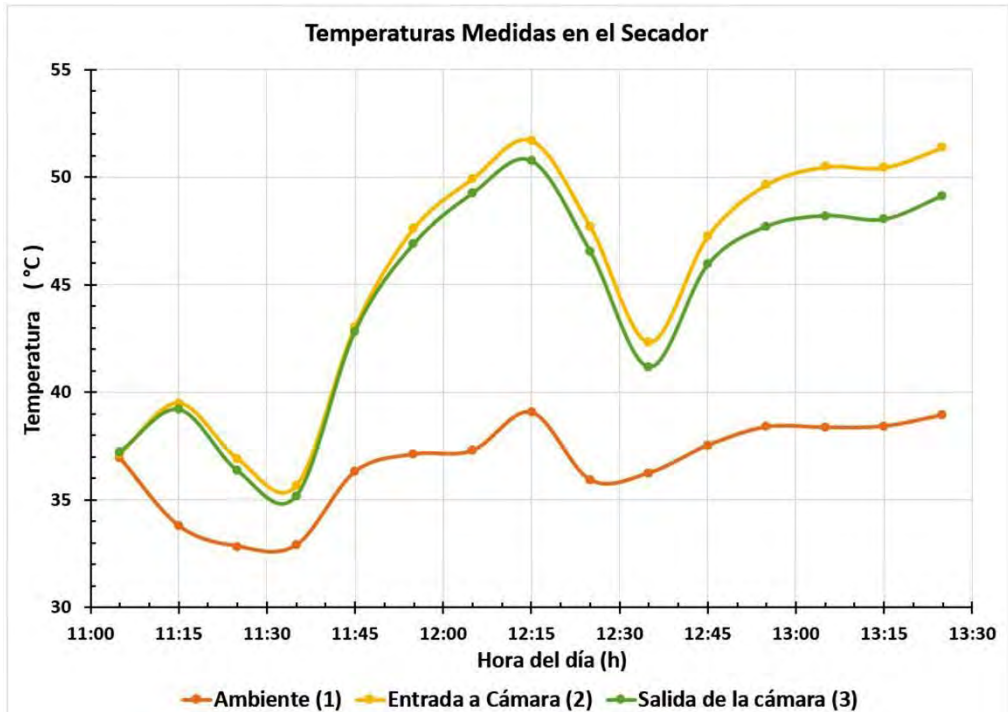


Figura 9. Temperaturas del aire fuera y dentro del secador solar indirecto tipo chimenea. Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la Figura 10, se observa que la humedad relativa (línea continua) del aire dentro de este secador solar, en las condiciones del día de la prueba, puede llegar a valores por debajo del 25%, muy por debajo de la humedad relativa del aire en el exterior de la cámara (ambiente) que en ese instante estaba en valores superiores a 40%. La humedad absoluta (línea punteada) del aire se muestra que permaneció constante durante esta prueba sin carga de secado. La secadora utilizada puede, por lo tanto, crear buenas condiciones para el secado de productos de interés en la península

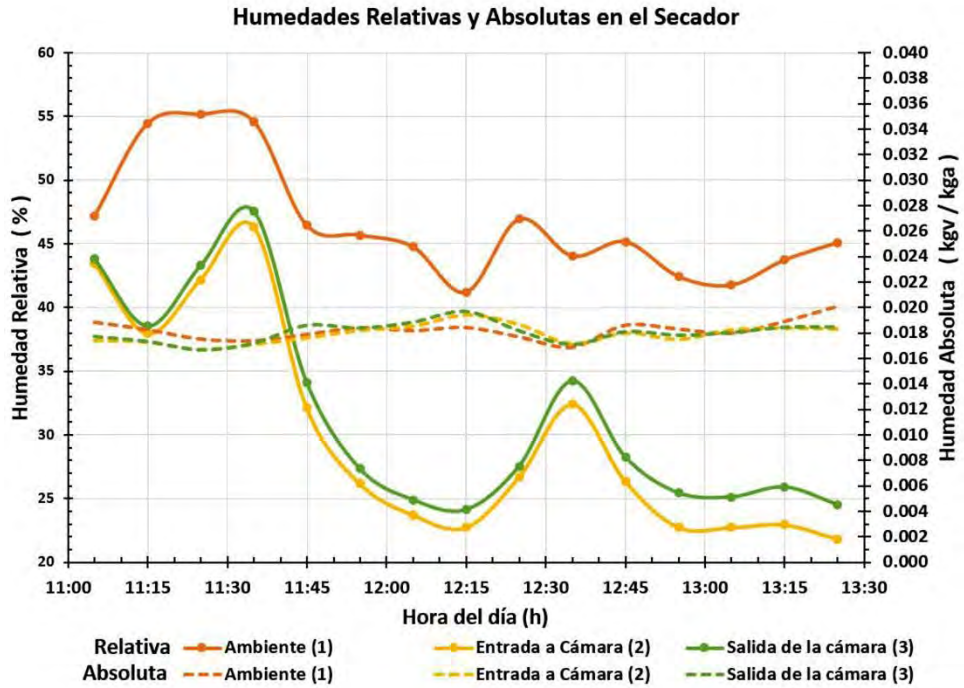


Figura 10. Humedades relativas y absolutas del aire fuera y dentro del secador solar indirecto tipo chimenea. Fuente: elaboración propia.

#### 6.4.4 Secador de tipo invernadero (tipo directo)

La Figura 11 muestra un secador solar tipo invernadero que se desarrolló como prototipo teniendo en cuenta una primera aproximación a las necesidades de las personas, la cantidad de alimento que desean secar y con dimensiones reducidas a fin de poder transportarse y reubicarse con facilidad. Una característica adicional es que este secador solar funciona mediante convección forzada al incorporar una ventilación mecanizada y accionada mediante un panel fotovoltaico.



Figura 11. Secador solar tipo invernadero con ventilación forzada accionada con energía fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.

El secador solar está construido con materiales comercialmente disponibles y accesibles, y sus dimensiones son de 65 cm de ancho por 40 cm de largo y una altura de 45 cm, con un área efectiva de secado de 0.26 m<sup>2</sup>.



Figura 12. Puesta en marcha del secador solar tipo invernadero. Fuente: elaboración propia.

Los resultados del uso del secador solar han sido satisfactorios y la adopción por parte de los usuarios ha sido favorable. La Figura 12 muestra la implementación de este secador en la casa de una familia que se interesó por deshidratar papaya, mostrando la viabilidad y despertando el interés por secar otros alimentos que se producen en el traspatio o en los solares familiares.

#### **6.4.5 Secador de tipo gabinete (tipo directo)**

En la segunda etapa del proyecto se desarrolló un segundo prototipo tomando en cuenta la retroalimentación de los miembros de la comunidad que utilizaron el secador solar. La característica principal que deseaban tener en el secador es que fuera más compacto y que aumentará su capacidad para secar una cantidad mayor de alimentos, entre otras. Se desarrolló un secador solar considerando lo anterior con las siguientes características:

Una capacidad de secado para 3 - 4 kg de producto fresco, tomando como base la papaya.

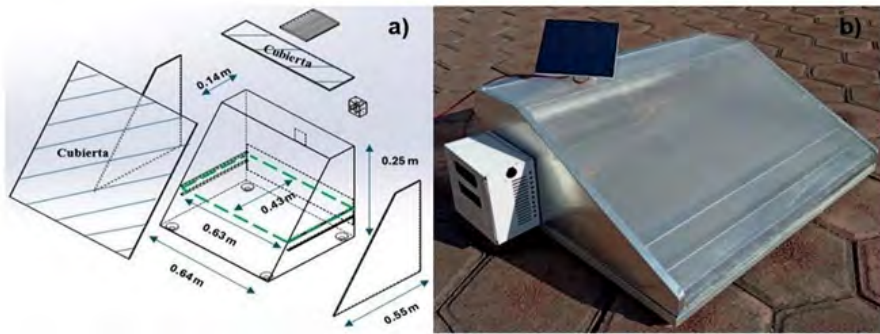
1. Estructura de aluminio para evitar la corrosión en el corto plazo.
2. Soporte adecuado para el panel fotovoltaico.
3. Un termómetro de carátula para un mejor control del proceso.
4. Secador compacto y ligero para su mejor manejo.
5. La base del secador tiene una base reflectiva para aumentar la capacidad de colección de rayos solares en condiciones poco favorables de irradiancia solar.

La Figura 13 muestra el concepto del cual se partió para construir en nuevo prototipo, cambiando la geometría del secador, priorizando la acumulación de calor y el flujo de aire dentro de la cámara del gabinete.



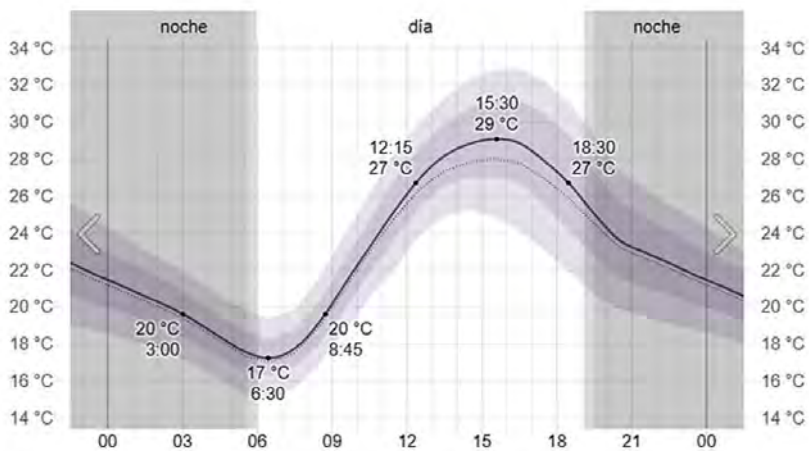
**Figura 13.** Secador solar tipo gabinete. Fuente: elaboración propia.

La Figura 14 muestra el prototipo del secador solar construido y sus dimensiones. Este está construido de una estructura de aluminio con una cubierta transparente de policarbonato con un área de  $0.36 \text{ m}^2$  que permite la captación de la radiación solar. Cuenta con dos charolas de secado que en total suman  $0.54 \text{ m}^2$  de área efectiva de secado. Se instaló un ventilador con regulación de velocidad energizado por una celda fotovoltaica que garantiza la circulación del aire al interior del secador solar. Para evaluar el comportamiento de este secador se desarrolló e instaló un sistema electrónico para registrar las temperaturas al interior durante su funcionamiento, Figura 14b.



**Figura 14.** a) Dimensiones del secador. b) Diseño del secador solar. Fuente: elaboración propia.

La Figura 15 muestra el comportamiento de la temperatura entre las 8:00 a las 17:00 horas. El secador se sometió a una prueba experimental en días de cielo claro y despejado para el 22 y 23 de mayo del 2024 con las condiciones de temperatura del ambiente.



**Figura 15.** Temperatura promedio el 22 y 23 de mayo 2024.

Fuente: obtenido de © WeatherSpark.com.



De acuerdo a la Figura 16a, se puede observar que el secador solar mantiene una temperatura en el interior 35 °C y 70 °C aproximadamente, esto permite llevar a cabo el secado de una gran variedad de productos alimenticios con el aprovechamiento de la energía radiante. Para el experimento se utilizaron rebanadas de manzana, obteniendo un producto de buen color y textura, como se muestra en la Figura 16b.



**Figura 16.** a) Comportamiento de la temperatura al interior del secador solar (22 y 23 mayo 2024).  
b) Manzana deshidratada. Fuente: elaboración propia.

## 6.5 Transferencia y apropiación de la tecnología

### 6.5.1 *Divulgación de la ciencia con estudiantes de nivel básico*

Para cumplir con el objetivo de transferir y procurar la apropiación del conocimiento y tecnologías solares en la comunidad se realizaron diversas actividades de difusión como ferias, exposiciones y talleres, para dar a conocer las tecnologías solares y cómo pueden aprovecharse para deshidratar alimentos dentro de su comunidad o su casa. La Figura 17 muestra las imágenes obtenidas durante un curso interactivo que se llevó a cabo con estudiantes de secundaria de la comunidad de Sisal, Yucatán. Los alumnos se mostraron receptivos, participativos y entusiasmados de conocer el aprovechamiento de la energía solar en la vida diaria y en la conservación de alimentos en casa.



**Figura 17.** Difusión de las tecnologías solares con estudiantes de nivel básico del Sisal, Yucatán.  
Fuente: elaboración propia.



### 6.5.2 Trabajo de campo con productoras y productores

En las localidades de Cosgaya y Suytunchén (Yucatán) se promovió el uso de secadores solares para el aprovechamiento de productos y subproductos de las parcelas con un grupo de mujeres agricultoras. En un primer momento se dio una introducción teórico-práctica a la tecnología en las instalaciones de CIATEJ-Sureste. Durante esta sesión se explicaron los principios de las tecnologías de secado solar, así como sus variantes, alcances y posibilidades. Asimismo, se mostraron las características del prototipo, la manera de uso y sus alcances.

Se realizaron cursos, talleres y capacitaciones sobre la transformación de productos, como es el caso de la deshidratación (Figura 18). En estos espacios de intercambio de saberes con la comunidad se compartieron los beneficios de utilizar el secado solar como método para transformar productos en las parcelas productivas o en sus propias casas como una alternativa para la conservación de bajo costo y valor agregado en los productos.



**Figura 18.** Taller de secado solar de alimentos producidos en traspatio.  
Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, con el acompañamiento de Colectivo Awentanel, se realizaron pruebas en campo para afianzar el uso del deshidratador solar y, a partir de ello, las mujeres agricultoras realizaron sus propias pruebas, deshidratando algunos frutos de sus solares. A raíz de estas primeras experiencias, las mujeres elaboraron una serie de observaciones, con el propósito de retroalimentar con sus experiencias al colectivo de investigación para poder hacer mejoras al secador utilizado. Sus observaciones sirvieron para diseñar un segundo prototipo.

### 6.5.3 Incidencia social

En las localidades de Cosgaya y Suytunchén consideramos que la tecnología tuvo un impacto modesto pero significativo: permite aprovechar productos y subproductos que de otro modo serían desechados. Sin embargo, los alcances también son limitados, en parte por la tecnología y en parte por la dinámica de las agricultoras (Figura 19). Con respecto a la primera, si bien el resultado es bastante positivo, es poca la cantidad de alimentos que un deshidratador puede procesar. Por otra parte, las agricultoras, como todas las mujeres de la comunidad, tienen múltiples obligaciones familiares y trabajos, incluyendo el cuidado de sus cultivos, que abarcan buena parte de su tiempo, por lo que les resulta difícil destinar tiempo para la deshidratación de alimentos. Por ello, la cantidad de alimentos que procesan es moderada.



**Figura 19.** Apropiación del conocimiento y operación de secadores solares.

Fuente: elaboración propia.

Si bien el alcance de la tecnología por sus dimensiones es modesto, hay que considerar que no es un elemento aislado, sino uno dentro de una serie de tecnologías y prácticas que se están promoviendo para fortalecer el trabajo de las productoras locales y la soberanía alimentaria; un proceso en el cual se necesitan de diversas estrategias y donde las tecnologías de bajo costo para la transformación de alimentos son relevantes.

### 6.5.4 *Deshidratado de productos*

Con ayuda de la organización colaboradora Colectivo Awentanel, quienes participan activamente en el proyecto, se les dio seguimiento a los talleres y se comenzó a secar diferentes productos de los solares y parcelas, con lo que las productoras adquirieron experiencia en los conocimientos previamente transmitidos y empezaron a experimentar en las condiciones propias de su comunidad (Figura 20). Esto les dio las bases para que ellas pudieran tomar sus propias decisiones y aprovechar esta tecnología para transformar su producción en conservas deshidratadas.



**Figura 20.** Taller de deshidratado de alimentos. Fuente: elaboración propia.

## 6.6 Retroalimentación e intercambio de saberes

En un proceso de diálogo y teniendo como base la experiencia de las productoras en el uso del deshidratador solar, se pensó en un secador solar cuyas características fueran culturalmente adecuadas y tecnológicamente pertinentes para las productoras de las comunidades (Figura 21). Técnicamente, el primer diseño no tenía fallas; sin embargo, debido a la visión reduccionista que predomina en la ciencia, el secador no respondía a la realidad de los productores. Algunas de las principales observaciones fueron que el tiempo de secado era muy largo, el espacio de las charolas muy reducido, la entrada de insectos a la cámara de secado, el desconocimiento de las temperaturas alcanzadas, así como algunos fallos en cuanto a los materiales, que se deshacían bajo el sol. El segundo prototipo contó con dos charolas para depositar el material a secar, se rediseñaron las puertas para impedir la entrada de insectos, se equipó con un termómetro que permite monitorear las temperaturas adecuadas y se rediseñó la forma.



**Figura 21.** Intercambio de saberes con miembros de la comunidad. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, a partir del diálogo y la reflexión conjunta, llegamos a algunas consideraciones sobre el proceso de transferencia tecnológica. Entre ellas queremos mencionar: (1) como equipo de investigación, debemos estar constantemente abiertos a escuchar las ideas, observaciones y críticas de las personas, pues ellos y ellas notan fallas o aspectos a mejorar en las tecnologías y procesos que desarrollamos; (2) llevar los desarrollos tecnológicos del laboratorio al campo requiere no solo de la opinión de los agricultores, sino también de su pericia. Usualmente, en campo hay un sinfín de detalles a resolver que no prevemos, pero que los agricultores sí tienen presentes y, mediante la colaboración, podemos resolver conjuntamente; (3) el ritmo de los procesos comunitarios no es el ritmo de la academia, y necesitamos procurar ir a la par de este, siempre respetando los tiempos y espacios que las personas nos ofrecen.

