



AMBIENTE, ALIMENTACIÓN y SALUD PARA EL BIENESTAR



Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo



EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA

Jaqueline García Hernández
Adrián Hernández Mendoza
Juana María Meléndez Torres
María Isabel Ortega Vélez
Arturo Ruiz Luna
(coordinadores)



Ambiente, alimentación y salud para el bienestar



**Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo**



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.360](https://doi.org/10.52501/cc.360)




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+I
COLECCIÓN
**CIENCIA e
INVESTIGACIÓN**

Ambiente, alimentación y salud para el bienestar

JAQUELINE GARCÍA HERNÁNDEZ
ADRIÁN HERNÁNDEZ MENDOZA
JUANA MARÍA MELÉNDEZ TORRES
MARÍA ISABEL ORTEGA VÉLEZ
ARTURO RUIZ-LUNA
(coordinadores)



**Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo**



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Ambiente, alimentación y salud para el bienestar / coordinadores Jaqueline García Hernández y otros.— Ciudad de México : Comunicación Científica ; Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, 2025.(Colección Ciencia e Investigación).

401 páginas : gráficas, mapas ; 23 × 16.5 centímetros

DOI: 10.52501/cc.360

ISBN: 978-968-9738-59-6 (CIAD) ; 978-968-9738-59-6 (Comunicación Científica)

1. Promoción de la salud – Sonora (Estado). 2. Alimentación – Sonora (Estado). 3. Nutrición – Sonora (Estado). 4. Lactancia materna – Sonora (Estado). I. García Hernández, Jaqueline, coordinadora. II. Hernández Mendoza, Adrián, coordinador. III. Meléndez Torres, Juan María, coordinador. IV. Ortega Vélez, María Isabel, coordinadora. V. Ruiz-Luna, Arturo, coordinador.

LC: RA394.9 A43

DEWEY: 362.1 A43

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, y los derechos morales a los coordinadores Jaqueline García Hernández, Adrián Hernández Mendoza, Juana María Meléndez Torres, María Isabel Ortega Vélez y Arturo Ruiz-Luna. D. R. © 2025 Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2025

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2025, Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400, Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México, Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170 info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com  [comunicacioncientificapublicaciones](https://www.facebook.com/comunicacioncientificapublicaciones)  @ComunidadCient2

ISBN

DOI 10.52501/cc.360



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos. El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto, en <https://doi.org/10.52501/cc.360>

Índice

<i>Introducción</i>	13

TEMA 1 ALIMENTACIÓN, NUTRICIÓN Y SALUD

1. Lactancia en Sonora: evolución de las prácticas en cuatro décadas. Promoción, análisis nutricional y efectos en el crecimiento, <i>Ana María Calderón de la Barca, Graciela Caire Juvera, Rosario Román Pérez y Adriana Verónica Bolaños Villar</i>	23
2. Cáncer de mama, nutrición y salud en mujeres sonorenses, <i>Graciela Caire-Juvera, María del Socorro Saucedo-Tamayo, María José Navarro-Ibarra y Víctor Alexander Quintana-López</i>	39
3. Alteraciones del estado de nutrición de los adultos mayores mexicanos: datos más allá del índice de masa corporal, <i>Heliodoro Alemán Mateo, Julián Esparza Romero, Miriam Teresa López Teros y Helen Joceline Vidaña Espinoza</i> . .	57

4. Obesidad y estilo de vida de los indígenas del estado de Sonora: el caso de los O'oba (Pimas), Yoeme (Yaquis) y Comcáac (Seris), *Julián Esparza Romero, Ana Cristina Gallegos Aguilar, Heliodoro Alemán Mateo y Mauro Eduardo Valencia*. 73
5. Conductas alimentarias de riesgo: percepción corporal y bienestar en estudiantes universitarios, *Sandra Elvia Domínguez Ibáñez, María José Cubillas Rodríguez, Elba Abril Valdez y María Alejandra Córdova Moreno* 87

TEMA 2

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD

6. El valor de la biodiversidad en las actividades productivas en el estado de Sonora, *Jaqueline García Hernández, Juan Pablo Gallo-Reynoso, Arturo Ramírez-Valdez y Alfonso Gardea-Béjar* 105
7. Agentes patógenos en cultivos de camarón y tilapia: un riesgo para la subsistencia de la producción acuícola en México, *Sonia Araceli Soto Rodríguez, Rodolfo Lozano Olvera, Francis Isela Marrujo López y Karla Guadalupe Aguilar Rendón*. 125
8. Metal(oid)es en ecosistemas costeros de Sonora: Impactos y riesgos, *Martín Enrique Jara Marini, Leticia García Rico y Jaqueline García Hernández* 139

TEMA 3

SISTEMAS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES

9. Manejo integral para la producción de maíz sustentable en el Alto Mezquital, Hidalgo, *Rosina Cabrera Ruiz, Víctor Manuel González-Mendoza y Juan Pablo Pérez-Camarillo* 153

10. Red de conocimiento sobre tecnologías acuícolas sostenibles.
Un análisis a partir del cultivo de camarón en el norte de Sinaloa, *Jorge Inés León Balderrama, José Crisóforo Carrazco Escalante y Yasser Enrique Monsivais Neria* 169
11. El Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México (LNCRTM): su incidencia social y aportación para la atención de la soberanía y seguridad alimentaria y nutricional a través de la acuicultura de tilapia en micro y pequeña escala y su cadena de valor, *María Soledad Delgadillo Tiburcio, Carmen Paniagua Chávez, Alberto Asiáin Hoyos y Francisco Javier Martínez Cordero* 187

TEMA 4

APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

12. Aprovechamiento de productos agrícolas, pecuarios y pesqueros en la producción artesanal de alimentos, *Miguel Ángel Mazorra-Manzano, Juan Carlos Ramírez-Suárez, José Guadalupe Gamboa-Alvarado y José Luis Valenzuela-Lagarda* 207
13. Estudios sobre la calidad y bioactividad de quesos genuinos mexicanos para su revalorización, *Belinda Vallejo-Córdova, Aarón Fernando González-Córdova, Adrián Hernández Mendoza y Lilia María Beltrán-Barrientos* 225
14. Alimentos derivados de la pesca y sus coproductos, *Ramón Pacheco Aguilar y María Elena Lugo Sánchez* 241
15. Desarrollo de alimentos para la producción de proteína de alta calidad de origen acuícola, *Crisantema Hernández González, Cynthia Esmeralda Lizárraga-Velázquez, Erika Yazmín Sánchez-Gutiérrez y Lizeth Carolina Flores-Méndez* 253

TEMA 5
INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS
CON IMPACTO EN LA ALIMENTACIÓN Y LA SALUD

16. Utilización de la tecnología del ADN recombinante para asegurar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios agrícolas relacionados con el manejo postcosecha, *María-Elena Báez-Flores y Martín-Ernesto Tiznado-Hernández* 273

17. Uso de la inmunoproteómica en el CIAD como una herramienta para identificar y caracterizar alérgenos en polen de árboles en el desierto de Sonora, *Martha Beatriz Morales-Amparano, Angélica Espinosa-Plascencia y José Ángel Huerta-Ocampo* 295

18. Impacto de la sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente en la calidad del pan, *Francisco Vásquez-Lara, Alma Rosa Islas-Rubio, Nina Gisella Heredia-Sandoval y María del Carmen Granados-Nevárez* 315

TEMA 6
POLÍTICAS ALIMENTARIAS Y SOCIALES

19. Evaluación de la política de etiquetado frontal en alimentos para las regiones de México, 2016-2020-2022, *Carlos Gabriel Borbón-Morales, Juan Carlos Guimond-Ramos y Juan Mejía Trejo* 331

20. Políticas públicas integrales de discriminación social positiva en atención a la niñez: ¿por qué y para qué en Sonora, México?, *Ana Isabel Valenzuela Quintanar, Berenice Ochoa Nogales, Adrián Israel Yáñez Quijada y Beatriz Olivia Camarena Gómez* 347

Sobre los autores 361

DICTAMINACIÓN

El contenido de esta obra editorial fue dictaminado por pares académicos externos a la institución mediante el método de doble ciego. Agradecemos el tiempo que gentilmente dedicaron a la revisión de los capítulos y a sus instituciones de adscripción.

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ).

Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav).

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. (CIBNOR).

Colegio de Posgraduados (COLPOS).

Consultor Independiente.

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

El Colegio de Sonora (COLSON).

Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS).

Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).

Instituto Nacional de Salud Pública (INSP).

Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Instituto Tecnológico de Durango (TECNM-IT Durango).

Instituto Tecnológico de Mazatlán (TECNM-ITMAZ).

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).

Instituto Tecnológico de Tepic (TECNM-ITT).
Instituto Tecnológico de Veracruz (TECNM-ITVER).
Instituto Tecnológico Superior de Acayucan (ITSA).
Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC).
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).
Universidad Autónoma de Baja California (UABC).
Universidad Autónoma de Chapingo (UACH).
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).
Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC).
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).
Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).
Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS).
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH).
Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).
Universidad de Arizona (ASU).
Universidad de Guanajuato (UGTO).
Universidad de Sonora (UNISON).
Universidad Estatal de San Diego (SDSU).
Universidad Estatal de Sonora (UES).
Universidad Latina de Costa Rica (ULCR).
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
Universidad Politécnica de Pachuca (UPP).
Universidad Politécnica de Sinaloa (UAS).
Universidad Veracruzana (UV).

Introducción



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.00.01>

La investigación en México se ha organizado desde hace varias décadas dentro del sistema federal de ciencia y tecnología (CONACYT, ahora SECIHTI), compuesto por varios centros públicos de investigación, los cuales se encuentran distribuidos en las diferentes regiones del país. En la región Noroeste, se albergan algunos de ellos, entre los que se encuentra el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD).

Como parte del sistema de Centros Públicos, el CIAD se fundó en 1982 en la ciudad de Hermosillo, Sonora, y se concibió como un espacio multidisciplinario para atender y dar respuesta a las diversas problemáticas alimentarias y de desarrollo regional en el noroeste del país; de manera particular en las áreas de alimentación, nutrición, salud, desarrollo regional y recursos naturales, mediante la generación, aplicación y difusión de conocimiento científico-tecnológico, la innovación y la formación de recursos humanos de alto nivel. Poco a poco su presencia e incidencia se han ampliado a otras regiones del país.

En la actualidad, la alimentación presenta diversos desafíos, como el cambio climático, la seguridad y la sostenibilidad alimentaria y ambiental, la desigualdad social, cultural y económica, elementos que interactúan de manera compleja y multidimensional e influyen tanto directamente como indirectamente en la calidad de vida de la población y en el desarrollo sostenible y equitativo. A lo largo de sus ya 43 años de vida, el CIAD se ha abocado al estudio de la problemática alimentaria desde una visión amplia y

multidisciplinar, lo que lo ha convertido en un referente regional, nacional e internacional. Asimismo, el Centro ha contribuido de manera sustancial a la formación de investigadoras e investigadores de gran nivel, y a entablar una vinculación amplia y sostenida con los diferentes sectores sociales, públicos, privados y gubernamentales.

De esta manera, surge el interés por generar una publicación que muestre los avances en el conocimiento y su aportación para la comprensión de la problemática alimentaria y de desarrollo regional que se han realizado desde las diversas líneas de investigación que conforman el quehacer del CIAD. En la presente obra intervinieron diversos(as) investigadores(as) de las diferentes Coordinaciones y Subsedes Académicas que conforman el CIAD, con textos cuyo contenido intenta reflejar, lo más amplia y fielmente posible, la diversidad de campos de competencia académica, así como la trayectoria y los avances logrados en materia de investigación e incidencia social de los distintos grupos académicos que lo conforman, en beneficio de la sociedad en general. En ese sentido, la presente obra es solo una pequeña muestra de las capacidades institucionales y del potencial de su personal académico y colaboradores(as) para impactar en temas de incidencia social, así como de interés regional, nacional y transnacional.

La presentación y organización de los capítulos que componen este libro se realizó de acuerdo con los siguientes ejes temáticos: (a) alimentación, nutrición y salud; (b) actividades productivas y riesgo ambiental y de salud; (c) sistemas alimentarios sostenibles; (d) seguridad y soberanía alimentaria; (e) innovación y desarrollo de nuevas tecnologías con impacto en la alimentación y la salud; (f) políticas alimentarias y sociales.