### ***6.7.1 Incidencia en investigación y desarrollo***

La parte técnica y científica logró proponer diferentes alternativas que resolvían problemáticas expuestas por la comunidad; sin embargo, los usuarios que fueron capacitados en el uso de nuevas tecnologías fueron los que dieron seguimiento a los diferentes procesos en el secado, así como innovaciones y adecuaciones necesarias, debido a que el conocimiento científico puede tener una visión reduccionista y el conocimiento tradicional puede tener un enfoque sistémico, ambos son complementarios y como en esta experiencia, mediante el diálogo e intercambio, integramos ambos saberes (Figura 22). De igual forma, y debido a los objetivos de las diferentes comunidades, se comparó el secado solar y el secado convencional para la elaboración de alimento para animales de corral a partir de residuos de pescado, en donde el secado solar permitió tener el mismo resultado, lo cual es ventajoso para las comunidades.



**Figura 22.** Colaboración con el colectivo de investigación. Fuente: elaboración propia.



## 6.9 Conclusiones y perspectivas de la incidencia social

El impacto en las comunidades de las experiencias de implementación del secado solar es un proceso que solamente se podrá medir a lo largo del tiempo, pues se ha buscado generar un cambio a nivel sistémico. Por tal motivo, es un gran desafío a la hora de medirlo, ya que no existe un lenguaje común ni homogéneo para cuantificar. En ese sentido, existen puntos claves que nos pueden permitir entender, desde un contexto social y sin perder de vista el contexto técnico, la incidencia lograda. Como se ha observado en esta experiencia, los diálogos de saberes fueron fundamentales para lograr el entendimiento de la problemática y la búsqueda de una solución clara que, a su vez, con la recursividad de los procesos, es decir el escuchar a las comunidades en las experiencias realizadas y buscar mejorarlas, se logró implementar una tecnología de bajo costo, que además de accesible fuera funcional.

### Agradecimientos

Se agradece de forma especial al colectivo Grupo de Mujeres Agricultoras Tuumben Lool y al Colectivo Awentanel por su amable disposición en las actividades de incidencia social, asimismo a Estefanía Rodríguez Lamuz, Mario Nájera Trejo, Miguel Oliva Ruiz, Esteban Romero De la Serna y Diana Paola García Moreira por aportar imágenes propias para este capítulo.

### Memoria fotográfica



**Memoria 1.** Instalaciones del CIATEJ Subsede Sureste. Fuente: elaboración propia.



**Memoria 2.** Instalaciones de la UNAM – Campus Sisal, Yucatán. Fuente: elaboración propia.



**Memoria 3.** Curso y taller sobre transformación de productos, en donde se compartió con las comunidades las bondades de utilizar el secado solar como método de conservación económico, de fácil manejo y amigable con el medio ambiente. Fuente: elaboración propia.





**Memoria 4.** Implementación y seguimiento del secado solar de productos de la huerta en la comunidad de Cosgaya. Fuente: elaboración propia.



**Memoria 5.** Estudio comparativo entre el secado solar y secado convencional de un alimento para animales de corral utilizando residuos pesqueros. Fuente: elaboración propia.

## Referencias

- Beltrán, Y. (2017). Violencia epistémica en la protección de los conocimientos “tradicionales”. *Ciencia Política*, 12(24), 115-136. Recuperado de <https://biblat.unam.mx/hevila/CienciaPolitica/2017/vol12/no24/5.pdf>
- Berger, M. (2016). Afectados ambientales. Hacia una conceptualización en el contexto de luchas por el reconocimiento. *Debates en Sociología*, (42), 31-53. Recuperado de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/debatesensociologia/article/view/16036>
- Ennissoui, J., Benghoulam, E. M., & El Rhafiki, T. (2023). Experimental study of a natural convection indirect solar dryer. *Heliyon*, 9(11), e21299. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21299>
- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*. FAO. <https://doi.org/10.4060/CA6030ES>
- Hernández, S. M. (2020). Guarda de la Naturaleza: Conocimientos Ecológicos Tradicionales de los Pueblos Indígenas y Estrategias de Protección. *Cadernos de Dereito Actual*, 1(13), 202-230. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176273>
- Lates, D., & Casvean, M. (2020). Compliant Mechanisms in Progress and Development of Modern Technology. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 5(2), 186-189. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2020.2.24>
- Lewis, M. (2022). *Food Process Engineering Principles and Data*. Woodhead Publishin. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821182-3.00018-2>
- Lopez-Vidaña, E. C., César Munguía, A. L., García Valladares, O., Pilatowsky Figueroa, I., & Brito Orosco, R. (2020). Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*). *Renewable Energy*, 147, 845–855. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.018>
- Ortiz-Rodríguez, N. M., Condorí, M., Durán, G., & García-Valladares, O. (2022). Solar drying Technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications in medium and large scale. *Applied Thermal Engineering*, 215(June). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118993>
- Philip, N., Duraipandi, S., & Sreekumar, A. (2022). Techno-economic analysis of greenhouse solar dryer for drying agricultural produce. *Renewable Energy*, 199(August), 613–627. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.148>
- Salhi, M., Chaatouf, D., Raillani, B., Amraqui, S., & Mezrhab, A. (2024). Experimental investigation and performance evaluation of an indirect solar dryer: Effect of drying trays. *Solar Energy*, 272(112482). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112482>
- Shirkole, S. S., Mujumdar, A. S., & Raghavan, G. S. V. (2023). Drying of foods: principles, practices and new developments. En S. Mahdi Jafari & N. Malekjani (eds.), *Drying Technology in Food Processing* (pp. 3-29). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819895-7.00020-1>
- Sorell, T. (1994). *Scientism: Philosophy and the Infatuation with Science*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203426975>
- Solargis Prospect. (2024). *Irradiación horizontal global (GHI, kWh/m2 por día)*. <https://acortar.link/VxRRlx>

# Capítulo 7

## Contaminantes ambientales en la península de Yucatán

Ulises García-Cruz<sup>1</sup>, Beatriz del Carmen Couder-García<sup>2</sup>, Kelvin Saldaña-Villanueva<sup>2</sup>, Sergio Valdivia-Rivera<sup>2\*</sup>

\*Autor de correspondencia: Sergio Valdivia-Rivera (svaldivia@ciatej.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14726622>

### Resumen

En el presente capítulo se aborda el tema de la contaminación ambiental en la península de Yucatán, iniciando el recorrido con las afectaciones en el sector acuícola y pesquero, para posteriormente dar un vistazo al sector agrícola, pues el uso indiscriminado de diversos pesticidas, sumado a las características cársticas del territorio, contribuyen en gran medida a la presencia de estos contaminantes por toda la región, así como en pescados y mariscos capturados en las costas. Finalmente, a manera de advertencia y vaticinio de los peores escenarios que podemos enfrentar por la contaminación ambiental, se da un cierre con el ejemplo del caso de mortandad de abejas en la península, fenómeno que ha sido asociado a la presencia de diversos contaminantes ambientales.

**Palabras clave:** contaminación ambiental; península de Yucatán; pesticidas; metales pesados; hidrocarburos.

---

<sup>1</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Mérida, UNAM, Carretera Mérida-Tetiz, Km 4, Yucatán, 97357, Ucu, México

<sup>2</sup> CONAHCYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Subsede Sureste, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Km 5.5, Yucatán, 97302, Mérida, México

<sup>3</sup> CONAHCYT-CIATEJ, Subsede Noreste, Vía de La Innovación 404, Autopista Monterrey-Aeropuerto Km 10, Parque, PIIT, Nuevo León, 66628, Apodaca, México

## 7.1 Introducción

El desarrollo industrial, agrícola y tecnológico que hemos tenido como sociedad durante el último siglo ha sido más grande y rápido que en cualquier época pasada documentada de la civilización humana. Sin embargo, esta tecnificación y crecimiento acelerado conlleva algunas implicaciones negativas, puesto que también en los últimos años la contaminación ambiental de nuestro planeta ha sido la más grande que se ha registrado en su historia.

A nivel global enfrentamos distintas contingencias ambientales, tales como contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo, pesticidas, metales pesados, colorantes textiles, plásticos, gases de efecto invernadero, fármacos y algunos contaminantes emergentes para los cuales no estamos preparados. Todos estos contaminantes llegan al medio ambiente como producto de las actividades económicas de las que dependemos como sociedad. Algunos tipos de contaminantes son más fáciles de propagar en el ambiente, con lo que se corre el riesgo de que un mayor número de seres vivos entren en contacto con ellos y desarrollen efectos adversos en su salud. Sin embargo, en una ubicación geográfica concreta es usual encontrar una mayor concentración de ciertos contaminantes en función de las actividades que se desarrollen en dicha región.

En el caso de la península de Yucatán, ubicada en el sureste mexicano y compuesta por los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, las actividades económicas están determinadas por las características propias de la región, tales como estar rodeada por cuerpos de agua que propician la pesca, tener tierras fértiles y un clima tropical para el cultivo agrícola y actividades derivadas al sur del estado, así como ser un lugar con diversos sitios arqueológicos y playas paradisíacas que atraen turistas de todas partes del mundo. Sin embargo, estas actividades económicas han sido relacionadas a la presencia de pesticidas y otros tipos de contaminantes ambientales, que pueden poner en riesgo la salud de los habitantes peninsulares.

En este capítulo abordaremos el panorama actual de contaminación ambiental que se tiene en la península de Yucatán, región en la que se desarrolla el proyecto PRONAI 321295 con enfoque en el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas. Se discute en un inicio la contaminación de los productos pesqueros y acuícolas, para posteriormente profundizar en el origen antropogénico de los contaminantes y asociarlo a diversos sectores productivos, principalmente el agrícola, ya que la contaminación ambiental va más allá de un solo sector productivo y sus impactos se ven reflejados en múltiples especies y ecosistemas dentro de una misma región. Se finaliza el capítulo con un caso y ejemplo puntual del impacto que puede tener la contaminación, mediante la contextualización de la mortandad de abejas que se sufre en la península, con la finalidad de ejemplificar que todos los or-

ganismos vivos estamos expuestos a los mismos riesgos de contaminación ambiental, y a manera de advertencia y vaticinio de lo que puede llegar a ocurrirnos de seguir con las mismas practicas productivas.

## 7.2 Contaminación en productos de la pesca y acuicultura

Por su posición geográfica en el Golfo de México y el Mar Caribe, la península de Yucatán tiene la posibilidad de pescar y producir una amplia variedad de productos pesqueros (Pech-Puch et al., 2020). Esta diversidad de productos es resultado de su privilegiada ubicación geográfica, ya que cuenta con una extensa línea de costa que abarca desde el golfo de México en las costas de Campeche hasta el Mar Caribe en Quintana Roo. Estas aguas oceánicas ofrecen diferentes tipos de hábitat, propicios para una amplia variedad de especies marinas, lo que permite la captura de distintos productos pesqueros.

Entre los principales productos de pesca que se generan en esta región se encuentran pescados y crustáceos como el camarón (*Farfantepenaeus aztecus*, *F. duorarum*, *F. brasiliensis*, *Palaemonetes vannamei* y *P. pugio*). La pesca de camarón es una actividad importante en la península de Yucatán. El camarón es una especie de alta demanda a nivel nacional como internacional, y su pesca es una fuente de ingresos para las familias y comunidades pesqueras de la región. En el caso de los peces, está la captura del pargo (*Pagrus pagrus*) y el mero (*Epinephelus morio*). El pargo es de gran importancia para la pesca en la península. Es una especie de pez de gran tamaño que se captura en aguas cercanas a la costa y que es muy apreciado tanto en el mercado local como en el extranjero por su gran sabor. El mero es otro pez de gran tamaño y buen sabor que se captura en las aguas cercanas a la costa. La pesca de este pez es muy importante para las comunidades de la región. Entre los crustáceos se encuentra la langosta (*Panulirus argus*), su pesca es otra actividad importante en la península y es ampliamente capturado en las aguas costeras de la región.

En la península de Yucatán también se lleva a cabo la acuicultura, que es la cría y cultivo de organismos acuáticos en condiciones controladas. La acuicultura en la península de Yucatán se enfoca principalmente en la producción de camarón, la cual se lleva en su mayoría en el estado de Campeche. Le sigue la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*), la cual se cría en estanques y sistemas de acuicultura intensiva en toda la península. En tercer lugar, se encuentra la producción de ostiones (*Crassostrea virginica*) en granjas costeras de toda la región y por último está el caracol rosado (*Strombus gigas*), el cual es producido mayormente en el estado de Quintana Roo. En la Tabla 1 se muestran las toneladas anuales de los productos acuícolas.

**Tabla 1.** Producción de los principales productos de la acuicultura de la península de Yucatán

Producto	Ton/año
Camarón	20,000
Tilapia	15,000
Ostión	8,000
Caracol rosado	2,500

Fuente: Adaptada de SAGARPA (2018).

## 7.2 Presencia de sustancias contaminantes en la península de Yucatán: metales pesados, microcontaminantes y pesticidas

La península de Yucatán es una región conocida por su gran riqueza natural, cultural y económica. Sin embargo, en los últimos años se ha convertido en un polo económico, lo que ha llevado a un incremento de la actividad antropogénica en diferentes áreas como son la agricultura, la industrial y la ganadera, entre otras. Sin embargo, se ha observado recientemente una preocupación por el incremento en la presencia de contaminantes, microcontaminantes, pesticidas y metales pesados en esta zona. Este fenómeno ha generado inquietud entre diferentes sectores de la sociedad (científicos, autoridades y pobladores locales), ya que puede tener consecuencias tanto para ambiente como para la salud de los habitantes. Diversos estudios han documentado la presencia de estos contaminantes en el agua subterránea de la península (Árcega-Cabrera et al., 2023, Derrien et al., 2015, Hernández Terrones et al., 2015). Ya que toda la región es una zona vulnerable debido a su geología cárstica, la cual facilita la infiltración de sustancias nocivas hacia el acuífero, poniendo en riesgo la salud humana y la fauna, debido a que es la única fuente de agua potable para la región.

Algunos estudios han señalado que la contaminación por metales pesados en los ecosistemas costeros de la península se debe principalmente a actividades antropogénicas como la agricultura, la ganadería y el turismo (Hernández Terrones et al., 2015, Árcega-Cabrera et al., 2023); por otra parte, el deterioro de los manglares de la región puede propiciar la liberación de metales pesados depositados en los sedimentos y su incorporación en la cadena trófica marina (Sandilyan & Kathiresan, 2014).



Aunado a la presencia de algunos metales pesados, también se ha detectado la presencia de microcontaminantes como pueden ser pesticidas y algunos productos farmacéuticos, los cuales pueden llegar al ambiente gracias a las actividades agrícolas, ganaderas y la disposición inadecuada de residuos provenientes tanto de estas actividades económicas como de la industria química que los produce (Árcega-Cabrera et al., 2023). Estos compuestos pueden tener efectos perjudiciales sobre los organismos acuáticos y terrestres, así como sobre la calidad del agua subterránea (Hernández Terrones et al., 2015, Árcega-Cabrera et al., 2023).

La contaminación del agua subterránea en la península de Yucatán es particularmente preocupante debido a su vulnerabilidad. Estudios han documentado la presencia de nitratos, cadmio y plomo en las aguas de cenotes, que son las principales salidas naturales del acuífero. (Derrien et al., 2015, Árcega-Cabrera et al., 2021). Esta contaminación se atribuye principalmente a una inadecuada falta de tratamiento de las aguas residuales industriales, así como a las actividades agrícolas y ganaderas en la región. Diversos autores han analizado la calidad del agua en diferentes zonas costeras de la península, encontrando evidencia de la descarga de aguas subterráneas contaminadas hacia los ecosistemas marinos. Esto ha generado preocupación por los potenciales impactos sobre los arrecifes de coral y otros hábitats costeros que son fundamentales para el turismo y la pesca en la región.

Entre los pesticidas reportados en la península de Yucatán se encuentran el diclorodifeniltricloroetano (DDT) y sus metabolitos, así como otros compuestos organoclorados como son el endosulfán y el heptacloro (Árcega-Cabrera et al., 2023, Hernández Terrones et al., 2015). Estos pesticidas por sus propiedades fisicoquímicas los hacen persistentes en el ambiente y se bioacumulan en la cadena trófica, representando un riesgo para la vida silvestre y la salud humana.

Otro grupo de contaminantes que han sido detectados son los residuos farmacéuticos y de cuidado personal. Estos compuestos pueden tener efectos adversos sobre los organismos acuáticos, inclusive a bajas concentraciones, y pueden llegar a afectar la calidad del agua potable (Árcega-Cabrera et al., 2023, Derrien et al., 2015, Hernández Terrones et al., 2015). Entre los contaminantes farmacéuticos se han reportado la presencia de antibióticos, analgésicos y antiinflamatorios (Hernández Terrones et al., 2015), mientras que entre los contaminantes de cuidado personal se incluyen fragancias, conservantes y filtros solares (Árcega-Cabrera et al., 2021, Derrien et al., 2015, Hernández Terrones et al., 2015).