Dentro del primer eje temático: **alimentación, nutrición y salud**, el libro contiene cinco capítulos que abordan diversas problemáticas alimentarias asociadas a la nutrición y la salud en las distintas etapas de la vida y diversos grupos sociales, así como propuestas de solución, desde la prevención comunitaria hasta recomendaciones de política pública. En el primer capítulo las autoras presentan el desarrollo de varios proyectos sobre la lactancia materna y el crecimiento infantil, así como la vigilancia en hospitales públicos de Sonora y el desarrollo de materiales para la promoción del amamantamiento en la región. También analizan los aspectos culturales, económicos y sociales

que influyen las decisiones de las madres sobre el amamantamiento y la introducción y composición de otros alimentos en la alimentación infantil.

En el capítulo dos se relatan las experiencias de investigación en cáncer de mama (CaMa), de preocupante incidencia en la población mexicana, en general, y sonorense en particular, padecimiento para el cual la nutrición es uno de los principales factores asociados. Se hace referencia a que el riesgo de CaMa aumenta con la presencia de otras comorbilidades como diabetes y marcadores de enfermedades cardiovasculares y se discuten las consecuencias sociales y psicológicas de quienes padecen o han padecido la enfermedad.

En el capítulo tres, las y los autores examinan la prevalencia de alteraciones nutricionales en adultos mayores mexicanos y cuestionan la eficacia del índice de masa corporal (IMC) como único indicador para determinar el estado de nutrición, ya que puede subestimar el riesgo de desnutrición y obesidad en ese grupo de edad. Los resultados revelaron una alta prevalencia de riesgo de desnutrición en los adultos mayores mexicanos y muestran las consecuencias clínicas de estas alteraciones nutricionales. Se hace énfasis en la importancia de evaluar el estado nutricional de los adultos mayores a partir de múltiples parámetros y criterios, más allá del IMC.

En el capítulo cuatro se analiza la prevalencia de la obesidad y su relación con el estilo de vida de tres grupos indígenas del estado de Sonora, México: los Pimas, Yaquis y Seris. Se reporta un aumento significativo en la prevalencia de obesidad y obesidad abdominal en los tres grupos indígenas. Los autores concluyen que la obesidad es un problema significativo en estas poblaciones y que los cambios en la dieta y la actividad física, asociados con la adopción de un estilo de vida occidentalizado, son clave en el aumento de la obesidad y sus comorbilidades.

En el capítulo cinco las autoras presentan una investigación sobre la relación entre conductas alimentarias de riesgo (CAR), la percepción corporal y el bienestar en estudiantes universitarios sonorenses. Los resultados revelaron diferencias de género en las CAR, así como un mayor riesgo asociado con el trabajo y los ingresos familiares, observándose una relación inversa entre las CAR y el bienestar. A partir de los resultados, se recomienda implementar programas de educación nutricional y promover una imagen corporal saludable para mejorar la salud y el bienestar integral de la población.

En lo que corresponde a la temática de **actividades productivas y riesgo ambiental y de salud**, se incluyen tres capítulos que advierten sobre la relación entre las actividades productivas y la biodiversidad, los riesgos sanitarios en la producción acuícola y el riesgo de contaminación en las zonas costeras. Así, en el capítulo seis, las y los autores destacan la importancia de la biodiversidad como pieza clave para que las diversas actividades productivas primarias del estado de Sonora se puedan seguir realizando. Mencionan, además, que la reducción de la biodiversidad en el estado, resultado del desarrollo económico regional, ha impactado negativamente en los procesos ecosistémicos y que, a su vez, estos procesos pueden afectar las actividades económicas en el mediano y largo plazo. Se toman ejemplos de los impactos generados por la actividad agrícola extensiva, la ganadería, la sobrepesca y la actividad cinegética en la región, lo que los lleva a sugerir la adopción de prácticas más sostenibles para mitigar estos riesgos medioambientales.

Posteriormente, en el capítulo siete se subraya la importancia económica y social de la acuicultura en México, y se muestra a los cultivos de camarón y tilapia como las especies representativas de la actividad, fundamentales para la economía, subsistencia y seguridad alimentaria de diversas comunidades costeras en México. Sin embargo, tanto las especies cultivadas como los consumidores pueden estar afectados por agentes patógenos, por lo que se señala la importancia del monitoreo sanitario y el diagnóstico temprano y preciso para la contención de brotes infecciosos, garantizando con ello la sostenibilidad de la producción acuícola y sus beneficios sociales.

Otro aspecto de la relación entre el medioambiente y la salud pública se expone en el capítulo ocho, en el que los autores advierten sobre los riesgos asociados con la alimentación mediante la ingestión de contaminantes orgánicos, metales y metaloides, presentes en plaguicidas y fertilizantes agrícolas, así como en descargas urbanas. Estos se acumulan en sedimentos, el agua y la atmósfera, y representan un riesgo tanto para los ecosistemas como para las poblaciones expuestas. Se pone de manifiesto la necesidad del control de estos contaminantes y su monitoreo en la cadena alimentaria, sobre todo en especies acuáticas que actúan como bioacumuladores y ponen en riesgo la salud humana, particularmente de grupos vulnerables como mujeres embarazadas y niños.

Dentro de la temática de **sistemas alimentarios sostenibles**, se cuenta con la colaboración de tres capítulos de gran relevancia para plantear soluciones complejas a la producción alimentaria sustentable, coadyuvantes en el combate a la inseguridad alimentaria en nuestro país. En el capítulo nueve, las y los autores presentan los resultados de un trabajo participativo con las comunidades indígenas Nāhñu, del Valle del Mezquital, en donde se realizaron talleres sobre el uso de buenas prácticas agrícolas y el uso de microorganismos benéficos, nativos del suelo, para la sustitución gradual de plaguicidas y fungicidas en la región. Los resultados muestran un mayor rendimiento en la producción de maíz en parcelas tratadas, comparado con el obtenido en parcelas sin tratamiento, lo que indica que estas prácticas agroecológicas son un eje central para una agricultura sustentable de los pequeños productores del Valle del Mezquital.

En la segunda participación de este bloque, en el capítulo diez, las y los autores comparten una visión novedosa sobre cómo difundir las Tecnologías Acuícolas Sostenibles (TAS) entre pequeños productores que enfrentan barreras económicas, sociales, culturales y de información, a través de un sistema de redes de conocimiento (RC) en el municipio de Ahome, Sinaloa. Sus resultados mostraron una red centralizada con patrones jerárquicos, que tiende a obstaculizar la transferencia de conocimiento; sin embargo, esta condición se ve atenuada por el papel de diversas asociaciones, universidades y centros públicos de investigación. Una mejor difusión de las TAS es clave para una acuicultura sostenible y un mayor beneficio social y económico en esta importante actividad del noroeste de México.

Por otra parte, en el capítulo once, se detalla la historia y los resultados generados a partir de la conformación del Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia, México (LNCRTM), una importante red de producción nacional que, más que un grupo de acuicultores, es una organización formada por pequeños y medianos productores de tilapia, así como por comunidades que presentan inseguridad alimentaria y que, junto con la academia, el gobierno y las empresas, forman una red de producción de tilapia sustentable para el autoconsumo y la producción. El modelo demostró ser exitoso desde su inicio y busca consolidar el consumo de tilapia a nivel nacional para con ello contribuir a la seguridad alimentaria del país. Asimismo, los autores sugieren que aún hay retos que superar, como la regulación,

el microfinanciamiento, el tema sanitario y la motivación de las nuevas generaciones.

En la temática de **aprovechamiento de productos y subproductos**, los trabajos del CIAD han contribuido a dimensionar los problemas de contaminación ambiental por la excesiva generación de residuos agroindustriales. A su vez, han evidenciado el valor oculto de estos subproductos y han propuesto alternativas de procesos sustentables para la generación de nuevos productos con incidencia en el bienestar social. Bajo esta perspectiva, en el capítulo doce, los autores desarrollaron un ensayo para mostrar la abundancia de algunas especies animales y vegetales en ciertas regiones del país, los cuales son recursos que pueden ser aprovechados de manera sustentable para apoyar las economías regionales y la soberanía alimentaria nacional. Destacan el aprovechamiento de subproductos para el desarrollo de productos artesanales nutritivos y con propiedades benéficas para la salud; no obstante, enfatizan que aún se requieren acciones que permitan comercializar dichos productos en regiones apartadas de las zonas donde se producen, así como ofrecer opciones para el aprovechamiento y/o la transformación de aquellos productos que sobrepasan la demanda local.

En el capítulo trece, las y los autores abordan las investigaciones científicas de su grupo y otros trabajos relacionados, dirigidos al estudio de la calidad y bioactividad de quesos mexicanos genuinos para su rescate y revalorización. Sus hallazgos, además de documentar los distintos métodos de producción y la identificación de la microbiota bacteriana característica de quesos frescos y otros semi madurados, también han contribuido a la generación de estrategias para la preservación de los quesos a través del uso de bacterias específicas que, además, confieren características sensoriales únicas típicas del queso fresco genuino mexicano y su beneficio potencial en la salud (probióticos).

Las y los autores del capítulo catorce comparten los resultados de 35 años de investigación sobre la utilización de desechos y subproductos de la industria pesquera para su transformación en co-productos bioactivos e ingredientes alimentarios de alta funcionalidad tecnológica. Este viaje va desde la obtención de ácidos grasos esenciales, concentrados de enzimas digestivas, la obtención y caracterización de péptidos con distintas bioactividades a la recuperación de colágeno y otras proteínas funcional-tecnológicas.

Finalmente, como ya se mencionó, existe evidencia de que algunos subproductos agrícolas y acuícolas son fuente potencial de aislamiento de compuestos con distintas propiedades benéficas para la salud de quien los consume. Por lo tanto, ambos tipos de residuos se han aprovechado para la formulación de diferentes productos dirigidos a la alimentación humana y animal.

En el caso particular de los alimentos acuícolas, en CIAD se han desarrollado diferentes trabajos. En este sentido, en el capítulo quince las autoras ofrecen un panorama de sus estudios dirigidos a la inclusión de hidrolizados de atún, quitosano, harinas vegetales (soya, canola y gluten de maíz), cáscaras de mango, rastrojo de maíz y agavina como aditivos en alimentos acuícolas, y su efecto como promotores de crecimiento, moduladores del estrés oxidativo y de la salud y microbiota intestinal, en diferentes especies marinas y de agua dulce.

Por otra parte, la tecnología y los avances científicos en la alimentación han permitido desarrollar, con procesos más sostenibles y eficientes, alimentos y bebidas que se adaptan mejor a las demandas de los consumidores de una manera segura. Dentro del eje temático de **innovación y desarrollo de nuevas tecnologías con impacto en la alimentación y la salud**, se presentan tres contribuciones que muestran un panorama general de las investigaciones que se desarrollan en el CIAD. Inicialmente, desde el paradigma de la sostenibilidad en el capítulo dieciséis, las y los autores presentan un ensayo en el que argumentan por qué consideran que el ADN recombinante representa una alternativa viable para la producción agrícola sostenible, principalmente en la reducción de las pérdidas postcosecha de alimentos. Presentan una serie de ejemplos en los cuales esta tecnología ha tenido éxito y proponen una serie de alternativas para que su uso en México sea viable y se pueda transitar hacia sistemas de producción agrícola más sostenibles en beneficio del ambiente y la salud de la población mexicana.

En la siguiente contribución, capítulo diecisiete, las y los autores describen de forma concisa la importancia de los pólenes como aeroalergenos con repercusiones para la salud humana y comparten la experiencia de cómo sus estudios han permitido identificar y caracterizar algunas proteínas alérgicas de importancia clínica, provenientes del polen de árboles de zonas desérticas, que representan valor nutricional, de sustentabilidad y econó-

mico para la región y el país. Para concluir esta sección, en el capítulo dieciocho, se analiza la importancia del uso de las mezclas de harinas (ricas en almidón y/o en proteínas) y cereales alternativos al trigo, que tienen la capacidad de panificación y que pueden ser una alternativa a la escasez de trigo panadero que actualmente se vive en el país y a nivel mundial. Estos estudios evidencian que la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente permite crear formulaciones con buenas propiedades sensoriales y tecno-funcionales, con los atributos nutricionales y beneficios asociados al contenido de compuestos bioactivos presentes en la avena, lo que puede coadyuvar en la reducción del riesgo de enfermedades crónico-degenerativas.