## **7.3 Detección de contaminantes en productos pesqueros**

### **7.3.1 Metales pesados**

Estudios recientes han reportado la presencia de plomo, cadmio, mercurio y arsénico en peces, crustáceos y moluscos de la península de Yucatán, con niveles que en algunos casos superan los límites máximos permisibles para consumo humano (Sandilyan & Kathiresan, 2014, Covarrubias et al., 2018, Hernández Terrones et al., 2015). Estos metales, por sus propiedades fisicoquímicas, se pueden concentrar en varios tejidos de los organismos, pero las más altas concentraciones se han encontrado en el hígado y los riñones debido a su actividad metabólica y almacenamiento, (Covarrubias et al., 2018, Hernández Terrones et al., 2015, Árcega-Cabrera et al., 2023, Sandilyan & Kathiresan, 2014). Estos datos representan un potencial riesgo para la salud de los humanos al consumir estos productos pesqueros. Es primordial tener un sistema de monitoreo y control de la contaminación por metales pesados en los productos pesqueros de esta región, a fin de garantizar la inocuidad de estos y la sustentabilidad de la actividad pesquera, ya que dentro de las actividades del PRONAAI #321295 se han encontrado cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc en residuos de canané (*Ocyurus chrysurus*), chac-chí (*Haemulon plumieri*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*).

### **7.3.2 Productos farmacéuticos y de cuidado personal**

Varios tipos de compuestos farmacéuticos se han detectado en los productos pesqueros de la región de la península de Yucatán. Entre estas moléculas se encuentran antibióticos, analgésicos y antiinflamatorios, los cuales se han encontrado en organismos acuáticos como son peces, camarones y bivalvos (Perera-Ríos et al., 2021, Árcega-Cabrera et al., 2023). Estos compuestos, por sus propiedades fisicoquímicas, pueden bioacumularse en varias partes del cuerpo de estos organismos como son el músculo y las vísceras. Algunos de los contaminantes farmacéuticos que se han identificado en mayor medida son el ibuprofeno, la carbamazepina y algunos antibióticos (Lange et al., 2006, Perera-Ríos et al., 2021, Árcega-Cabrera et al., 2023). Entre los antibióticos detectados están las tetraciclinas, quinolonas y sulfamidas (Perera-Ríos et al., 2021, Lange et al., 2006), los cuales han sido detectados en concentraciones que pueden generar un riesgo para la salud.

Algunos compuestos de aseo personal como fragancias, conservantes y filtros solares están actualmente catalogados como contaminantes emergentes debido a su ubicua presencia en el medio ambiente y potencial impacto en los ecosistemas acuáticos (Derrien et al., 2015). Estos productos de consumo frecuentemente son desechados por el sistema de alcantarillado, lo que favorece su eventual llegada a los cuerpos de

agua superficiales y subterráneos. Particularmente en la península de Yucatán, la única fuente de agua dulce es el acuífero cárstico, altamente vulnerable a la contaminación debido a la naturaleza porosa y permeable del suelo (Hernández Terrones et al., 2015, Derrien et al., 2015, Perera-Ríos et al., 2021, Árcega-Cabrera et al., 2023), lo que hace que entren en contacto con la fauna acuática y debido a sus propiedades lipofílicas y bioacumularías puedan terminar formando parte de la cadena alimentaria y llegar a los productos pesqueros, alojándose en diferentes órganos y tejidos como son el músculo, hígado y grasa corporal (Perera-Ríos et al., 2021, Derrien et al., 2015, Árcega-Cabrera et al., 2023).

### **7.3.3. Pesticidas**

Los pesticidas organoclorados persistentes (OCPs) han sido encontrados en la península de Yucatán (Zambrano-Soria et al., 2023, Perera-Ríos et al., 2021), especialmente en la zona norte y centro del estado. Pesticidas como el DDT han sido detectados en organismos acuáticos como camarones y peces (Perera-Ríos et al., 2021, Albert & Osten, 1988). En donde se ha observado que se pueden bioacumular en partes del cuerpo como son el hígado y el músculo (Albert & Osten, 1988).

Por otra parte, los metabolitos del DDT (p,p'-DDE y p,p'-DDD) han sido los compuestos que más frecuentemente han sido detectados en los productos pesqueros de esta zona (Albert & Osten, 1988), los cuales han sido encontrados en peces, camarones y moluscos bivalvos que habitan en los ecosistemas costeros de la península (Zambrano-Soria et al., 2023, Árcega-Cabrera et al., 2023). Las concentraciones de estos metabolitos pueden representar un riesgo para los consumidores, ya que estos compuestos se acumulan en partes del cuerpo como el hígado y el músculo (Perera-Ríos et al., 2021,).

Puede resultar curioso que se encuentren residuos de pesticidas en productos pesqueros; sin embargo, este fenómeno se puede explicar en la península de Yucatán a través de la práctica agrícola de la región, del suelo cárstico y del sistema de cenotes que es típico de la zona. Temas que abordaremos a continuación.

## **7.4 Propagación de contaminantes a través del sector agrícola**

La agricultura ha tenido un papel importante satisfaciendo las necesidades alimentarias de la humanidad a lo largo de la historia. En la península de Yucatán, donde se desarrolló parte de la interesante cultura Maya, el sector agrícola representó el sustento y desarrollo de esta civilización. La milpa maya, como se le conoce al sistema de policultivo, manejado por las familias, ha sido tradicionalmente aplicado a los suelos pedregosos de la región, en los cuales se cultiva como eje central el maíz (*Zea mays*),

variedades de frijol (*Phaseolus spp.*) y calabaza (*Cucurbita spp.*) entre otras hortalizas (Terán & Rasmussen, 2009). Sin embargo, diversos factores como el crecimiento demográfico a nivel mundial contribuyeron a incrementar la producción agrícola para poder abastecer de alimentos a la población (Finley, 2020). Por lo que la agricultura en el mundo fue cambiando y por lo tanto también en la península de Yucatán se adoptaron nuevos sistemas tecnológicos de cultivos.

La producción agrícola actual en México ha aumentado en las últimas décadas, desde 1990, de acuerdo con las estadísticas registradas de producción agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). La península de Yucatán contribuyó en la producción agrícola nacional con 1,191,232.09 hectáreas sembradas en 2023, aumentando en 62.85% su superficie de siembra, pues en 1990 se sembraron 731,479 hectáreas. El estado de Campeche ha sido el que más ha aumentado su superficie sembrada, en un 161.67%, Quintana Roo en un 51.37% y Yucatán en un 39.47%. Entre los principales alimentos hortofrutícolas que se siembran en la región se pueden encontrar la naranja, limón, pepino, toronja, caña de azúcar, sandía, papaya, mago y piña (SIAP, 2024).

Con el incremento en la superficie de siembra también aumentó el uso de agroquímicos, buscando una mayor producción hortofrutícola que abasteciera la demanda creciente poblacional (Lykogianni et al., 2021). Entre estos agroquímicos podemos encontrar a los plaguicidas o también conocidos como pesticidas, que protegen a los cultivos de insectos, hierbas no deseadas, hongos y otras plagas que pueden ocasionar pérdidas parciales o totales en la producción agrícola. De acuerdo con la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), organismo que regula la utilización de plaguicidas en México, un plaguicida se define como:

Una sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, así como las sustancias defoliantes y las desecantes. (2016)

Además, estos agroquímicos pueden tener un objetivo dependiendo de la plaga a la que van dirigidos; por mencionar a algunos: insecticidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, acaricidas, alguicidas, larvicidas, repelentes, desecantes. Pueden estar clasificados en varios grupos, aunque lo más común a nivel mundial es hacerlo con base a su estructura química. En esta clasificación podemos encontrar a los orgánicos, que se subdividen en organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides (Chandra Yadav & Linthoingambi Devi, 2017).

En la península de Yucatán los plaguicidas más utilizados en la producción agrícola son los organoclorados, DDT, heptacloro, lindano, aldrina, endrina, diedrina, endosulfán (García Cruz et al., 2023). Lamentablemente, el uso excesivo e indis-

criminado de estos plaguicidas sintéticos ha dado lugar a su bioacumulación y dispersión que va desde los suelos, drenándose a las aguas subterráneas o a través de la atmósfera, dando lugar a una propagación generalizada de contaminantes, que se encuentra relacionada con riesgos para la salud humana, animal y ecológica (Boonupara et al., 2023; Polanco-Rodríguez, 2018).

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud ha dado a conocer que los plaguicidas pueden ser tóxicos y representar un peligro para la salud humana y de los animales. Los plaguicidas fueron clasificados desde extremadamente peligrosos (Ia), altamente peligrosos (Ib), medianamente peligrosos (II), ligeramente peligrosos (III) y los que no presentan un peligro agudo (U), de acuerdo con la determinación de la dosis letal media ( $DL_{50}$ ) de cada plaguicida en roedores vía epidérmica y oral (Who, 2020). La exposición humana a los plaguicidas relacionada con peligro a la salud puede ser a través de la ingesta, inhalación o contacto dérmico. La ingesta se puede dar al beber agua, consumir alimentos o partículas de suelo residencial contaminado por plaguicidas; la inhalación, por aire, polvo del suelo o vapor industrial contaminados. La exposición dérmica se puede dar a través del contacto con el agua contaminada al nadar, ducharse o a través de la lluvia, el aire, productos agrícolas o el suelo (Li & Jennings, 2017).

Como se mencionó brevemente en secciones anteriores, la península de Yucatán posee una geología superficial cárstica que se caracteriza por tener un grosor aproximado de 20 cm, conformado principalmente por un subsuelo de roca caliza porosa, que forma conductos y cuevas facilitando la filtración de agua. Este tipo de suelo permite la permeación de los residuos de plaguicidas en la producción agrícola y ocasiona contaminación de cenotes y ríos subterráneos que desembocan en las costas, propagando la presencia de plaguicidas en playas, manglares y por lo tanto a los organismos que en ellos habitan (Divulgación de la Ciencia, 2022; Polanco-Rodríguez, 2018).

Se han realizado estudios para la detección de pesticidas más allá del sector agrícola en la península de Yucatán confirmando su propagación y contaminación en humanos, otras especies y aguas subterráneas. En un estudio se detectó la presencia de plaguicidas organoclorados en muestras de sangre de mujeres que vivían en área ganadera y en área metropolitana de Yucatán. Se encontró mayor presencia en las muestras de sangre de mujeres en áreas ganaderas, explicando que pudo haber sido por la infiltración del plaguicida al agua potable y proponen un monitoreo por los índices elevados de cáncer de cuello uterino que pudieran estar siendo ocasionados por los plaguicidas, aunque se requieren más evidencias (Polanco Rodríguez et al., 2017). Así como también en el estudio de Perera-Rios et al. (2021) detectaron ingredientes activos de diferentes pesticidas ( $\beta$ -BHC, clorotalonil, malatión, aldrín heptacloro y clorfrifós-metilo) en el agua doméstica en Ticul, Yucatán (Perera-Rios et al.,

2022). La propagación de plaguicidas en otras especies se observó en la investigación de Escamilla-López et al. (2020), en la cual reportaron la presencia de plaguicidas organoclorados ( $\Sigma$ Dienes,  $\Sigma$ DDTs,  $\Sigma$ Endosulfans y  $\Sigma$ HCH) en poblaciones de zari-güeya de Virginia (*Delphis virginiana*), en diferentes municipios de Yucatán. En otro estudio realizado por Salvarani et al. (2023) se detectaron plaguicidas organoclorados ( $\Sigma$ Dienes y  $\Sigma$ HCH) en la sangre y los huevos de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) que anidaban en el campamento tortuguero de Punta Xen, Campeche (Escamilla-López et al., 2020; Salvarani et al., 2023).

La filtración de los plaguicidas que lleva a la contaminación de aguas subterráneas se detectó en los estudios de Rendón-Von Osten y Dzúl-Caamal (2017), en el cual se hallaron presencia del herbicida glifosato (N-fosfonometil glicina), aunque también en agua embotellada y en muestras de orina en el municipio de Hopelchén, Campeche. En el estudio de Cejudo et al. (2021) detectaron la presencia del herbicida 2,4-diclorofooxiacético (2,4) en aguas subterráneas tanto en Tizimin, Sucilá y Panabá, Yucatán y en Benito Juárez, Quintana Roo. En muestras de agua de 20 cenotes de diferentes municipios de Yucatán (Abalá, Buctzotz, Celestún, Chocholá, Dzilám G., Izamal, Kinchil, Kopomá, Sacalúm, Tekit, Tecóh) se detectaron la presencia de pesticidas organoclorados como heptacloro,  $\alpha$ -lindano,  $\delta$ -lindano y  $\gamma$ -lindano (Rendón-Von Osten & Dzúl-Caamal, 2017; Cejudo et al., 2021).

Si bien el uso de los pesticidas contribuyó a obtener una mayor producción agrícola para poder abastecer a una población demandante en las últimas décadas, también por su uso inadecuado ocasionó una contaminación emergente al ecosistema que nos incluye. Hay esfuerzos para evitar el uso de pesticidas en la siembra y monitoreos para el cuidado de la salud expuesta a los peligros ocasionados por los pesticidas. Para el abasto de alimentos en una población creciente se tienen que buscar alternativas para mantener el equilibrio con el cuidado del medio ambiente. Recuperar prácticas tradicionales, como la milpa maya, podría representar una interesante alternativa, ya que se le considera una base para el diseño de sistemas de producción de cultivos más sustentables en México (SADER, 2020). Además, el uso excesivo de los plaguicidas hoy en día ya presenta consecuencias muy serias, como es el caso de la muerte excesiva de abejas en el sector apícola. Este caso en particular es de vital relevancia y preocupación, ya que no solo sirve de ejemplo del daño mortal que pueden llegar a tener estas sustancias, sino que disminuye la población de una especie esencial para el ecosistema.



## 7.5 Consecuencias de la contaminación en la península de Yucatán y vaticinio de las problemáticas por venir: caso de la mortandad de abejas

El sector apícola de la península de Yucatán se destaca por ser la región con la mayor producción de miel de abeja *Apis mellifera*, representando el 40% de la miel en México. Hasta 2022, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), se produjeron más de 21,000 toneladas de miel en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo (SIAP, 2024). Yucatán destacó como el principal estado productor de miel en México y la entidad con más ventas internacionales, principalmente dirigidas a Estados Unidos, Alemania y Suiza, generando ingresos por un total de 21.3 millones de dólares (Economía, n.d.). Esta región peninsular se caracteriza por la meliponicultura, una práctica heredada de la cultura maya para la crianza de la abeja sin aguijón, especialmente la especie endémica *Melipona beecheii*. La miel producida por meliponicultura es altamente valorada en el mercado gracias a sus destacadas propiedades medicinales. Esto resulta en un precio muy superior en comparación al de la miel obtenida de las abejas *Apis mellifera*, convirtiéndose así en una importante fuente de ingresos para los habitantes de la región maya (Medio Ambiente, 2023). Por otra parte, se debe tomar en cuenta que tanto la *Apis mellifera* como la *Melipona beecheii* juegan un papel importante en el ecosistema al ser polinizadores que, junto con otros insectos, fortalecen la biodiversidad de plantas silvestres y de cultivos agrícolas. Por lo tanto, dentro de la apicultura, además de la obtención de miel, se encuentra el servicio de polinización que contribuye a la productividad del sector agrícola de manera indirecta a través de la fertilización de cultivos. Entre los principales cultivos beneficiados por la polinización en esta región de la península de Yucatán destacan el mango, chile verde, limón, sandía, soja, jitomate y naranja. Por lo anterior, se visibiliza la relación entre el sector agrícola y la apicultura es simbiótica, beneficiándose mutuamente en donde la apicultura mejora la producción de alimentos a través de la polinización y el sector agrícola, a su vez, contribuyen al bienestar de las abejas al proporcionarles un entorno adecuado.

A pesar de lo anterior, en los últimos 40 años el sector apícola de la región se ha enfrentado a diversos problemas socioambientales causados por el propio sector agrícola, lo que ha resultado en una disminución de la producción de miel cada año y dificultades para mantener esta práctica apícola. Esta problemática se originó a partir de la autorización de cultivos adecuados para la maquinaria en la década de 1980. Lo anterior generó la llegada de grupos de menonitas a la región peninsular con técnicas de producción industrializadas, lo que resultó en una fragmentación del ecosistema y un cambio significativo en el paisaje debido a la alta tasa de deforestación.

Posteriormente, el sector agrícola menonita recibió apoyo de un programa federal<sup>28</sup> para promover la siembra de paquetes tecnológicos agroindustriales<sup>29</sup>, destacando especialmente el cultivo de semillas de soja transgénica (Negrín Muñoz, E., 2018). Por último, el uso indiscriminado de plaguicidas debido a la intensificación agrícola, situación que se ve agravada por la aplicación de plaguicidas altamente peligrosos (PAP) (Imagen Agropecuaria, 2022).

La aplicación de plaguicidas en la agricultura de la región representa la principal amenaza para las abejas y otros polinizadores. El uso de herbicidas reduce la disponibilidad de recursos florales esenciales para la supervivencia de los polinizadores. Como resultado, las abejas deben recorrer distancias de hasta 6 km en busca de néctar, lo que las expone a prácticas humanas y a una mayor exposición a plaguicidas, poniéndolas en una situación de vulnerabilidad (Belsky, J., & Joshi, N. K., 2020).