Para cerrar esta obra, la temática de **políticas públicas y regulación** se compone de dos trabajos. En el capítulo diecinueve, los autores realizaron una evaluación de la política del etiquetado nutricional en México a partir de un estudio macroeconómico en el que se evaluó el impacto del etiquetado de alimentos con alto contenido energético en relación con el gasto de alimentos de los hogares de localidades urbanas, segmentados por región geográfica y en tres periodos. El último trabajo, al exponer los trabajos realizados por el grupo de investigación que propone el capítulo veinte, da respuesta a la pregunta de por qué y para qué es necesaria en Sonora la introducción de políticas públicas integrales de discriminación social positiva en la población infantil que reside en comunidades con alto nivel de marginación y exposición a agroquímicos.

Es así como los trabajos incluidos en esta obra editorial pretenden dar al lector una visión general, aunque no exhaustiva, del tipo de investigación que se realiza en el CIAD. Históricamente, el quehacer del Centro incluye la investigación básica y aplicada y trasciende en el tiempo, buscando la incidencia social desde un enfoque transdisciplinario, que se complementa con la docencia y la vinculación. Esperamos que, a través de su lectura, la comunidad académica y el público en general puedan conocer un poco más la naturaleza del CIAD, su misión y compromiso continuo con la sociedad.

Comité editorial

Tema 1

ALIMENTACIÓN, NUTRICIÓN Y SALUD

1. Lactancia en Sonora: evolución de las prácticas en cuatro décadas. Promoción, análisis nutricional y efectos en el crecimiento



ANA MARÍA CALDERÓN DE LA BARCA*

GRACIELA CAIRE JUVERA**

ROSARIO ROMÁN PÉREZ***

ADRIANA VERÓNICA BOLAÑOS VILLAR****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.01>

Resumen

Las influencias ambientales durante los primeros meses de vida tienen consecuencias inmediatas y mediatas en la salud; por eso, es indispensable el amamantamiento y la calidad de la dieta materna, que influye en la composición de la leche para el lactante. Hace cuatro décadas se desconocía que el crecimiento acelerado del lactante aumentaba el riesgo de obesidad futura. Tampoco se sabía que los antibióticos afectaban la microbiota intestinal del niño, y con ello, el desarrollo de su inmunidad y salud. A pesar de ignorar estos principios, sabíamos de las ventajas del amamantamiento. Desde 1986, como investigadoras, nos interesó esta temática y en el presente capítulo compartimos nuestras experiencias aprendidas desde entonces hasta hoy. Dividimos el capítulo en cinco subtemas: (a) regímenes de lactancia y promoción del amamantamiento; (b) sucedáneos de la lactancia y fórmulas especiales; (c) cuantificación de leche materna ingerida; (d) dieta materna

* Doctora en Ciencias de la Vida. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6684-9320> ; correspondencia: amc@ciad.mx

** Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1562-795X>

*** Doctora en Ciencias Sociales. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2337-8917>

**** Maestra en Ciencias. Investigadora asociada en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8603-1809>

y velocidad de crecimiento de lactantes y (e) microbiota de lactantes amamantados en exclusiva o parcialmente. En el camino, hemos aprendido, junto a nuestros estudiantes, sobre el amamantamiento, así como de madres y lactantes de nuestra población. De 1986 a 2025, ha aumentado el amamantamiento hasta los 5 meses de edad, con cifras de 9% desde nuestros inicios a 19% para el estado de Sonora y el 30% para Hermosillo. Hace falta más investigación y promoción de la importancia de esta práctica, para que más niños crezcan con salud, a velocidad adecuada, y se pudiera disminuir la prevalencia del sobrepeso y la obesidad en el futuro.

Palabras clave: *lactancia sonorese, promoción del amamantamiento, calidad nutricional y crecimiento.*

Introducción

Seguido nos enteramos de los problemas graves de salud de familiares y amigos como consecuencia de enfermedades crónico-degenerativas, asociadas al exceso de peso corporal. No se trata de una problemática local, sino que la obesidad es una pandemia; tan sólo en niños y adolescentes del mundo, aumentó de 8 a 20% entre 1990 y 2022, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024). Se intenta tratarla con dietas restrictivas y ejercicios exhaustivos difíciles de mantener, por eso se prueban intervenciones novedosas para lograr cambios en niños y adultos. Además de los esfuerzos que se realizan, parte de la solución podría estar en el inicio de la vida, donde se originan las bases de la salud y la enfermedad, según una hipótesis en boga (DOHaD, por sus siglas en inglés).

La hipótesis DOHaD postula que la exposición a influencias ambientales durante los periodos críticos de desarrollo y crecimiento tiene consecuencias en la salud a corto y largo plazo (Mandy y Nyirenda, 2018). El concepto no es difícil de aceptar si se considera que el ambiente induce cambios epigenéticos en el feto, y continúa induciéndolos en etapas tempranas de la vida. Es decir, la genética heredada sufre cambios sutiles, pero importantes, debido al medio ambiente. Uno de los factores más destacables es la composición de la dieta materna durante el embarazo y su efecto en la composi-

ción de la leche para el lactante amamantado (Argüelles López y Calderón de la Barca, 2023).

Hace algo más de 30 años, no estaba en boga la hipótesis DOHaD ni tampoco había evidencia de que el lactante con crecimiento acelerado tuviera muy alto riesgo de obesidad en el mediano y largo plazo. Incluso hoy, se mide y pesa al lactante en un momento dado de su vida y únicamente se compara su puntaje de peso propio de la edad o la talla con el de una referencia aceptada. Al evaluar la velocidad de crecimiento se pondría de manifiesto que la lactancia con fórmula, aun en forma mixta con leche materna, induce una aceleración y conlleva riesgos.

Otra causa de la obesidad y sus consecuencias, así como del desarrollo incluso de algunas enfermedades autoinmunes, es el desequilibrio de la microbiota intestinal, cuya composición madura gradualmente desde el nacimiento. Los componentes de la leche materna son indispensables para lograr la correcta maduración y el equilibrio de la microbiota, mientras que los antibióticos lo perturban. En nuestro país hasta hace pocos años no había restricción para los tratamientos con antibióticos durante el periodo

Figura 1.1. Línea del tiempo de 1986 al 2024 que indica los principales temas tratados en torno a la lactancia, sus regímenes, su promoción, los efectos en el crecimiento y su aceleración, el volumen ingerido en amamantamiento, la dieta y composición corporal maternas, así como la microbiota del lactante



Fuente: elaboración propia.

de la lactancia. Así, entre la falta de amamantamiento, que induce maduración temprana de la microbiota (Ma et al., 2022), y el uso de antibióticos, se afectaba la salud del lactante y aumentaba el riesgo de obesidad futura.

A pesar del desconocimiento de las bases científicas antes comentadas, sí sabíamos hace más de 30 años, y seguimos convencidas, de que la mejor forma de alimentar a un lactante es amamantándolo, pues tiene grandes beneficios para la salud del niño y de la madre. Por esto, desde 1986 como investigadoras nuevas de CIAD, nos dimos a la tarea de trabajar en esta temática. En el presente capítulo, compartimos nuestras experiencias organizadas por temas; además, en la figura 1.1 presentamos una línea del tiempo de la evolución de nuestro trabajo, enunciando solo palabras clave de los proyectos.

Regímenes de lactancia y acciones de promoción del amamantamiento

Estudios fundacionales

El estudio inicial en 1986 sentó las bases de nuestro trabajo como investigadoras de CIAD sobre la lactancia en Hermosillo, Sonora. Su objetivo fue catalogar los regímenes de lactancia, así como detectar los factores psicosociales involucrados en la lactancia al pecho. Con la información obtenida, en 1990 iniciamos un programa de promoción de la lactancia apoyado con materiales videograbados. Dos años después, evaluamos técnicas educativas para promover la lactancia al pecho e identificar los factores sociofamiliares asociados. En 1996, diseñamos un estudio análogo al de 1986 para analizar los cambios 10 años después en la prevalencia de la lactancia al pecho y los factores asociados (Román Pérez et al., 1998).

Seleccionamos la muestra de madres para los estudios de prevalencia al azar. Definimos su tamaño a partir del universo de mujeres en edad fértil por AGEB y el número de nacimientos en el año previo (1 146) en Hermosillo, Sonora, de acuerdo con datos del INEGI. En 1986 encuestamos a 214 madres y en 1996 a 314. En el estudio inicial, invitamos a las madres que se encontraban en hospitales tanto públicos como privados y las visitamos en sus hogares para encuestarlas a los 30 y 90 días postparto (pp). Para el estu-

dio comparativo de 1996, buscamos los datos de los 90 días pp. Como los recursos eran limitados, optamos por una sola entrevista en hogares con niños menores de 12 meses. En ambos estudios, registramos los datos de enero a junio para cubrir variaciones ligadas al clima. Asimismo, cabe destacar que las madres eran de diferentes estratos socioeconómicos.

La encuesta en ambos estudios sobre la lactancia incluyó preguntas abiertas sobre datos generales de las madres y los infantes, así como las características del lugar de residencia. Preguntamos el tipo de alimentación del lactante el día de la entrevista, razones de tal elección, así como los motivos para abandonar la lactancia al pecho o cambiar a lactancia mixta. Registramos el tipo de sucedáneo utilizado y las razones para seleccionar una fórmula infantil en particular. Según la respuesta a la pregunta: ¿cómo está alimentando al niño?, clasificamos el régimen de lactancia.

El primero fue lactancia materna exclusiva (solo pecho, agua o incluso tés); el segundo, lactancia con fórmula infantil (únicamente fórmula, además de tés); finalmente, lactancia mixta (en la cual, además del pecho, se daba al menos un biberón de fórmula infantil). En cuanto a las características maternas, los datos fueron muy similares en ambos estudios (1986 y 1996) en cuanto a la edad, escolaridad y el número de hijos. Respecto al estado civil, aunque el promedio de casadas fue similar, hubo menor número de madres solteras y un poco más que se encontraban en unión libre en 1996 en comparación con 1986.

Los regímenes de lactancia entre los dos periodos estudiados experimentaron cambios importantes. La lactancia materna exclusiva aumentó de 9.2% en 1986 a 48.6% en 1996; la diferencia se debió a la lactancia con fórmula infantil, que se redujo de 24.6 a 12.2%, como el régimen de alimentación mixta que cayó de 66.1 a 39.2%. Las razones para dejar la lactancia exclusiva al pecho variaron. En ambos estudios, las madres argumentaron insuficiencia láctea y problemas de salud como las razones principales para dejar de amamantar. En 1996 se dieron nuevas razones, como el regreso al trabajo o los estudios. En cuanto a los productos utilizados para la lactancia, en 1986 se daba leche entera en polvo al 33.3% de los lactantes, lo que cambió en 1996 y pasó a un 7.5% (Román Pérez et al., 1998).

Nos dio gusto encontrar un aumento en la prevalencia de la lactancia al pecho en 1996, la cual distaba mucho del ideal, pero fue un gran avance.

El incremento se debió, en gran medida, a la iniciativa del Hospital Amigo del Niño y de la Madre, que eliminó la entrega gratuita de fórmulas infantiles y promovió el alojamiento conjunto inmediatamente después del parto. Sin embargo, para crecer y mantener el cambio entonces y ahora, se requiere profundizar en el significado de la lactancia al pecho para las madres y las barreras u obstáculos que ellas perciben para mantenerla.

Mediante los estudios previos aprendimos mucho sobre la cultura de la alimentación de los lactantes en nuestra población. Así, al apegarse las instituciones hospitalarias públicas del Estado de Sonora a la Iniciativa Hospital Amigo del Niño y de la Madre en 1995, nos encontrábamos bien preparadas para apoyar la promoción de la lactancia al pecho. Ese año y el siguiente, impartimos varias pláticas en diversos foros de madres, enfermeras, pediatras y otros especialistas.

Otras acciones de promoción del amamantamiento

En el 2011, actualizamos la información sobre los obstáculos que enfrentan las madres para iniciar y mantener la lactancia al pecho. Para esto, seguimos y apoyamos a 91 madres hermosillenses desde el parto. Registramos los motivos por los que dejan de amamantar parcial o totalmente.

A los 15 días pp, el 26% de las madres no instauró la lactancia al pecho porque sentían que no llenaban al lactante o no producían suficiente leche. El segundo motivo fue debido a grietas o congestión en los pechos o pezones planos o invertidos. Aportamos prácticas y ejercicios para corregir esto último. Un 14% de las madres mencionaron otros motivos como el rechazo del pecho, enfermedad de ella o de su hijo, llanto del niño y el intento de —acostumbrar al niño al sabor de la fórmula—. Pasados los 2 meses pp, un 12% de las madres siguieron aduciendo como motivo “no lo lleno o no produzco suficiente leche”; un 15% lo abandonó por causas diversas, incluyendo el regreso al trabajo o a la escuela. A los 3 meses pp, 12% de las madres habían dejado de amamantar por los motivos antes anotados, 6% de ellas por —insuficiencia láctea—. El pequeño restante continuó amamantando por más de 5 meses pp (Bolaños et al., 2012).