Por otra parte, la aplicación de insecticidas provoca, en la mayoría de los casos, la muerte directa de abejas debido a la intoxicación aguda, lo que tiene un impacto en la diversidad y abundancia de los polinizadores afectando negativamente al sector apícola. Recientemente se ha abordado el término de Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP), plaguicidas reconocidos por la OMS/FAO por cumplir varios criterios que los identifican como plaguicidas con efectos agudos o crónicos para la salud y/o el medio ambiente<sup>30</sup> (FAO, n.d.). Así mismo, la Red Internacional de Acción contra los Plaguicidas (PAN Int., por sus siglas en inglés) ha incluido otros criterios para la identificación destacando aquellos que son altamente tóxicos para las abejas (PAN Int., n.d.). Según estos criterios, hasta la fecha se han reconocido 278 PAP basados en esta lista.

---

28 Entre 1988 y 2005, el Gobierno Federal de México, a través de la Secretaría de Agricultura, con la aprobación vinculante de la SEMARNAT, otorgó 330 permisos para la liberación al ambiente de semillas transgénica.

29 Los paquetes tecnológicos agroindustriales son conjuntos integrados de tecnologías, técnicas y prácticas agrícolas diseñadas para optimizar la producción y la eficiencia en el sector agroindustrial. Estos paquetes suelen incluir métodos de cultivo, uso de semillas transgénicas resistentes a plaguicidas, entre otros elementos

30 Los criterios establecidos para la clasificación de plaguicidas incluyen la conformidad con las clases Ia o Ib de la Clasificación Recomendada por la OMS, criterios de carcinogenicidad, mutagenicidad y toxicidad reproductiva según el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). Además, se consideran los ingredientes activos enumerados en convenios internacionales como el Convenio de Estocolmo, el Convenio de Rotterdam y el Protocolo de Montreal.



Figura 1. Notas periodísticas que documentan la mortandad de abejas en la península de Yucatán. Fuente: Adaptado de Campeche: denuncian muerte masiva de abejas por pesticidas, por La Jornada, 2024, <https://www.jornada.com.mx/2024/01/28/estados/020n1est> ; Denuncian segunda oleada de muerte masiva de abejas en Hopelchén, por La Coperacha, 2024, <https://lacoperacha.org.mx/denuncian-segunda-oleada-muerte-masiva-abejas-hopelchen-2024/> ; Fumigación causa mortandad masiva de abejas en Campeche y Quintana Roo, por Quadratin Quintana Roo, 2023, <https://quintanaroo.quadratin.com.mx/fumigacion-causa-mortandad-masiva-de-abejas-en-campeche-y-quintana-roo/> ; Fumigaciones de menonitas provocan mortandad de abejas, por Telemar Campeche, 2024, <https://telemarcampeche.com/fumigaciones-de-menonitas-provocan-mortandad-de-abejas/> ; Mueren millones de abejas en Quintana Roo por fumigación con químico tóxico, por el Financiero, 2018, <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/mueren-300-colmenas-de-abejas-en-quintana-roo-por-fumigacion-con-quimico-toxico/> ; Uso de glifosato acaba con las abejas, por La Jornada Veracruz, 2024, <https://jornadaveracruz.com.mx/uso-de-glisofato-acaba-con-las-abejas/>.

Al respecto, un estudio preliminar por parte de El Colegio de la Frontera Sur identificó el uso de 75 plaguicidas diferentes en la región de la península, de los cuales el 27 son considerados PAP (Vides-Borell, E., 2024). Aunado a esto, un estudio exploratorio realizado en Hopelchén, Campeche, para la determinación de multiresiduos de plaguicidas en hortalizas reveló que el 53% de los plaguicidas identificados son clasificados como PAP (datos aun no publicados).

En este contexto, desde el 2023 hasta la fecha se han reportado la muerte de más de 7,400 colmenas de abejas en diversas regiones de la península debido a la intoxicación por plaguicidas, principalmente neonicotinoides y fipropil, clasificados como PAP, y que se encuentran prohibidos en otros países, justamente por su toxicidad hacia las abejas. Un caso reciente fue la pérdida de aproximadamente 3600 colme-

nas, reportado en enero de este año (2024), justo después del apoyo gubernamental para repoblar las colmenas en Hopelchén, en diciembre de 2023. Sin embargo, esta problemática de los plaguicidas en la región no es reciente. El constante desafío ha permitido que la población afectada, apicultores y locatarios se organicen y exijan medidas en la regulación y control en el uso de estos plaguicidas en la región. Como resultado de esta resistencia, el Colectivo de Comunidades Mayas de los Chenes logró en 2023 una suspensión definitiva contra los actos y omisiones que causaron la mortandad de los insectos melíferos, asimismo, declarar judicialmente a las abejas como sujetos de derechos y a los pueblos mayas como sus guardianes (Kolel Kab, 2023). Esto permitirá a las abejas tener un reconocimiento legal a ciertos derechos y protecciones que antes no tenían, estableciendo reglas y normativas para su cuidado y preservación y garantizando el bienestar de las abejas, evitando prácticas que puedan perjudicar su salud y supervivencia, como lo es el uso de plaguicidas altamente peligrosos en la agricultura. Además, se ha desarrollado un protocolo de acción colaborativo entre el sector apícola, la academia, científicos y la sociedad civil para abordar la mortandad de abejas debido al uso de plaguicidas. Este protocolo busca ser reconocido por las autoridades competentes y lograr utilizarlo como una herramienta para que los apicultores puedan identificar responsabilidades, reducir riesgos y recibir apoyo en caso de incidentes relacionados con la mortalidad de abejas (Gómez González, I., 2024).

Con lo anterior, visibilizamos la interacción entre la actividad agrícola y la apicultura en la península de Yucatán. Es esencial para el equilibrio ecológico y la economía regional. Sin embargo, la amenaza que representan los plaguicidas para las abejas y otros polinizadores requiere una acción inmediata y coordinada. Es imperativo continuar con estas iniciativas y promover prácticas agrícolas sostenibles que salvaguarden la salud de las abejas y el bienestar del ecosistema en su conjunto. A través del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) se han impulsado iniciativas en este sentido, tales como los proyectos PRONAH y los PRONACE. Dentro de este panorama nace el Laboratorio Nacional CONAHCYT de Toxicología Socioambiental (LANCTOXS), derivado del PRONACE de agentes tóxicos, que dentro de sus funciones se encuentran el detectar y monitorear diversos contaminantes ambientales en territorio mexicano mediante una articulación coordinada de capacidades técnicas e infraestructura analítica de primer nivel en materia toxicológica.

Además, la mortandad de abejas debería servirnos de advertencia para visualizar el impacto que tienen los contaminantes en nuestro entorno, y de esta forma buscar alternativas más saludables que sustituyan su uso. Otras especies, como pescados y mariscos, también se ven afectadas por la contaminación y aunque no son dañados con concentraciones lo suficientemente elevadas para provocar su muerte instantánea, sí bioacumulan estos compuestos que posteriormente pasan al ser humano al

consumir la especie contaminada. Por lo tanto, la contaminación ambiental es una problemática que nos afecta y concierne a todos los seres vivos. Los humanos como causantes de ella tenemos la responsabilidad de actuar para prevenir y corregir esta problemática antes de que sea demasiado tarde.

## **7.6 Conclusión**

La mortandad de abejas debería servirnos de advertencia para visualizar el impacto que tienen los contaminantes en nuestro entorno, y de esta forma buscar alternativas más saludables que sustituyan su uso. Otras especies, como pescados y mariscos, también se ven afectadas por la contaminación que se genera no solo en su entorno, sino en otros sectores productivos como la agricultura y aunque no son dañados con concentraciones lo suficientemente elevadas para provocar su muerte instantánea, sí bioacumulan estos compuestos que posteriormente pasan al ser humano al consumir la especie contaminada. Por lo tanto, la contaminación ambiental es una problemática que nos afecta y concierne a todos los seres vivos. Nosotros como causantes de ella tenemos la responsabilidad de actuar para prevenir y corregir esta problemática antes de que sea demasiado tarde.

El proyecto PRONAI 321295 ha tenido un enfoque en el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas. Sin embargo, aunque el involucramiento con contaminantes ambientales ha sido inherente a la naturaleza del proyecto debido a la relevancia de estos en la salud humana y la inocuidad alimentaria, el propósito y las actividades del proyecto no han permitido tener una participación más prominente en la aportación de soluciones de remediación o prevención ambiental. No obstante, este acercamiento a la problemática ha permitido que miembros del colectivo BARPYA puedan integrarse activamente al LANCTOXS para contribuir a la mejora de medidas regulatorias para el uso y control de sustancias contaminantes, promoviendo prácticas sostenibles y colaborando con entidades gubernamentales para fomentar la economía circular.

## Referencias

- Albert, L. A. & Osten, J. R. (1988). Contaminación por compuestos organoclorados en algunos alimentos procedentes de una región de México. *Revista de Saúde Pública*, 22(6), 500-506. <https://doi.org/10.1590/s0034-89101988000600006>
- Arcega-Cabrera, F., León-Aguirre, K., Enseñat-Soberanis, F., Giácoman Vallejos, G., Rodríguez Fuentes, G., Ocegüera Vargas, I., Lamas Cosío, E. & Simões, N. (2023). Use of Microbiological and Chemical Data to Evaluate the Effects of Tourism on Water Quality in Karstic Cenotes in Yucatan, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 111(1). <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03761-1>
- Arcega-Cabrera, F., Sickman, J O., Fargher, L F, Herrera Silveira, J A., Lucero, D M., Ocegüera Vargas, I., Lamas Cosío, E. & Robledo Ardila, P A. (2021). Groundwater Quality in the Yucatan Peninsula: Insights from Stable Isotope and Metals Analysis. *Groundwater*, 59(6), 878-891. <https://doi.org/10.1111/gwat.13109>
- Belsky, J. & Joshi, N. K. (2020). Effects of Fungicide and Herbicide Chemical Exposure on Apis and Non-Apis Bees in Agricultural Landscape. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00081>
- Boonupara, T., Udomkun, P., Khan, E. & Kajitvichyanukul, P. (2023). Airborne Pesticides from Agricultural Practices: A Critical Review of Pathways, Influencing Factors, and Human Health Implications. *Toxics*, 11 (10), 858. <https://doi.org/10.3390/toxics11100858>
- Campeche: Denuncian muertes masivas de abejas. (28 de enero de 2024). *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2024/01/28/estados/020n1est>
- Cejudo, E., Leal-Bautista, R. M., Smith, D. N. I. & Grimaldo-Hernández, C. D. (2021). Detection of 2, 4-D in groundwater in northeast of the Yucatan Peninsula. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1). <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2472>
- Chandra Yadav, I. & Linthoingambi Devi, N. (2017). *Pesticides Classification and Its Impact on Human and Environment*. En A. Kumar, J. C. Singhal, K. Techato, L. T. Molina, N. Singh, P. Kumar, P. Kumar, R. Chandra, S. Caprio, S. Upadhye, S. Yonemura, S. Y. Rao, T. C. Zhang, U. C. Sharma & Y. P. Abrol, *Environmental Science and Engineering* (pp.140-158). Springer.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (14 de julio de 2016). *Registros Sanitarios*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/registros-sanitarios#:~:text=Un%20plaguicida%20es%20cualquier%20substancia,forestal%2C%20as%20C3%AD%20como%20las%20substancias>
- Covarrubias, S. A., Torre, J. A. F. D. L., Maldonado-Vega, M., González, F. J. A. & Cabriales, J. J. P. (2018). Spatial Variability of Heavy Metals in Soils and Sediments of “La Zacatecana” Lagoon, Mexico. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-8, 9612412. <https://doi.org/10.1155/2018/9612412>
- Denuncian segunda oleada de muerte masiva de abejas en Hopelchén. (29 de enero de 2024). *La Coperacha*. <https://lacoperacha.org.mx/denuncian-segunda-oleada-muerte-masiva-abejas-hopelchen-2024/>
- Derrien, M., Cabrera, F. A., Tavera, N. L. V., Manzano, C. A. K. & Vizcaino, S. C. (2015). Sources and distribution of organic matter along the Ring of Cenotes, Yucatan, Mexico: Sterol markers and statistical approaches. *Science of Total Environment*, 511, 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.053>



- Economía, Secretaría de Economía (s.f.). *Miel Natural: Intercambio comercial, compras y ventas internacionales, mercado y especialización* [conjunto de datos]. Recuperado el 8 de mayo de 2024. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/natural-honey>
- Escamilla-López, A., Ruiz-Piña, H. A. & Rendón-von Osten, J. (2020). Organochlorine Pesticides Residues in Blood of Peridomestic Populations of Virginia Opossum (*Didelphis virginiana*) from Ex-Henequen Rural Localities of Yucatan, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 78(2), 303–309. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00685-y>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (s.f.). *Plant Production and Protection Division: Highly Hazardous Pesticides (HHPs). NSP - Highly Hazardous Pesticides (HHPs)*. Recuperado el 17 de mayo de 2024. <https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/code/hhp/en/>
- Finley, J. W. (2020). Evolution and Future Needs of Food Chemistry in a Changing World. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 1295612971. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07774>
- Fumigación causa mortandad masiva de abejas en Campeche y Quintana Roo. (15 de abril de 2023). *Quadratin Quintana Roo*. <https://quintanaroo.quadratin.com.mx/fumigacion-causa-mortandad-masiva-de-abejas-en-campeche-y-quintana-roo/>
- Fumigaciones de menonitas provocan mortandad de abejas. (12 de febrero de 2024). *Telemar Campeche*. <https://telemarcampeche.com/fumigaciones-de-menonitas-provocan-mortandad-de-abejas/>
- García Cruz, N. U., Jiménez Morales, K., Cuevas Bernardino, J. C., Herrera Pool, E., Pacheco, N. & Ayora Talavera, T. (2023). Plaguicidas: Generalidades y Efectos en el Ambiente. En N. A. Pacheco López, J. C. Cuevas Bernardino & A. V. Elorza (eds.), *Estado actual del uso de pesticidas en productos agropecuarios de la península de Yucatán y su impacto en la sociedad: retos y perspectivas* (pp. 15-34). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_654d133b2e59f.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_654d133b2e59f.pdf)
- García-Cruz, U., Valdivia-Ribera, S. & Pacheco, N. (2022). Presencia de contaminantes emergentes y metales en la península de Yucatán: efectos e implicaciones a la salud ambiental y humana. *Divulgación de la Ciencia*. <http://blog.enesmerida.unam.mx/presencia-de-contaminantes-emergentes-y-metales-en-la-peninsula-de-yucatan-efectos-e-implicaciones-a-la-salud-ambiental-y-humana/#:~:text=Entre%20las%20sustancias%20contaminantes%20reportadas%20en%20la%20pen%C3%ADnsula%2C,la%20regi%C3%B3n%2C%20detect%C3%A1ndose%20en%20cenotes%2C%20playas%20y%20manglares>
- Gómez González, I., Vandame, R., Vides Borrell, E., Ramírez, O. & Linares Arredondo, D. (2024). *Protocolo de acción ante la muerte de abejas provocada por la aplicación de plaguicidas ¿cómo prevenir y qué hacer?* [Archivo PDF] <https://abejasmx.com/wp-content/uploads/2024/03/intoxabejasprotocolo.pdf>
- Hernández Terrones, L., Null, K A., Ortega-Camacho, D. & Paytan, A. (2015). Water quality assessment in the Mexican Caribbean: Impacts on the coastal ecosystem. *Continental Shelf Research*, 102, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.015>
- Hallan Plaguicidas Altamente Peligrosos en 5 cultivos de Hopelchén, Campeche. (2022). *Imagen Agropecuaria*. <https://imagenagropecuaria.com/2022/hallan-plaguicidas-al>

- tamente-peligrosos-en-5-cultivos-de-hopelchen-campeche/#:~:text=Cinco%20cultivos%20agr%C3%ADcolas%2C%20chile%2C%20papaya
- Kolel Kab, Alianza Maya por las Abejas Kabnaloon, & Colectivo de Comunidades Mayas de los Chenes. (2023). *Otorgan suspensión definitiva a favor de abejas y comunidades mayas de Hopelchén*. [Archivo PDF] <https://desinformemonos.org/wp-content/uploads/2023/07/Boletin-suspension-definitiva.pdf>
- Lange, H D., Noordoven, W., Murk, A J., Lürling, M. & Peeters, E. (2006). Behavioural responses of *Gammarus pulex* (Crustacea, Amphipoda) to low concentrations of pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology*, 78(3), 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.03.002>
- Li, Z., & Jennings, A. (2017). Worldwide regulations of standard values of pesticides for human health risk control: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 826. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070826>
- Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F. & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of the Total Environment*, 795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625>
- Mueren millones de abejas en Quintana Roo por fumigación con químico tóxico. (17 de agosto de 2018). *El Financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/mueren-300-colmenas-de-abejas-en-quintana-roo-por-fumigacion-con-quimico-toxico/>
- Negrín Muñoz, E. (2018). Violación del derecho a la consulta indígena: siembra de soja transgénica en comunidades mayas del estado de Campeche, México / Violation of the indigenous rights to be consulted: transgenic soy bean sowing in Mayan communities from the state of Campeche, Mexico. *RICSH Revista Iberoamericana de Las Ciencias Sociales Y Humanísticas*, 7(13), 51–71. <https://doi.org/10.23913/ricsh.v7i13.140>
- Organización Mundial de la Salud. (1 de mayo 2020). *Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240005662>
- Pech-Puch, D., Pérez-Povedano, M., Lenis-Rojas, O A., Rodríguez, J. & Jiménez, C. (2020). Marine Natural Products from the Yucatan Peninsula. *Marine Drugs*, 18(59) <https://doi.org/10.3390/md18010059>
- Perera-Ríos, J., Ruiz-Suarez, E., Bastidas-Bastidas, P D J., May-Euán, F., Uicab-Pool, G D L Á., Leyva-Morales, J B., Reyes Novelo, E. & Pérez Herrera, N. (2021). Agricultural pesticide residues in water from a karstic aquifer in Yucatan, Mexico, pose a risk to children's health. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(10), 2218-2232. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1950652>
- Pesticide Action Network. (s.f.). *Pesticides don't respect national borders*. Recuperado el 29 de abril de 2024. <https://pan-international.org/>
- Polanco Rodríguez, Á. G., Riba López, M. I., DelValls Casillas, T. Á., Araujo León, J. A., Mahjoub, O. & Prusty, A. K. (2017). Monitoring of organochlorine pesticides in blood of women with uterine cervix cancer. *Environmental Pollution*, 220, 853–862. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.068>
- Polanco-Rodríguez, A. G. (2018). Impact of the Pesticides in the Environment and Public Health: The Case of Yucatan, Mexico. *International Archives of Public Health and*

- Community Medicine*, 2(1). <https://clinmedjournals.org/articles/iaphcm/international-archives-of-public-health-and-community-medicine-iaphcm-2-005.pdf?jid=iaphcm>
- Rendón-Von Osten, J. & Dzul-Caamal, R. (2017). Glyphosate residues in groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive agriculture localities: A survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph14060595>
- Sandilyan, S., & Kathiresan, K. (2014). Decline of mangroves – A threat of heavy metal poisoning in Asia. *Ocean & Coastal Management*, 102, 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.09.025>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (11 de junio 2018). ACUERDO por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5525712&fecha=11/06/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525712&fecha=11/06/2018).
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Milpa: el corazón de la agricultura mexicana*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/milpa-el-corazon-de-la-agricultura-mexicana?idiom=es>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *La meliponicultura en México: un acercamiento a las prácticas tradicionales y a las perspectivas de su manejo contemporáneo*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/polinizadores>
- Salvarani, P. I., Vieira, L. R., Rendón-von Osten, J. & Morgado, F. (2023). Hawksbill Sea Turtle (*Eretmochelys imbricata*) Blood and Eggs Organochlorine Pesticides Concentrations and Embryonic Development in a Nesting Area (Yucatan Peninsula, Mexico). *Toxics*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/toxics11010050>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Producción Ganadera*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Terán, S. & Rasmussen, C. (2009). La milpa de los mayas. En *La milpa de los mayas* (2a ed., pp. 41–44). Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad de Oriente.
- Uso de glifosato acaba con las abejas. (22 de abril de 2024). *La Jornada Veracruz*. <https://jornadaveracruz.com.mx/uso-de-glisofato-acaba-con-las-abejas/>
- Vides-Borell, E., Gómez, I. & Vandame, R. (20 de mayo de 2024). 300 000 colmenas de abejas muertas: por un México sin plaguicidas. *Nexos* <https://medioambiente.nexos.com.mx/300-000-colmenas-de-abejas-muertas-por-un-mexico-sin-plaguicidas/>
- Zambrano-Soria, M., Toledo Ibarra, G A., Covantes Rosales, C E., Barajas-Carrillo, V W., Rios-Jiménez, I., Leyva-Morales, J B., Navidad-Murrieta, M S., Razura-Carmona, F F. & Girón Pérez, M I. (2023). Pesticide Levels in Shrimp on Mexican Coasts. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202305.0460.v1>



## Capítulo 8

# Microplásticos en peces

Rigoberto Rosas-Luis<sup>1,2</sup>, Jhoselin Alejandra Rovirosa-Barrera<sup>1</sup>, Alejandra del Rosario Álvarez-Verde<sup>1</sup>, Itzcalli Reyes-Chi<sup>1</sup>, Mayra Polett Gurrola<sup>1,2</sup>

Autor de correspondencia\*: riroluis@yahoo.com.mx

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14726781>

### Resumen

Los microplásticos son partículas con un tamaño entre 1 y 5 mm que se encuentran contaminando los ecosistemas marinos. Estas partículas se pueden encontrar flotando en el mar y los peces pueden confundirlas con comida o pueden ser ingeridas directamente cuando los peces consumen su alimento. El mar Caribe es uno de los más contaminados por residuos plásticos, esta contaminación está afectando a los peces que comemos. En los estómagos, en el hígado y en musculo de los pargos y otros peces se encontraron fibras de plástico de varios colores, principalmente de color azul. La presencia de fibras de plástico es alarmante, ya que los peces las están obteniendo del mar, después atraviesan a otros tejidos y se acumulan en el musculo del filete que después nos comemos. Al final de la cadena, los seres humanos también estamos consumiendo microplásticos que están contaminando el mar Caribe. Por lo tanto, es necesario iniciar con actividades de limpieza de nuestros mares para eliminar los plásticos y tener productos alimentarios saludables.

**Palabras clave:** microplásticos; peces óseos; tiburones; ambiente marino; Caribe mexicano.

---

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal. Avenida Insurgentes 330, Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

<sup>2</sup> IxM CONAHCYT-Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal. Avenida Insurgentes 330, Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

## 8.1 Introducción

Los microplásticos (MP) son definidos como aquellas partículas que miden menos de 5mm (Frias & Nash, 2019), pueden ser de tipo primarios, creados e introducidos en el medio ambiente como microperlas o microesferas de cremas exfoliantes, pastas dentales o limpiadores de maquillajes (Yao et al., 2019, Acosta-González et al. 2022), o del tipo secundarios que resultan de la fragmentación de plásticos grandes (Guzzetti et al., 2018). Los microplásticos se pueden degradar mediante condiciones de humedad, estrés mecánico, temperatura o exposiciones a la luz (Prokić et al., 2019). En los mares se pueden encontrar en sedimentos de los fondos, en el agua, arena y cubriendo las algas, pastos marinos, corales y dentro de los animales, afectando a las redes tróficas (Rosas-Luis 2016; Reyes-Bonilla et al., 2019; Maldonado-Saldaña et al., 2022; Zaragoza-Estrada et al. 2023). Debido a su tamaño, los animales filtrantes —peces y ballenas— pueden confundirlos fácilmente con plancton (Abreu et al., 2019). Dentro en el estómago, estos pueden liberarse, provocando alteraciones en las actividades autoinmunes, en la expresión o bioquímica sanguínea y daño de la estructura microscópica de los tejidos (Parker et al., 2021).

La presencia de microplásticos en los seres humanos se debe a la inhalación de aire y al consumo de mariscos y pescados contaminados (Correia-Prata, 2018; Saha & Saha, 2024). En la actualidad varios productos marinos que consumimos podrían estar contaminados con MP, es por ello por lo que uno de los objetivos del grupo de investigación de Ecología Trófica del Instituto Tecnológico de Chetumal es identificar su presencia en peces y tiburones, para conocer las afectaciones en los ecosistemas marinos e identificar problemas de salud en estos animales. Con el fin de apoyar con información que permita eliminar riesgos en la salud alimentaria humana, además de proporcionar datos para desarrollar regulaciones ambientales y aumentar la conciencia pública sobre la contaminación por plásticos.

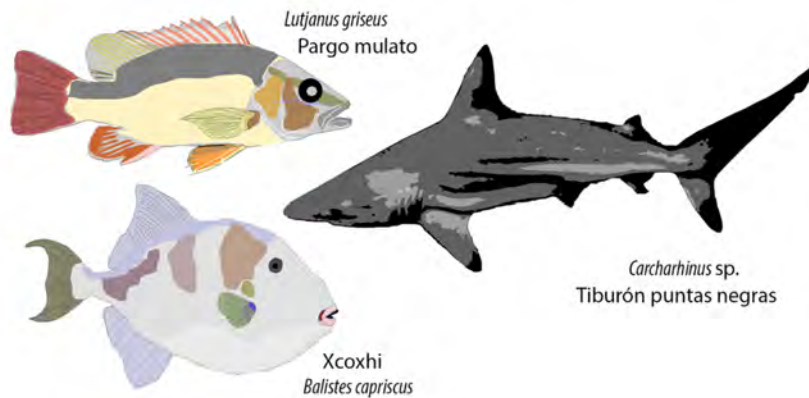
Durante el año 2023 se analizó la presencia de microplásticos en el contenido estomacal y tejidos (músculo e hígado) de las especies *Carcharhinus limbatus*, *Lutjanus griseus* y *Balistes capriscus* capturadas en Quintana Roo, debido a que estas especies se capturan en pesquerías artesanales, industriales y recreativas, principalmente por la carne. Se estima que *C. limbatus* se captura de manera sostenible, específicamente en aquellos sitios donde existen medidas de gestión, como el golfo de México, Estados Unidos, el Atlántico Norte, Australia y Sudáfrica (Rigby et al. 2021), mientras que para *L. griseus* y *B. capriscus* no se cuenta con información sobre su manejo pesquero.



## 8.2 Microplásticos en peces y tiburones

### 8.2.1 Los peces y tiburones como casos de estudio

Algunos peces que son ampliamente consumidos en México son los conocidos como pez ballesta, pejepuerco, xcoxih o cochino, y pertenecen a la familia *Balistidae*, y también los pargos de la familia *Lutjanidae* (FishBase, 2012). El pez ballesta (*Balistes capriscus*) se caracteriza por ser comprimido y robusto, con boca pequeña, piel gruesa y escamas grandes (Figura 1), mientras que el pargo mulato (*Lutjanus griseus*) tiene una cabeza ligeramente cóncava, un hocico puntiagudo y largo, con una característica franja oscura que va desde su hocico hasta el opérculo atravesando el ojo (Allen, 1985) (Fig. 1).



**Figura 1.** Los peces que estudiamos en el sur del Caribe mexicano *Lutjanus griseus*, *Balistes capriscus* y *Carcharhinus* sp. Fuente: elaboración propia.

En el caso de los tiburones, estos son peces que habitan en los océanos, son cartilaginosos, es decir que su esqueleto está compuesto de cartílago y no de hueso como en el caso de los peces óseos. Los tiburones pertenecen al grupo de los condricthyes (Chondrichthyes, del griego *khóndros*, “cartílago” y *ikhthys*, “pez”), y una de las familias de mayor importancia para el ser humano es la familia *Carcharhinidae* que incluye tiburones y cazones. En este grupo una especie relevante para las capturas en el Caribe es *Carcharhinus limbatus* conocido como tiburón de puntas o aletas negras, y se distingue por tener todas sus aletas con puntas negras visibles (Figura 1).

### 8.2.2 ¿Cómo se estudian los microplásticos en peces y tiburones?

Para estudiar los microplásticos en el contenido estomacal se usa la extracción directa: se hace un corte desde la boca del estómago hacia el extremo final, el contenido se filtra con un colador de malla fina (1 mm) y agua, después el residuo filtrado se

coloca en una caja Petri de vidrio y se observa al estereoscopio (Figura 2). Con una punta fina de metal se colectan los MP y se colocan en viales previamente etiquetados para su almacenaje.



**Figura 2.** Procesamiento de muestras para identificar y separar microplásticos en estómago y tejido muscular e hígado. Fuente: elaboración propia.

Para encontrar los MP en tejido muscular y en hígado se utiliza la digestión del tejido (Avio et al., 2015; Lusher & Hernandez-Milian, 2018): un gramo de tejido se coloca en un vaso de precipitado y se agrega solución al 10% de hidróxido de sodio (NaOH) en un volumen tres veces mayor al volumen del tejido, la cual es una sustancia alcalina que degrada el tejido hasta disolverlo, quedando así únicamente las partículas plásticas. Cada vaso se coloca en una plancha en agitación media durante 24 horas, se filtra y se observa el residuo en el estereoscopio. Únicamente se registran las partículas que entraran dentro del rango de tamaño de 5 mm a 1 mm, ya que entrarían a otra categoría de tamaño de plástico si fuesen menores (nanoplástico) o mayores (macroplástico). Esta misma metodología fue seguida para estudiar el hígado.

### 8.2.3 Microplásticos en *Carcharhinus limbatus*, *B. caprisucus* y *L. griseus* del Caribe mexicano

Los resultados previos de la presencia de MP en 29 estómagos de *B. caprisucus* muestran la presencia de 89 fibras, y en 30 estómagos de *L. griseus* se encontraron 446 fibras. Estas fibras podrían ser residuos de macroplásticos usados en productos como prendas de vestir o incluso de redes para la pesca (Cole et al., 2011; Reyes-Bonilla et al., 2019). Estas fibras fueron encontradas en colores negro, verde, rojo, transparente, amarillo y azul, siendo este último el más abundante, representando alrededor del 80% de todas las fibras encontradas (Fig.3). La abundancia de fibras azules puede deberse a que este color es el más empleado en la manufactura de productos como redes de pesca, donde se usa para camuflaje, botellas, bolsas, productos cosméticos y de vestir (Cole et al., 2011). Por otro lado, las aguas residuales de uso doméstico se presentan como los principales contaminadores del medio marino, ya que los efluentes de las lavadoras y otros dispositivos domésticos son canalizados hacia plantas de tratamiento de aguas residuales. Aunque los efluentes son sometidos a tratamiento antes de ser descargados como efluentes tratados, es frecuente que aún contengan sólidos suspendidos, como microfibras (Napper et al., 2016).

Es de importancia resaltar que los MP también fueron encontrados tanto en hígado como en músculo. El músculo presentó 91 fibras con una dominancia del color azul del 76% en 63 muestras de *B. caprisucus*, mientras que en 28 muestras de *L. griseus* se encontraron 195, aunque en el hígado también son abundantes con 187, y en 30 muestras de *C. limbatus* se encontraron 22. La presencia de fibras en el tejido muscular de los peces y tiburones puede deberse a su ingestión directa o indirecta durante la alimentación, seguida de la acumulación en sus cuerpos y a su transferencia con el paso de las partículas de un órgano a otro conocido como traslocación (McIlwraith, 2021). En estas especies la transferencia podría ser directamente del estómago al hígado y al músculo. Respecto al hígado, según Collard et al. (2017), existe la posibilidad de que las fibras sean absorbidas mediante procesos como la endocitosis o la fagocitosis y su acumulación y aislamiento como elementos ajenos al tejido, lo que puede provocar mayores problemas con la formación de tumores.



**Figura 3.** Fibras encontradas en las muestras de *B. capriscus*, *L. griseus* y *C. limbatus* capturados al sur del Caribe mexicano. Fuente: elaboración propia.

#### **8.2.4 Impacto de los microplásticos en *C. limbatus*, *B. capriscus* y *L. griseus* del Caribe mexicano**

Los microplásticos generalmente están adicionados con componentes tóxicos, por ejemplo, puede contener bisfenol A, ftalatos, entre otros, los cuales son agregados durante el mismo proceso donde se producen, o también pueden absorber contaminantes de la superficie donde se encuentran, como metales u otros contaminantes orgánicos (Rochman et al., 2014). Si bien estos aditivos les dan propiedades de durabilidad y resistencia a los MP, también pueden ser tóxicos en los ambientes naturales y afectar directamente a los peces y tiburones, provocando daños, por ejemplo, en el sistema endocrino (Alomar et al., 2017). El hecho de que los MP puedan absorber metales pesados puede ocasionar bioconcentración en tejidos como hígados y músculo, lo que directamente ocasionaría la producción de moléculas inestables llamadas radicales libres que no podrían ser eliminadas por falta de antioxidantes, lo que se conoce como estrés oxidativo. Además, se puede iniciar daño lipídico mediante la producción de enzimas que tratarían de eliminar los elementos ajenos del cuerpo (Antão et al., 2018).

Con relación a los impactos de los MP en el aparato digestivo, se puede mencionar la toxicidad, la obstrucción y el bloqueo del tracto digestivo (Rosas-Luis, 2016), lo que a su vez ocasiona debilidad, deterioro de la capacidad de ingerir alimentos, dilución de nutrientes, reducción de la tasa de crecimiento de las especies y finalmente podría ocasionar la muerte de estos organismos.

### 8.3 Recomendaciones para el estudio de los microplásticos en peces y tiburones

Es necesario que se continúe con el monitoreo de la presencia y abundancia de MP en los tejidos de los organismos marinos e identificar los componentes químicos de cada MP por medio de métodos de detección como espectrofotometría RAMAN. La identificación de los polímeros de cada MP permitirá entender el efecto que cada componente tendrá en el tejido analizado.

La presencia de MP en los cuerpos de los organismos marinos es una realidad, a partir de ahora es necesario revertir esa presencia tanto en el medio marino como en los organismos. Es por ello por lo que se deben de impulsar normativas que eliminen la disposición de plásticos en el ambiente y de MP en las aguas residuales. Es necesario comenzar en la experimentación para identificar los mecanismos de translocación de MP en el cuerpo y finalmente encontrar métodos eficientes de remoción de MP en agua y en los tejidos.