Con los resultados del seguimiento a las madres y otro proyecto sobre la cantidad, calidad y suficiencia de su leche producida, diseñamos y elaboramos 5 infografías para consejería y apoyo al amamantamiento. Estas consistieron en 2 folletos y 3 tarjetones que ilustran la esencialidad y suficiencia de la leche materna en cantidad y calidad, sus ventajas, así como el cuidado de los pechos. Las evaluamos en grupos focales de madres y, de acuerdo con los comentarios, las modificamos en cuanto al diseño gráfico o contenido (Bolaños et al., 2012).

En 2013, realizamos una intervención en el Hospital Infantil del Estado de Sonora (HIES) para evaluar la efectividad de las infografías en la promoción de la lactancia al pecho. De las 1705 madres a quienes proporcionamos los materiales impresos en la etapa perinatal, perdimos el 57% a los 2 meses pp. Aunque al salir del hospital el 99% planeaba amamantar, lo hizo el 92%, en comparación con el 78% de un grupo de referencia no intervenido. Al proporcionarles 3 infografías, una en el parto y dos al alta del hospital, se promovió el amamantamiento del 95% de las participantes. Sin embargo, el amamantamiento no fue exclusivo sino mixto, debido a diferentes factores que no evaluamos; entre otros, quizá porque no incluimos el criterio de exclusividad en las infografías (Bolaños Villar et al., 2023).

Los archivos digitalizados con los diseños originales de las infografías los donamos a la Secretaría de Salud del Estado de Sonora, recién evaluado su efecto. Hoy, habría que rediseñarlos, actualizar la información y usar aplicaciones de celular y redes sociales para mayor brindar una mayor accesibilidad a las madres.

Teníamos que actualizar la información y los medios de acceso porque, en los últimos años, han surgido grupos de promoción de la lactancia en Hermosillo, Sonora, por medio de redes sociales. Las mismas madres mantienen y dirigen algunos de los grupos, con hasta 5 000 madres participantes, donde las madres preguntan y solicitan ayuda que otras madres atienden y ofrecen consejos. Hay otros grupos menos amplios en donde se conectan por WhatsApp para apoyarse entre madres.

Es de admirar que las madres en los grupos de lactancia mantengan el amamantamiento exclusivo, al menos durante los primeros 5 meses del niño. Esto lo hemos podido constatar en nuestro último estudio que enfatiza la velocidad de crecimiento del lactante amamantado. Aunque estamos en

proceso de análisis de los datos, la muestra ya está completa y solo el 7% de las madres participantes no amamantó hasta los 5 meses (Argüelles López, 2024). Un problema fuerte que se encontraba en estudios previos era la gran pérdida de participantes.

Debido al éxito en la permanencia de las participantes, estamos elaborando material para trabajar en la promoción del amamantamiento exclusivo por medio de redes sociales.

Sucedáneos de la lactancia y fórmulas para una nutrición especial

Desde las encuestas recabadas en 1986 en Hermosillo, nos llamó la atención no solo la muy baja prevalencia de amamantamiento, sino la amplia variedad de sustitutos de la leche materna. En especial, nos atrajo el aporte de proteínas, indispensables para el buen desarrollo, pero que también son posibles “culpables” de las alergias alimentarias en los lactantes muy comunes en la localidad.

Composición de las fórmulas infantiles

En los estudios previamente comentados, encontramos que se alimentaba al lactante no solo con una diversidad de fórmulas infantiles, sino hasta con leche entera de vaca, fresca, evaporada o en polvo. Además, la introducción de alimentos sólidos era muy temprana y se usaban muchos cereales en polvo para adicionar las fórmulas o incluso la leche del lactante.

Motivadas por la información previa, nos dimos a la tarea de estudiar las fórmulas infantiles más utilizadas para alimentar a los lactantes en Hermosillo. Analizamos sus proteínas en comparación con las de la leche humana, así como su apego a la regulación sanitaria (Calderón de la Barca et al., 1996). Para alcanzar estos objetivos, revisamos 241 de nuestras encuestas de estudios previos.

Seleccionamos 19 fórmulas infantiles en polvo (inicio, seguimiento, especial, soya e hidrolizada), una leche entera líquida y 3 en polvo, así como

una evaporada. También colectamos leche materna de donadoras entre 3 y 5 meses posparto y analizamos las proteínas de todas las muestras.

Las fuentes proteicas en las fórmulas infantiles provenían de la leche de vaca: suero con leche descremada, caseínas con sólidos de leche, caseínas enteras o hidrolizadas; también, aislado o harina de soya. En general, la proporción de proteína en los productos no era muy diferente de la etiquetada y los fabricantes acataban la reglamentación sanitaria de ese tiempo, que actualmente es similar.

La fuente misma de proteína en las fórmulas infantiles puede ser un problema. La leche humana tiene menos caseínas (40%), mientras que la leche de vaca conforma hasta el 80% del total de las proteínas. Por esto, a las fórmulas infantiles, especialmente las de inicio, se añaden proteínas del suero; encontramos 44% de caseínas en promedio. Otro problema es la β -lactoglobulina, una proteína alergénica que no se produce en la leche humana, y la cual las fórmulas la contenían hasta en un 27% del total de proteínas. Detectamos el uso de fórmulas de soya para niños con alergia a proteínas de la leche de vaca. Estas no deberían ser la alternativa para los niños con dichas alergias, menos aún las elaboradas con harina de soya, la cual contiene proteínas con actividad biológica que pueden afectar su salud (Calderón de la Barca et al., 1996).

La información recabada nos ha sido muy útil en las actividades de promoción de la lactancia al pecho. La población debe de saber que las fórmulas pueden tener consecuencias en la salud y el estado nutricional del niño. Así, también la usamos para hacer recomendaciones para lactantes con alergias y otros problemas gastrointestinales, temáticas atendidas en gran parte de nuestra trayectoria de investigación.

Fórmulas para necesidades nutricias especiales

Continuamos el análisis de sucedáneos para la lactancia, estudiando la relación entre las prácticas de lactancia y las alergias alimentarias con alta prevalencia en nuestra área (Calderón de la Barca et al., 1997). Desarrollamos también una fórmula con proteína de soya modificada para la recu-

peración de lactantes con desnutrición severa (De Regil y Calderón de la Barca, 2004).