### 8.4 Conclusiones

La exploración de la presencia de MP en organismos marinos en el sur del Caribe mexicano planteaba una preocupación por el aumento de contaminación de plástico en el mar. Debido a que los peces y tiburones son consumidos por el ser humano, se esperaba no encontrar MP en sus cuerpos. Sin embargo, los resultados en *B. capris-cus*, *L. griseus* y *C. limbatus* mostraron una realidad no deseada. Los MP se encuentran formando parte de los filetes de pescado que se consumen en el Caribe.

Los MP con capacidad de reaccionar con el medio adquiriendo contaminantes están afectando la fauna marina. Su presencia en el estómago, hígado y músculo podría desencadenar efectos negativos en el desarrollo de los organismos, su reproducción, y su crecimiento. La acumulación de MP a través de la cadena alimentaria afectará a todos los eslabones, incluyendo a los seres humanos, quienes somos los usuarios finales de estos peces y tiburones.

La presencia de fibras como principales o únicos contaminantes plásticos en el estómago, hígado y músculo de *B. capris-cus*, *L. griseus* y *C. limbatus* refleja una alta abundancia y disponibilidad de estos MP en el mar. Además, su forma puntiaguda y delgada permite su paso a otros tejidos, dañando las paredes de membranas, lo que podría detonar efectos aún más dañinos para los organismos, incluyendo tumores y la muerte.

## Referencias

- Abreu, A., & Pedrotti, M. L. (2019). Microplastics in the oceans: the solutions lie on land. Field Actions Science Reports. *The journal of field actions*, 19, 62–67. <https://journals.openedition.org/factsreports/5290>
- Acosta-González, G., Carrillo-Rosales, D. V., & Caballero-Vázquez, J. A. (2022). Microplásticos en agua y en organismos. *Ciencia*, 73(2), 14–21 [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73\\_2/PDF/04\\_73\\_2\\_1431\\_Microplasticos\\_Agua.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/04_73_2_1431_Microplasticos_Agua.pdf)
- Alomar, C., Sureda, A., Capó, X., Guijarro, B., Tejada, S., & Deudero, S. (2017). Microplastic ingestion by *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758 fish and its potential for causing oxidative stress. *Environmental Research*, 159, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.043>
- Allen, G.R., (1985). *FAO species catalogue. Vol. 6. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date.* FAO. <https://www.fao.org/4/ac481e/ac481e00.pdf>
- Antão, L. G., Vieira, L. R., Branco, V., Carvalho, C., & Guilhermino, L. (2018). Microplastics increase mercury bioconcentration in gills and bioaccumulation in the liver, and cause oxidative stress and damage in *Dicentrarchus labrax* juveniles. *Scientific Reports*, 8(1), 15655. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34125-z>
- Avio, C. G., Gorb, S., & Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, 111, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.014>
- Cole, M. P., Lindeque, C., Halsband, T. y Galloway, S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Collard, F., Gilbert, B., Compère, P., Eppe, G., Das, K., Jauniaux, T., y Parmentier, E. (2017). Microplastics in livers of European anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.). *Environmental pollution*, 229, 1000–1005. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.089>
- Correia-Prata, J. (2018). Airborne microplastics: consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>
- FishBase. (s.f.). *Family Balistidae-Triggerfishes*. Recuperado el 1 de mayo de 2024. <https://fishbase.mnhn.fr/summary/FamilySummary.php?ID=445>
- Frias J. P. G. L. & Nash Roisin. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S. y Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 64, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.10.009>
- Lusher, A. L., y Hernandez-Milian, G. (2018). Microplastic Extraction from Marine Vertebrate Digestive Tracts, Regurgitates and Scats: A Protocol for Researchers from All Experience Levels. *Bio-protocol*, 8(22), e3087. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.3087>
- Maldonado-Saldaña, G., Aldana-Aranda, D., & Labrada-Martagón, V. (2022). Basura plástica en tortugas del Caribe. *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 22–27. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73\\_2/](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/)



- McIlwraith, H. K., Kim, J., Helm, P., Bhavsar, S. P., Metzger, J. S. & Rochman, C. M. (2021). Evidence of Microplastic Translocation in Wild-Caught Fish and Implications for Microplastic Accumulation Dynamics in Food Webs. *Environmental Science and Technology*, 55, 12372-12382. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02922>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine pollution bulletin*, 112(1-2), 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>
- Parker, B., Andreou, D., Green, I. D., & Britton, J. R. (2021). Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and future perspectives. *Fish and Fisheries*, 22(3), 467-488. <https://doi.org/10.1111/faf.12528>
- Prokić M. D., Radovanović T. B., Gavrić J. P. y Faggio C. (2019). Ecotoxicological effects of microplastics: Examination of biomarkers, current state and future perspectives. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.001>
- Reyes-Bonilla, H., Alvarez-Filip, L., Rivera-Garibay, O., Pérez-España, H., Santillo, D., Olivera-Bonilla, A., Perez-Cervantes, E., & Rivas-Soto, M. (2019). *Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México*. UABCS-GREEN-PEACE. <https://www.greenpeace.org/mexico/publicacion/3377/estudio-sobre-el-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-peces-de-mexico/>
- Rigby, C.L., Espinoza, M., Derrick, D., Pacoureaux, N. & Dicken, M. (2021). *Carcharhinus leucas*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T39372A2910670. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-2.RLTS.T39372A2910670.en>
- Rochman, C. M., Kurobe, T., Flores, I. & The, S. J. (2014). Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of The Total Environment*, 493, 656-661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.051>
- Rosas-Luis, R. (2016). Description of plastic remains found in the stomach contents of the jumbo squid *Dosidicus gigas* landed in Ecuador during 2014. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1), 302-305. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.060>
- Saha, S. G. & Saha, G. (2024). Effect of microplastics deposition on human lung airways: A review with computational benefits and challenges. *Heliyon*, 10, e24355. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24355>
- Yao, P., Zhou, B., Lu, Y. H., Yin, Y., Zong, Y. Q., Chen, M. T. & O'Donnell, Z. (2019). A review of microplastics in sediments: Spatial and temporal occurrences, biological effects, and analytic methods. *Quaternary International*, 519, 274-281. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.028>
- Zaragoza-Estrada, A., Estrada-Monje, A., & Zaragoza-Contreras, E. A. (2023). Microplásticos: Presencia y diseminación en el medio ambiente. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 31(88), e4100. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2023884100>



# Capítulo 9

## Experiencias transdisciplinarias en la elaboración de productos: biotecnología y sociedad

Miguel Oliva<sup>1</sup>, Manuel Alejandro Lizardi-Jiménez<sup>2\*</sup>

\*Autor de correspondencia: Manuel Alejandro Lizardi-Jiménez (manuel.lizardi@uaslp.mx).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14726869>

### Resumen

La transdisciplina, como estrategia de generación de conocimientos, ha sido aplicada en esta experiencia en la península de Yucatán. Se describe el caso de Dzilam de Bravo y de las comunidades aledañas al Parque Científico y tecnológico: Cosgaya, Kikteil y Suytunchén. Reconociendo la falta de información que existe acerca de métodos y materiales, protocolos y en general conocimiento específico para cada comunidad sobre la que se pretendió incidir. Se utilizaron estrategias para integrar el conocimiento: diálogos, talleres, árbol de problemas. Desde la generación del diálogo no jerárquico entre las personas que integran el colectivo de investigación e incidencia hasta la generación de propuestas biotecnológicas de bajo costo, como los bioles se tiene un doble beneficio: valorizar residuos vía biotecnología, disminuyendo un problema de contaminación del sitio y, por otro lado, incidir en la toma de decisión de las comunidades que utilizan los residuos disponibles, lejos de considerarlos basura, sino como parte de su matrimonio natural. Por último, se cuestiona el método científico y reduccionista como vía para la solución de problemas y se plantean nuevas formas de abordar problemáticas multifactoriales con una perspectiva local, invitando a la reflexión sobre el alcance y objetivos de la investigación científica convencional y la valorización e integración del conocimiento local, aunado al cambio de paradigma que pudiera generar en los investigadores.

**Palabras clave:** transdisciplina; bioproducto; ciencia posnormal; Yucatán.

---

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Subsele Sureste, Mérida, 97302

<sup>2</sup> CONAHCYT-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, MDH, LGAC Estudios Sociales, Sierra Leona 550, 2da. Sección, San Luis Potosí, San Luis Potosí C. P. 78210, México. chamarripas@yahoo.com.mx. <https://orcid.org/0000-0002-2054-5556>

## 9.1 Introducción

Según la Real Academia Española (2014), la Biotecnología es el: “Empleo de células vivas para la obtención y mejora de productos útiles, como los alimentos y los medicamentos”. En este ámbito, la Bioingeniería, por su parte, se aboca a la concepción, desarrollo, optimización y escalamiento de bioprocesos. De entre esas palabras clave se puede advertir de la capacidad productiva de lo biológico/biótico como un elemento que ha dotado al ser humano de una manera de enfrentarse a los elementos naturales y prosperar. Desde el uso de microorganismos para la producción de alcohol o levaduras para la panificación, hasta el desarrollo de poderosas técnicas de manipulación genética como la edición genómica. El primer documento escrito fue elaborado por los sumerios hace 6,000 años y describe la técnica de elaboración de la cerveza (Buchholz & Collins, 2013). La biotecnología presenta avances de proporciones anteriormente inimaginables. Los productos obtenidos desde la biotecnología son altamente apreciados; sin embargo, dado su alta especialización no están, en muchas ocasiones, a la mano de los más sino de los menos.

Los grupos de poder económico han desarrollado biotecnologías de alto costo y grandes utilidades. Utilizando un discurso científicista, que no científico. En el científicismo se utilizan parcialmente solo algunos conceptos de la ciencia con la idea de validar un discurso en favor de algún grupo, eso es el llamado científicismo (Sorell, 1994). Por ejemplo, el caso de la multimillonaria Bayer: con un discurso científicista (que no científico) en contra del decreto del Gobierno de México que limita la comercialización del glifosato (DOF, 2020) que es utilizado en un paquete tecnológico para la producción de organismos genéticamente modificados (Cuhra, 2015) resistentes a ese pesticida. Bayer, casi proféticamente, indica que: “El glifosato es seguro y así lo avalan cientos de estudios científicos” y se basa en una producción científica al respecto. Sin embargo, esto es reduccionista y solo considera algunos estudios científicos convenientes a la postura e intereses de Bayer. Porque también hay otros estudios, numerosos, en sentido contrario, que sostienen que existen evidencias suficientes de que el glifosato presenta efectos adversos en organismos unicelulares y pluricelulares. Aun así, Bayer sostiene que: “El glifosato es seguro y así lo avalan cientos de estudios científicos” (Lizardi-Jiménez, 2022), después de que un juez concediera un recurso legal contra el decreto que disminuye el uso de glifosato, a pesar de que el decreto se fundamenta en el principio de precaución.

La toma de decisiones científicista puede agravar dos problemáticas globales que son producto del modelo de desarrollo económico desigual: el problema ambiental y el problema nutricional. Mención aparte es el de buscar permitirles afrontar la búsqueda de solución a los dilemas modernos desde planteamientos éticos, con el aval de la ciencia y bajo el marco de un derecho cercano a la sociedad cuyo referente

radica en el imperativo sustentado por los Derechos Humanos. Se requiere entonces que la biotecnología sea de bajo costo para su implementación afrontando problemas emergentes como el nutricional y el ambiental y que estas biotecnologías sean de bajo costo para que la gente pueda acceder a la toma de decisiones que le permitan implementarlo mediante algún esquema de participación social. Es vital entonces la inclusión y participación en la generación de conocimiento para atacar un problema concreto. Ya no solo considerando una disciplina científica, sino con un conocimiento transdisciplinario que incorpore el conocimiento de la sociedad a la que sirve.

### ***9.1.1 Transdisciplina y modelos de participación: la ciencia posnormal, la Biotecnología y la soberanía alimentaria en Yucatán***

El pensamiento transdisciplinario y el pensamiento complejo provienen de la misma plataforma, en realidad son la misma cosa: la primera borda acerca de que la esencia de todos los procesos se basa en uno (natural, social, individual, colectiva) y la segunda incluye estrategias cognitivas para configurar el conocimiento. La complejidad reside en el conocimiento y los procesos prácticos. Mientras el carácter transdisciplinar, entendiendo este como un saber extra disciplinar, es decir, no solo considerando a la ciencia, sino los saberes de las comunidades de las nuevas formas de producción de conocimiento lo complejizan cuando se incorpora el conocimiento de la sociedad (Lanz, 2010).

La participación social se concibe como la intervención de la gente (ciudadanos) en la toma de decisiones acerca de los recursos y las acciones que tienen un efecto en la comunidad (SEP, 2016). Es la asociación de individuos para el logro de determinados objetivos.

La participación es un fenómeno social relacionado con el desarrollo económico, cultural y político alcanzado por la sociedad, así como con las necesidades e incentivos de los diversos grupos y sectores que la conforman. En general, es un fenómeno de contenido y orientación muy humano, que involucra capacidades, circunstancias, oportunidades y motivaciones (Iglesias & Jiménez, 2017).

La Participación Social (SEP, 2016) en lo ambiental precisa de la colaboración -sistemática y organizada- de actores sociales como afectados ambientales, los investigadores ambientales y todas las personas que tienen un interés al respecto. Miembros de la comunidad interesados en trabajar con el fin común de afrontar el problema ambiental. Los actores enfocan sus intervenciones en las decisiones que competen a la organización e instrumentación de los servicios hacia el ambiente. Implica por supuesto que participen en la planeación, el seguimiento y valoración de las acciones educativas a fin de optimizar la calidad del servicio prestado. Un esquema de participación considera al menos las dos siguientes dimensiones: i) Quienes: actores

afectados e implicados, ii) Cuándo: momentos y fases de participación. El objetivo de este trabajo es presentar esquemas de participación social que permitan el uso de biotecnologías de bajo costo.

## 9.2 La ciencia posnormal: la ciencia con la gente y el caso de la soberanía alimentaria en Yucatán

La ciencia posnormal es una estrategia para tomar decisiones que involucren sistemas complejos. Propone un mecanismo ordenado de compromiso social para integrar el conocimiento científico y no científico (Cortés 2019). También se le llama “ciencia con la gente” (Martínez-Alier 2000), con mecanismos de decisión que tienen en cuenta tanto los valores e intereses involucrados en la decisión, como los relacionados con objetivos en conflicto, así como los científicos.

La adherencia a ciertos criterios, los “intereses en la toma de decisiones” y la “incertidumbre científica” constituyen una ciencia posnormal. Los autores de la guía de decisiones, Funtowicz y Ravetz (2000), crearon un modelo heurístico como se muestra en la Figura 1. La ciencia posnormal implica definir los tipos de conocimiento necesarios para la gestión de riesgos ambientales a nivel cartesiano, teniendo en cuenta los estándares. En los ejes están: el nivel de incertidumbre en el sistema (eje x) y el esfuerzo en tomar una decisión (eje y).

La ciencia posnormal se encuentra en un período de cambio de paradigma, y los científicos formados en paradigmas previamente dominantes pueden malinterpretarla. La ciencia posnormal surge en crisis sociales y/o emergentes cuando el conocimiento científico disponible es incierto e incompleto (Blanco, 2021).

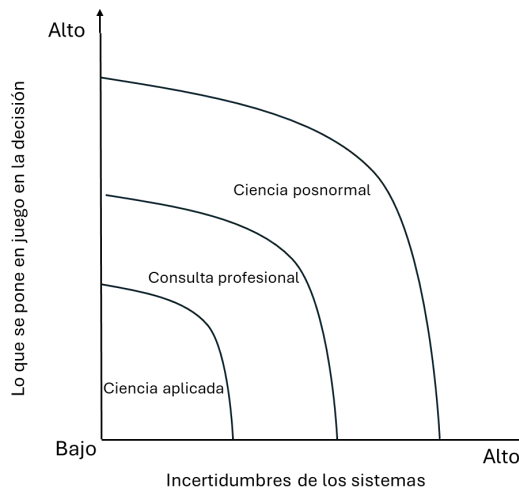


Figura 1. Ciencia Posnormal. Fuente: adaptado de Funtowicz y Ravetz (2000).



### **9.3 Aplicaciones y experiencias transdisciplinarias en la elaboración de productos en la península de Yucatán en el marco del proyecto 321295**

En los siguientes párrafos se describe cómo fue el proceso de aprendizaje para poder colaborar con los usuarios y administradores del matrimonio natural de las diferentes comunidades que participaron en el proyecto; matrimonio debido a que proviene de la madre naturaleza y debe ser cuidado como se atesoran los obsequios de una madre. De igual forma, se describen las estrategias que se utilizaron para integrar el saber científico y el conocimiento tradicional, encaminado a la elaboración de productos que permitan garantizar una soberanía alimentaria, los cuales fueron desarrollados utilizando tecnologías de bajo costo, métodos sustentables e insumos de fácil acceso, tomando en cuenta que los procesos fueran compatibles con los usos y costumbres de la localidad, y adaptables a la realidad de cada comunidad.

El proyecto se desarrolló en dos zonas de incidencia, las que se encuentran en la costa con acceso a residuos pesqueros y las que se encuentran al interior del estado sin acceso directo a este recurso. A pesar de estar involucradas más de 10 comunidades y diferentes desarrollos tecnológicos, entre los que se encuentran: bioempaques, alimento animal, alimento humano, energías, detección de contaminantes y transformación de residuos, compartiremos el caso específico del puerto de Dzilam de Bravo y de las comunidades aledañas al parque científico y tecnológico de Yucatán (Cosgaya-Kikteil-Suytunchen) en la producción de fertilizantes a partir de residuos pesqueros y acuícolas. Ya que ambas comunidades corresponden a las dos áreas de incidencia y comparten algunas particularidades; sin embargo, los procesos se desarrollaron específicamente para cada localidad de acuerdo con sus requerimientos.

#### **9.3.1 De colectivo de investigación a colectivo de incidencia: resolución al reduccionismo de problemas sistémicos**

El colectivo de investigación fue conformado por especialistas de diferentes instituciones y centros de investigación (Figura 2) en el área de biotecnología, materiales, horticultura, química de alimentos y energías. A pesar de estar formados con los nuevos paradigmas del quehacer científico y tener nociones de metodologías participativas, ciencia ciudadana, el papel fundamental de la transdisciplina y el enfoque sistémico para la resolución de problemas desde diferentes áreas y perspectivas, de manera involuntaria y muy arraigada a prácticas en la investigación y la academia sigue predominando el pensamiento reduccionista que pese a haber mostrado sus bondades y generar conocimiento de alto valor en áreas como matemáticas física y química, este se encuentra fragmentado de la realidad en ciencias biológicas y

sociales (Chavez y Chavez, 2021), debido a que no considera elementos como la organización o la capacidad de dirección, que son fundamentales para el análisis y comprensión de fenómenos sistémicos (Malagon & Prager, 2001).

Mediante talleres impartidos por especialistas en el área como el Dr. Manuel Lizardi, la Dra. Olga Domené, la Dra. Xochitl Edith Bautista y el Dr. Jorge Urdapilleta, compartieron sus conocimientos en trabajo participativo con comunidades, transdisciplinariedad y ciencia posnormal, construcción de circuitos solidarios y métodos para cuantificar los alcances e impacto del proyecto, lo cual generó un cambio de perspectiva en los investigadores que a su vez impactaron de forma directa en la forma de hacer investigación, principalmente en el planteamiento de el “para qué” y “para quién”, que a su vez modificó la forma de diseñar experimentos, evaluarlos, desarrollarlos y publicar sus resultados.



**Figura 2.** Miembros e instituciones participantes en el proyecto. Colectivo de incidencia e investigación. Fuente: elaboración propia.

### 9.3.2 Etapas, acercamiento en el trabajo con comunidades y estrategias utilizadas

**Etapa 1 (agosto-noviembre 2022):** Diálogos de saberes, en los cuales cada comunidad externó sus necesidades, y la forma deseada de aprovechar los residuos de pescado (Figura 3). El acercamiento fue mediante instituciones, asociaciones civiles o colectivos que estaban trabajando con las comunidades, lo cual facilitó el trabajo colaborativo, ya que en la región existe cierta desconfianza, pues ha sido común que al trabajar con personas o instituciones pocas veces regresan y no comparten el conocimiento generado. En esta fase se hizo una revisión del estado del arte en cada área específica, la cual se compartió con la comunidad y se desarrollaron los prototipos en laboratorio que posteriormente fueron entregados a los usuarios para que dieran su opinión respecto a su replicabilidad dentro de la comunidad.

**Etapa 2 (marzo- noviembre 2023):** Intercambio de saberes en donde se integró el saber tradicional y el conocimiento científico. Los prototipos fueron modificados de acuerdo con la retroalimentación por parte de la comunidad, quienes integraron sus conocimientos tradicionales en el rediseño del prototipo, es decir, en un proceso de recursividad. Durante este periodo se realizaron análisis de algunas variables para comprobar que el desempeño en campo era el adecuado.

**Etapa 3 (abril – agosto 2024):** Acompañamiento y puesta en marcha de los prototipos y desarrollos tecnológicos. En la última fase se puso en marcha el prototipo final con las modificaciones pertinentes y en un proceso de acompañamiento con la comunidad, en el cual se dio solución a diferentes temas técnicos, problemáticas en la comunidad y se iniciaron los circuitos solidarios gracias a la interacción entre las diferentes áreas de incidencia.



**Figura 3.** Diálogo de saberes con Comunidades aledañas al parque científico y con los pescadores de Dzilam de Bravo. Fuente: elaboración propia.

### 9.3.3 Estrategias utilizadas para integrar el conocimiento

- **Modificación de tecnologías ya conocidas y utilizadas por la comunidad:** en los casos donde era posible se utilizaba principios y procesos que eran familiares para la comunidad y se adaptaban de acuerdo con los requerimientos, como es el caso del secador solar y las fermentaciones.
- **Cursos prácticos:** cada comunidad solicitó cursos y talleres relacionados con la transformación de alimentos y uso de residuos, en donde los conocimientos tradicionales y científicos fueron unificados mediante la práctica y las experiencias compartidas.
- **Ferias de ciencias:** pensando en el relevo generacional, se realizaron ferias y exposiciones en escuelas, con tema del océano y sus recursos, importancia nutricional de consumir pescado, y medio ambiente sin contaminación.

- **Juegos de mesa:** se modificaron juegos como memorara, rompecabezas y actividades lúdicas cuyo tema principal eran los recursos marinos y su importancia.
- **Árbol de problemas:** En el dibujo de un árbol las personas escribieron en las raíces lo que ellos querían lograr, en el tallo las actividades necesarias a realizar, así como las posibles dificultades para lograrlo y en la copa los resultados esperados.
- **Acción participativa:** los talleres, cursos, charlas y transferencias de tecnología fueron realizados en colaboración del colectivo de incidencia e investigación y en las localidades, lo que permitió visualizar ciertos problemas que, de no estar en el sitio, hubieran sido imperceptibles.
- **Capacitación de colectivo de investigación:** a través de diferentes charlas y talleres se compartieron espacios de reflexión sobre las diferentes vías en el trabajo transdisciplinario.
- **Retroalimentación de actividades realizadas:** al finalizar cada actividad, ambos colectivos evaluaban las actividades, el interés y algunas particularidades que podían mejorarse en las siguientes actividades. Algunas de ellas fueron el lenguaje técnico, la expresión corporal y la forma en la que se dirigían las actividades. Con el fin de ser cercanos y no segregar el conocimiento por ciertos comportamientos jerárquicos.
- **Diálogos no jerárquicos:** el saber de la comunidad ante problemas emergentes, como los nutricionales, se llevan a cabo partiendo de una premisa: el colectivo comparte intereses comunes y se enfrenta a una decisión ante la cuál la ciencia normal no es suficiente.
- **Elaboración de manuales:** se concentró el conocimiento científico y tradicional, en adición con el generado en conjunto en diferentes manuales que explican procesos como el de la fermentación en la elaboración de bioles y ensilados.
- **Verificación del proceso:** ida y vuelta del campo al laboratorio y construcción de procesos dialécticos.

Derivado de la ciencia por curiosidad (básica) en la que se investigan fenómenos de diferente índole y se produce el conocimiento para nutrir la toma de decisiones, surge la ciencia de los resultados (aplicada), la cual enmarca la necesidad de corroborar si efectivamente la ciencia contribuyo a la verificación de procesos completos como el entendimiento, decisión, acción, aprendizaje (Maass, 2021) y aplicación, que es en donde se inserta la transdisciplina como un todo y no parcialmente.

Lo anterior resalta la importancia de que el conocimiento científico para ser útil debe ser local, accesible, oportuno, listo para ser usado (Vaughan et al., 2007), y no solo quedar impreso en las mejores revistas, ya que a pesar de ser una de las partes del proceso, no se garantiza la correcta aplicación del conocimiento para la resolución de problemas. Motivo por el cual se presenta a continuación en la Tabla 1 el proceso de verificación de estos procesos para ambas comunidades y en qué consistieron.

**Tabla 1.** Verificación de procesos para la producción de fertilizante en dos zonas de incidencia

Comunidad	Entendimiento	Decisión	Acción	Aprendizaje	Desarrollos
Acciones	<p>Diálogo de saberes:</p> <p>Conocimientos tradicionales sobre uso, aplicación e impacto de residuos pesqueros.</p> <p>Presentación de desarrollos tecnológicos disponibles con base al estado del arte.</p>	<p>Informados de todos los desarrollos tecnológicos posibles, la comunidad se decidió y comprometió a colaborar en uno o varios.</p>	<p>Desarrollo de experimentos en condiciones controladas y replicación en la comunidad aplicando la recursividad.</p>	<p>Las comunidades han sido parte fundamental de cada desarrollo, se han apropiado de los conocimientos generados y han propuesto más aplicaciones de sus productos.</p>	<p>Productos y aplicaciones</p>
Dzilam de Bravo	<p>Pescadores conocen la problemática, de la falta de disposición final de residuos pesqueros, los cuales generan enfermedades y contaminación en el puerto. En época de veda se dedican a sembrar hortalizas para auto consumo.</p>	<p>Dar un manejo adecuado a las vísceras y residuos para la producción de fertilizantes.</p>	<p>Cambios en el acopio y evisceración para aprovechamiento de los residuos.</p>	<p>Capacitación en el manejo de residuos pesqueros y formulación e implementación de ensilado biológico para la producción de fertilizante líquido, con múltiples aplicaciones</p>	<p>Ensilado Biológico con uso fertilizante y alimenticio.</p>
Cosgaya-Kikteil-Suytunchen	<p>Agricultores tienen dificultad para producir sus propios alimentos al no contar con fertilizantes y medios adecuados que les permitan la cosecha de vegetales.</p>	<p>Adaptación de técnicas ya conocidas para la producción de fertilizantes con propiedades repelentes de insectos.</p>	<p>Inclusión de residuos de la parcela y otras actividades en la elaboración de fertilizantes. Evaluación final de fertilizantes en cultivos a fin de validar cada formulación.</p>	<p>Conocimientos y experiencias adquiridas permiten toma de decisiones en la elaboración de fertilizantes. Lo cual permite modificar procesos a fin de efficientizar los insumos y el tiempo.</p>	<p>Fertilizante líquido con propiedades repelentes de insectos.</p>

Fuente: elaboración propia.

### 9.3.4 Beneficios adicionales de cada desarrollo derivados del enfoque transdisciplinario

Al tener claros los objetivos de trabajo con cada comunidad, hacerles parte fundamental en la toma de decisiones y darles la asesoría y capacitación correspondiente, al mismo tiempo de integrar sus conocimientos tradicionales, permite que se apropien de los procesos y tengan el conocimiento necesario para hacer las modificaciones pertinentes para resolver las problemáticas que se van presentando.

Derivado de cambios económicos, políticos y sociales surgieron dos modificaciones (externalidades positivas) en los objetivos principales, los cuales se detallan a profundidad en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Perspectivas o beneficios adicionales

Comunidad	Externalidades positivas	Descripción	Implementación	Producto final
Dzilam de Bravo	Uso de ensilado proteico para producción de alimento para aves de corral	Surge la necesidad de utilizar los residuos para alimentación de aves y ya no solo emplearlos como fertilizantes.	Se replantea la obtención de fertilizantes y se propone un flujo de los residuos, en el cual a través de una fermentación se van obteniendo subproductos que pueden ser empleados para fertilización o alimento.	Ensilado biológico a partir de residuos de pescado, con inóculo de fácil acceso y que puede ser utilizado para fertilización y alimentación animal.
Cosgaya	<p>Biól de doble uso</p> <p>Transformación de productos de campo (deshidratador)</p>	<p>Se requiere mucho tiempo para preparar bioinsumos para la parcela, por lo que se decide elaborar un solo fertilizante con propiedades repelentes de insectos incorporando plantas con ese uso.</p> <p>Surge la necesidad de transformar las cosechas, para poderlas conservar por más tiempo.</p>	<p>Se hace una revisión de qué plantas de la zona tienen esas propiedades y cuál es la mejor forma de incluirlas en la fermentación.</p> <p>Trabajo en conjunto con expertos en energías renovables para el desarrollo de un prototipo de secador solar que sea portátil.</p>	<p>Fertilizante multifuncional</p> <p>Secador solar</p>

Fuente: elaboración propia.



### ***9.3.5 Elaboración de fertilizantes y experimentos realizados***

Uno de los principales factores que pone en riesgo la seguridad alimentaria es la dependencia de insumos externos, como lo son los fertilizantes. Aunado que en la agricultura convencional la mayoría de los fertilizantes proviene de fuentes no renovables. Sin mencionar el impacto que tienen en los ecosistemas y la salud humana, en especial en regiones como la península de Yucatán en donde los mantos acuíferos se encuentran expuestos y a pocos metros de profundidad. Debido a que las condiciones y los requerimientos para que cada fertilizante fuera elaborado eran diferentes, a continuación, se describirá el proceso para cada comunidad.

#### ***9.3.5.1 Comunidad Cosgaya-Kikteil-Suytunchen***

El acercamiento con este grupo fue a través de una asociación civil (Colectivo Awentanel) que ya tenía tiempo trabajando con las comunidades, por lo que el colaborar facilitó el trabajo con la comunidad, ya que como nos comentaron, existe una gran cantidad de personas, instituciones y demás que llegan a proponer diferentes formas de trabajo, pero al conseguir lo que quieren jamás vuelven a la comunidad. El grupo de productores conocieron las instalaciones de CIATEJ sureste, de igual manera visitaron a miembros del PRONAI “Corredor de comercio agroalimentario popular y solidario en las regiones milperas y bioculturales del Puuc en Yucatán”, número 321286, para observar las diferentes formas de trabajo, motivarse con los resultados obtenidos por los compañeros y participar en diferentes talleres que ellos solicitaron, entre los que se encuentran la transformación y elaboración de productos como mermeladas, conservas, fermentados, calidad de miel, entre otros.

Una de las principales inquietudes es que los términos y procesos fueran muy complicados para poder ser replicados, por lo que se optó por hacer un taller de bebidas fermentadas, el cual fue de gran utilidad ya que fue una referencia clara y familiar para el proceso, el cual era el mismo para la elaboración de fertilizantes. Se realizaron tres experimentos de la mano con la comunidad que se describen a continuación:

**Primera etapa “Bioles fragmentados de la realidad”:** Se realizaron ensilados biológicos (16 tratamientos: dos especies de peces, 4 inóculos (sin inóculo, Yakult, *B. Plantarum* y quimico: *A. citrico*) y 2 tipos de acidificación), utilizando azúcar, vinagre, ácido cítrico y recipientes de un litro de tapa chica, en condiciones controladas (Figura 4). A pesar de mostrar parámetros fisicoquímicos (cinética de pH, °brix, TDS) alentadores y de acuerdo a la bibliografía tener un buen desempeño en campo (NPK, perfil de aminoácidos, sin fito toxicidad y sin patogenos), no respondían a la realidad de las personas. Que es justo en esta etapa donde se han quedado gran cantidad de proyectos. Nuestro acierto es que las personas ya nos

tenían la confianza, lo cual facilitó los procesos de comunicación para llegar a la conclusión que la gente no iba a tener el tiempo, los materiales, los insumos y las instalaciones para poder replicarlo.



**Figura 4.** Primera etapa de los ensilados producidos en laboratorio. Fuente: elaboración propia.

**Modificación:** inóculo de fácil acceso, residuos correspondientes a diferentes especies (ya que en la realidad es muy difícil tener residuos de una misma especie) inclusión de materiales de la región, cambio en la medición de parámetros (evaluación al finalizar el proceso), recipientes para fermentación más grandes y con válvula casera que impedía la entrada de oxígeno.

**Segunda etapa “Bioles en la comunidad”:** Se elaboraron bioles (supermagro) en continuación de los bioinsumos que ya habían trabajado con la asociación civil Awentanel. Se realizó en compañía de otras comunidades, las cuales compartieron sus experiencias en cuanto a los insumos utilizados en biopreparados. Como inóculo de fácil acceso se utilizó melaza, leche y levadura para pan, y se integraron hojas verdes y secas, residuos de cocina, ceniza de leña, estiércol de animal de corral y residuos de pescado. Los tres tratamientos respondían a las dudas que tenían los productores respecto a qué diferencia había del biol convencional (T1), el biol con pescado (T2) y si habría alguna diferencia al no realizar las reinoculaciones semanales (T3) (Figura 5).

**Modificación:** inóculo de fácil acceso con más concentración de microorganismos para evitar las re-inoculación, verificación de la relación carbono nitrógeno, cambio en la medición de parámetros (evaluación en cultivo), pretratamiento para reducción de olor, recipientes con bocas más anchas.



**Figura 5.** Evaluación de pH y cambio de contenedores para los bioles de la segunda etapa.  
Fuente: elaboración propia.

**Tercera etapa “Bioles para la comunidad”:** se elaboraron bioles con la inclusión de plantas con propiedades insecticidas y se verificó la relación carbono nitrógeno. Se documentó el proceso de elaboración y los participantes compartieron sus experiencias anteriores con estos biopreparados. Como inóculo se utilizó leche:yakult (1:5) con levadura para pan y melaza, se utilizó una cantidad mayor inicial para evitar reinocular. Se utilizaron cubetas con boca ancha y con tapa que permitía monitoreo constante (Figura 6). Se utilizaron tres tratamientos, los cuales respondían a si era necesaria la adición de pescado en caso de que no tuvieran pescado (T1), utilizar el pescado previamente molido (T2) y por último utilizar el pescado con un pretratamiento (ensilado) (T3) (Figura 7).



**Figura 6.** Evaluación de fertilizantes resultantes del proceso de fermentación en la tercera etapa en cubetas con boca ancha y con tapa rosca que permiten el monitoreo constante.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 7.** Preparación de Bioles en la tercera etapa con la comunidad de Cosgaya.  
Fuente: elaboración propia.

### **9.3.5.2 Comunidad Dzilam de Bravo**

En el caso de Dzilam de Bravo y por cuestiones de cambio de dirección en la cooperativa, se tienen tres etapas:

**Primera etapa “Ensilado y replicación de super magro”:** la primera fue exactamente la misma que en las comunidades aledañas al parque científico; sin embargo, ellos no contaban con los mismos insumos que las otras comunidades en el interior del estado, pero lo que se decidió utilizar en su mayor parte los residuos de pescado, que es un recurso al que sí tienen acceso.

**Segunda etapa “De fertilizantes a alimento para ave”:** Inicialmente la cooperativa se interesó por el fertilizante vegetal a base de ensilado de pescado, pero debido a cambios administrativos surgió el interés por la alimentación de aves de corral. De acuerdo con una revisión del estado del arte, se identificó que los ensilados biológicos pueden ser una tecnología novedosa y versátil para la transformación y conservación de los residuos pesqueros en las comunidades costeras. Motivo por el cual se realizaron tres tratamientos: T1 residuos de granjas acuícolas, T2 residuos de cooperativas pesqueras y T3 especies subutilizadas (Figura 8). Todos fueron inoculados con leche y Yakult relación 5:1, se utilizó azúcar como fuente de carbono y vinagre para reducir

el pH. El ensilado, producido en estas condiciones, tiene propiedades que lo hacen una excelente fuente de nutrientes para las plantas y de igual manera sus compuestos son de gran aporte en la alimentación de animales de corral. Adicionalmente, también se obtienen harina de huesos en el proceso de separación. Mediante una malla fina los huesos son filtrados, secados y molidos, para posteriormente ser aplicados como otro tipo de fertilizante. El ensilado al no tener patógenos presentes debido al proceso de fermentación y acidez del medio puede ofrecerse a los animales de forma húmeda en ciertos porcentajes o mezclarse con harinas de diferentes granos, para posteriormente peletizarse, retirar el exceso de humedad en un secador solar, almacenar en un lugar fresco y seco para finalmente ser utilizado como alimento (Figura 9).

**Principales dificultades:** La distancia a la comunidad, los cambios en organización, toma de decisiones y las múltiples ocupaciones de los pescadores impiden que las visitas sean frecuentes, lo cual dificulta el seguimiento del proyecto; sin embargo, es un área de oportunidad que puede aprovecharse utilizando los principios de la transdisciplina.

**Tercera etapa “Más cambios administrativos”:** Debido a varios factores, así como a diferentes puntos de vista y perspectivas, justo en el proceso de escritura de este libro los administradores de la cooperativa ya no se encontraron interesados en recibir cursos y capacitaciones respecto al uso y aprovechamiento de los residuos de pescado. Por lo tanto, respetamos su sentir, ya que es parte de los mismos procesos de toma de decisiones; nuestra labor es facilitar y acompañar, más no imponer. Agradecemos su participación y les hicimos llegar manuales de los desarrollos preparados especialmente para ellos, en espera de que puedan serles de utilidad y si así lo consideran, colaborar en un futuro. Sin embargo, como muestra de que el proceso de verificación se hizo de forma adecuada, se establecieron diálogos mediante las redes sociales con el biólogo Paul Heron Ortega Tun, quien es el actual director de Pesca de Dzilam de Bravo y se mostró especialmente interesado en los temas que abordaban los talleres, debido a que son de utilidad para los habitantes del puerto. Gracias al trabajo en conjunto se pudo realizar el primer taller respecto al uso de residuos de pescado para la producción de alimento y fertilizantes el 26 de julio de 2024. Debido a los resultados obtenidos, hay más talleres programados para los próximos meses.





**Figura 8.** Taller sobre aprovechamiento de residuos en Dzilam de Bravo.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Procesamiento de residuos y obtención de ensilados proteicos  
Fuente: elaboración propia.





**Figura 10.** Formulación de alimento con ensilado de pescado y harinas de granos.  
Fuente: elaboración propia.

### ***9.3.6 Cientificismo en las variables de respuesta***

En el ámbito científico y de investigación existe la idea jerárquica de calificar procesos como científicos y no científicos, sin considerar el fin último de la información recabada, aparte de ser publicado en revista de alto renombre. De manera que se puede caer en la intelectualización sin poder conceptualizar y trabajar con procesos en los cuales no se tiene el control y cuantificación “tradicional” de todo el proceso experimental. Motivo por el cual se invalida toda la explicación a un fenómeno, por provenir de métodos no convencionales; sin embargo, a pesar de contar con estos datos, ver a través de otra visión no significa que no se pueda evaluar de otras formas y procesos ajenos a los que estamos acostumbrados en el científicismo. Es decir, ante problemas emergentes, con alta incertidumbre científica es pertinente hacer acopio de los saberes y conocimientos de todos aquellos que tengan un interés y experiencia al respecto

En ejemplo puntual es la medición de variables en los procesos de fermentación, debido a que se necesitan equipos altamente especializados, personal capacitado y tiempo para obtener un perfil del aporte nutricional. Sin embargo, existen otras variables que pueden ayudarnos a determinar la calidad de un biofertilizante, como lo es hacer pruebas en etapa de plántula (modelo biológico de referencia), para lo cual únicamente se necesita una regla o una báscula para identificar su efectividad. De igual manera existen variables correlacionadas, que a pesar de no ser exactas nos pueden dar aproximaciones bastante aceptables como lo es el pH, la conductividad

eléctrica y el contenido total de sólidos disueltos, que aparte de ser de bajo costo y fácil acceso son sencillas de cuantificar (Figura 10). Por último, en el caso de las productoras, al trabajar todo el tiempo con hortalizas pueden identificar ciertas variables que para el ojo “científico” pasan desapercibidas o son invalidadas, pero que pueden ser útiles a la hora de tomar decisiones para saber qué elementos integrar en la elaboración de los fertilizantes y a la hora de fertilizar el cultivo.

De igual manera, en el caso del ensilado, las personas de la costa saben identificar cuando un pez no es apto para la venta o consumo. No es necesario que ellos realicen análisis microbiológicos o evalúen las características fisicoquímicas ya que, al ser usuarios natos de los matrimonios naturales, tienen muy bien desarrolladas habilidades para hacer una evaluación organoléptica del producto y pueden aplicar esos mismos conocimientos y habilidades ya desarrollados para el monitoreo de los ensilados biológicos. Lo anterior hace sentido a lo descrito por Spangenberg (2011), quien menciona que mientras los científicos son expertos en el rigor, los usuarios de los recursos naturales son expertos en pertinencia, ambas experiencias son necesarias y deben integrarse ya que ambos enfoques son complementarios.



**Figura 11.** Evaluación de Bioles y ensilado utilizando instrumentos de fácil acceso.  
Fuente: elaboración propia.

### ***9.3.7 Impacto del trabajo transdisciplinario en colaboradores y estudiantes***

A manera de reflexión por parte de Miguel Oliva, nos indica que fue una grata experiencia en cuanto a el impacto generado en los investigadores y estudiantes, ya que al iniciar el proyecto se notaba cierto desconocimiento en el uso metodologías participativas, así como en el hacer partícipe a la sociedad en la toma de decisiones para la elaboración de un producto. Ya que es común culpar a la sociedad si no adoptan las nuevas prácticas propuestas; sin embargo, por esto se debe a que el prototipo no tiene el desempeño esperado, debido a que no fue adaptado a la realidad de la comunidad; sin embargo, fue enriquecedor el cuestionar nuestra labor como investigadores y hacernos responsables de que los prototipos sean culturalmente adecuados. Con el avance del proyecto cada vez fue más evidente el impacto de hacer parte a la

comunidad en la toma de decisiones, ya que incluso los experimentos y desarrollos eran modificados hasta en la más mínima consideración, pensando en el usuario final y no en lo que normalmente la ciencia dicta para ser un artículo publicable. Por su parte, Manuel Lizardi indica que la experiencia transdisciplinaria lo ha ayudado a entender que los conocimientos adquiridos en las aulas y laboratorio no son suficientes si lo que se quiere es impactar en la sociedad a la que se sirve. Recordar el principio de convencer y no vencer.

## **9.4 Lecciones aprendidas y consideraciones finales**

Es de suma importancia ser consciente de que cada grupo vive realidades totalmente diferentes a la nuestra, por lo cual los objetivos no se van a cumplir en el mismo tiempo y de la misma forma, debido a que, como mencionamos, aparte de la organización interna de sus participantes existe una gran cantidad de factores que intervienen y en muchas ocasiones no podemos controlar. Por lo que es necesario priorizar los recursos en puntos estratégicos que generen beneficios tangibles para la comunidad, aunque estos sean mínimos. Tener en claro cuál es el alcance del proyecto permite optar por diferentes estrategias que optimizan el uso de recursos. Al trabajar con un gran número de comunidades, el número de experimentos necesarios de acuerdo a la “academia” sería infinito; sin embargo, podemos partir de experiencias de otros colegas y de la revisión de estudios científicos similares para utilizarlos como puntos de partida y hacer las adecuaciones correspondientes para la comunidad, en lugar de llevar el proceso completo. Si bien no tendrá el rigor al que los científicos estamos acostumbrados, pero estará resolviendo una problemática real y optimizando los recursos que normalmente son escasos.

Existe una brecha que impide el proceso completo de la transdisciplina y es dada por que como colectivo no permanecemos el tiempo suficiente en la comunidad para poder percibir aquellos detalles que a veces son imperceptibles y pueden poner en riesgo la adopción de nuevas tecnologías. Es necesario no solo como colectivo también como instituciones de investigación definir si la importancia de la ciencia radica en ser meramente publicable y reproducible o si permite hacer adecuaciones para ser una herramienta en la solución de problemas. De igual manera, es de suma importancia reflexionar acerca si nuestros logros académicos son producto de nuestros méritos personales o son la suma de privilegios a los que no todos tienen acceso. Como experiencia del colectivo, fue hasta que se nos descompuso el refrigerador con aproximadamente 100 kilos de pescado que entendimos la realidad de las personas y esa experiencia nos dio la perspectiva y herramientas adecuadas para darle solución, ya que en el pasado no estábamos conscientes del fenómeno que resolvíamos y sus implicaciones.

## 9.5 Conclusiones

Para poder trabajar en comunidades hay que estar abiertos a nuevas formas de conocimiento, ser humilde y aceptar que el conocimiento científico no siempre es 100% aplicable a la realidad, trabajar en conjunto con organizaciones civiles, colectivos y realizar los procesos de verificación las veces que sean necesarias, y siempre tener muy clara la pregunta de para qué o para quién se hacen las investigaciones pertinentes. La transdisciplina, como estrategia de generación de conocimientos, ha sido aplicada en esta experiencia. Reconociendo la falta de información que existe acerca de métodos y materiales, protocolos y en general conocimiento específico para cada comunidad sobre la que se pretendió incidir. Desde la generación del diálogo no jerárquico entre las personas que integran el colectivo de investigación e incidencia hasta la generación de propuestas biotecnológicas de bajo costo, como los bioles, para generar al menos un doble beneficio: valorizar residuos vía biotecnología disminuyendo un problema de contaminación del sitio y por otro lado incidir en la toma de decisión de las comunidades que utilizan los residuos disponibles, lejos de considerarlos basura, sino como parte de su matrimonio natural.

## Agradecimientos

Gracias a todas las comunidades y colaboradores, grupo de mujeres agricultoras de Tuumben Lool, Colectivo Awentanel, cooperativa pesquera Pescadores de Dzilam de Bravo y al director de pesca de Dzilam de Bravo Paul Heron Ortega Tun por compartir sus conocimientos, construir nuevas vías de aprendizaje y brindarnos una increíble experiencia de vida, encaminada a nuevas formas de hacer “ciencia”. De igual manera, agradecemos a CONAHCYT por financiar el proyecto número 321295, y a la Dra. Neith Pacheco, responsable técnico, por romper viejos paradigmas de la academia, y mediante el ejemplo y sin importar el cargo o la trayectoria estar en las disposiciones de re-aprender para enriquecer las diferentes formas de trabajo.

## Referencias

- Blanco, N. (2021). Tiempos normales o posnormales para la Ciencia de la Información. *Información, Cultura y Sociedad*, 45. <https://doi.org/10.34096/ICS.I45.10669>
- Buchholz, K., & Collins, J. (2013). The roots - A short history of industrial microbiology and biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(9). <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4768-2>
- Cuhra, M. (2015). Review of GMO safety assessment studies: glyphosate residues in Roundup Ready crops is an ignored issue. *Environmental Sciences Europe*, 27(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0052-7>
- Hernández Chávez, G., & Hernández Chávez, Y. (2021). Reduccionismo y enfoque de sistemas: dos enfoques complementarios. *Horizonte de La Ciencia*, 11(21). <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2021.21.896>
- Cortés García, F. J. (2019). *Relaciones ciencia-sociedad en el ámbito de la epistemología ambiental. El principio de precaución y la duda moderna neocartesiana*. RIL Editores <https://doi.org/10.32457/isbn9789568454234232018-ed1>
- Funtowicz, S. & Ravetz, J. (2000). *La ciencia posnormal*. Icaria Antrazyt.
- Iglesias, M., & Jiménez, R. (2017). Desarrollo local y participación social.: ¿De qué estamos hablando? *Revista Estudios Del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 5(1). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2308-01322017000100005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322017000100005)
- Malagon, R. y Prager, M. (2001). *Enfoque de sistemas una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20313>
- Lanz, R. (2010). Diez preguntas sobre la transdisciplina. *Revista de Estudios Transdisciplinarios*, 2(1). <https://www.redalyc.org/pdf/1792/179221238002.pdf>
- Lizardi-Jiménez, M. A. (2022) Ciencia y científicismo. *Investigación y Desarrollo*. <https://investdes.com.mx/los-investigadores/ciencia-y-cientificismo/>
- Martínez-Alier, J. (2000). Prólogo. En S. O. Funtowicz & J. R. Ravetz, *La ciencia posnormal: ciencia con la gente* (Vol. 160) (pp. 11-21). Icaria editorial. <https://economiaecologicaunam.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/2000-funtowicz-y-ravetz-la-ciencia-posnormal.pdf>
- Maass Moreno, J. M. (2021). De la teoría a la práctica transdisciplinaria: lecciones aprendidas desde el quehacer académico universitario. *DIDAC*, 78, 80-87. Recuperado de <http://ri.iberomx.com/handle/iberomx/5748>
- Secretaría de Educación Pública. (01 de enero de 2016). *QUÉ ES LA PARTICIPACIÓN SOCIAL*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/que-es-la-participacion-social>
- Spangenberg, J. H. (2011). Sustainability science: A review, an analysis and some empirical lessons. *Environmental Conservation*, 38(3). <https://doi.org/10.1017/S0376892911000270>
- Sorell, T. (1994). *Scientism: Philosophy and the Infatuation with Science*. Routledge
- Sorell, T. (2013). *Scientism: Philosophy and the infatuation with science*. Routledge <https://doi.org/10.4324/9780203426975>
- Vaughan, H. H., Waide, R. B., Maass, J. M., & Ezcurra, E. (2007). Developing and delivering scientific information in response to emerging needs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(4). [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[w8:DADSII\]2.0.CO](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[w8:DADSII]2.0.CO)





*Los residuos pesqueros, acuícolas y biomasa de algas: posibilidades de su aprovechamiento en la península de Yucatán Experiencias transdisciplinarias/sustentables con enfoque a la soberanía alimentaria* se terminó de diseñar en la ciudad de Xalapa, Veracruz en diciembre de 2024.  
Se utilizó tipografía Garamond en 12 puntos.



La presente obra emerge del proyecto *Desarrollo e implementación de metodologías sustentables para el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas de la península de Yucatán, para su valorización como ingredientes alimenticios nutritivos y productos funcionales* [Propuesta No. 321295, Convocatoria Soberanía Alimentaria 2022-1 del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías], siendo una respuesta directa a los desafíos que enfrentan las comunidades de la península de Yucatán, amenazadas por prácticas insostenibles, desigualdades económicas-sociales y la necesidad inherente de asegurar su soberanía alimentaria.

Este libro no es solo un compendio de conocimientos científicos y tecnológicos, sino también un testimonio del esfuerzo conjunto entre la comunidad científica y las comunidades locales, teniendo como eje central la *Transdisciplina* (integración de saberes científicos y tradicionales). A lo largo de estas páginas, los lectores encontrarán ejemplos concretos de cómo la ciencia puede y debe dialogar e integrar los saberes locales, creando puentes que fortalezcan la autonomía alimentaria y promuevan la equidad social. Cada capítulo, además de ofrecer un contenido técnico riguroso en un lenguaje amable, se enriquece con experiencias de campo, testimonios y reflexiones surgidas del trabajo directo con las comunidades de la península.

Finalmente, con esta obra se rinde **homenaje a las comunidades de la península de Yucatán**, cuya participación y conocimientos han sido fundamentales para la culminación de este proyecto. Esperamos que los lectores se sientan inspirados a continuar explorando y aplicando los principios aquí expuestos, contribuyendo así a un mundo más justo y sostenible.