Pusimos en práctica en el HIES las fórmulas para la recuperación de la desnutrición, con proteína de soya modificada o con proteínas de leche de vaca. Una asociación privada internacional nos apoyó para donar la infraestructura de una sala para la preparación de fórmulas de recuperación de la desnutrición grave en el HIES. Además, una empresa europea nos aportó gratuitamente el ingrediente que provee vitaminas y minerales para las formulaciones.

Capacitamos periódicamente a estudiantes de licenciatura en nutrición, que atendieron durante varios años la preparación de fórmulas para la recuperación de la desnutrición.

Cuantificación de leche materna ingerida y efecto en la diada

El argumento número uno de las madres para dejar de amamantar en el primer mes pp ha sido y sigue siendo: “mi leche no es suficiente”, “mi leche no llena al niño”. Por esta razón, en 1997 participamos en una convocatoria de la Agencia Internacional de la Energía Atómica. La temática era la medición de la leche ingerida por el lactante, usando agua con deuterio, esto es, con un isótopo estable del hidrógeno. Propusimos un estudio comparativo de la leche materna de adolescentes y adultas en Hermosillo, con la de madres atendidas en el Instituto Nacional de Perinatología (INPER), en Ciudad de México.

Para el estudio contactamos a más de 200 madres saludables que habían recién parido en el HIES. En el INPER de Ciudad de México (CDMX) invitamos a 20 madres con la colaboración de la Dra. Esther Casanueva. Como el criterio de inclusión principal era la lactancia al pecho por al menos 3.5 meses pp, perdimos casi el 90% de la muestra y llegamos al final del estudio con solo 21 diadas en Hermosillo, así como con las 20 diadas del INPER. Sin embargo, al mes pp, cuando teníamos más mujeres de Hermosillo en el estudio, hicimos las evaluaciones anotadas en el siguiente párrafo. Todas las madres eran de nivel socioeconómico bajo, aunque entre las de CDMX eran más numerosas las de muy bajo ingreso en relación con las de Hermosillo.

Modificamos un método para cuantificar la ingestión de leche materna y analizamos su composición (Caire et al., 2002a). Al mes pp, cuando aún teníamos 27 adolescentes y 29 adultas en Hermosillo, evaluamos el efecto de la lactancia en la composición corporal materna, considerando factores antropométricos, de estilo de vida, y los fisiológicos (De Regil et al., 2002). A los 3.5 meses pp, examinamos la relación entre la composición corporal materna o la ingestión dietética con la composición de la leche (Caire et al., 2002b). Ya que la lactancia puede afectar el estado nutricional de las adolescentes aún en desarrollo, evaluamos su estado nutricional al inicio y a los 3.5 meses pp (Caire et al., 2004).

Evaluamos la ingestión de nutrientes y energía, así como los patrones dietéticos de las madres al mes pp, así como la asociación con su edad y región del país (Caire et al. 2007). En las 41 participantes totales de Hermosillo y CDMX, adolescentes y adultas, que amamantaron al menos 3 meses, evaluamos el efecto de esa práctica en su composición corporal (Caire et al., 2012).

En primer término, la leche ingerida por los lactantes era suficiente después de los 3 meses pp, independientemente de la edad materna o de la región de estudio (Hermosillo o CDMX). Entre los 2 y 3 meses de edad, los lactantes de Hermosillo tendieron a puntajes Z de peso para la longitud, mayores de 1; mientras que los de CDMX presentaron puntajes adecuados entre 0 y +0.5 (Bolaños et al., 2000). Al mes pp, el porcentaje de grasa corporal materno dependía del peso pre- y post-gestacional, sin influencia de la dieta, actividad física o la calidad de la leche producida. La región, ya fuera Hermosillo o CDMX, sí influyó en la composición de la leche (De Regil et al., 2002). Después de 3 meses pp, la grasa corporal de las madres tanto adolescentes como adultas se relacionó con la densidad energética y los lípidos en la leche producida. Al mes o a los 3 meses pp, la composición de la leche producida no se asoció con la dieta materna (Caire et al., 2002b). Respecto al efecto de la lactancia en las madres adolescentes, las de CDMX perdieron grasa corporal (29.3 a 24.4%) entre el inicio y los 3 meses pp, mientras que las de Hermosillo permanecieron con un 35% de grasa. Más que con la etnicidad, esto se relaciona con el ingreso económico, el cual es menor para las primeras (Caire et al., 2004).

En la muestra completa, 21 madres de Hermosillo y 20 de CDMX, después de 3 meses pp no hubo diferencias en peso ni índice de masa corporal

(IMC), entre adolescentes y adultas; asimismo, los volúmenes de leche producidos fueron similares. Tanto al mes como a los 3 meses pp, las madres adolescentes de CDMX tuvieron menor peso, IMC y grasa corporal que las de Hermosillo. El peso pregestacional fue un predictor de IMC a los 3 meses pp y tanto la región como el volumen de leche se asociaron con el porcentaje de grasa corporal (Caire et al., 2012).

Entre 1997 y 1998, las madres amamantando en Hermosillo ingerían más calorías que las de CDMX (2354 ± 1199 kcal vs 1690 ± 981 kcal), y dicha diferencia era igual respecto a la proteína, grasa, fibra dietética, sodio, hierro y folato. Las madres de Hermosillo consumían una menor variedad de vegetales y frutas que las de CDMX. Una dieta basada en frijoles refritos y tortillas de harina en las 3 comidas era lo más común en las hermosillenses, mientras que entre las de CDMX prevalecía el pan de dulce, diversos productos lácteos, tortillas de maíz y aguas de frutas (Caire et al., 2007).

Dieta materna y velocidad de crecimiento de lactantes

En párrafos previos mencionamos que la composición de la leche no se asoció con la dieta materna, cuando solo habíamos considerado los lípidos, la lactosa y la proteína. Actualmente, se conoce que los oligosacáridos y algunos compuestos minoritarios de la leche dependen de la dieta materna y son muy importantes para el desarrollo del lactante.

Evaluamos la dieta actual (2022-2024) de las madres, así como su asociación con el régimen de lactancia al pecho exclusivo o parcial. Usamos un cuestionario de frecuencia e identificamos los patrones dietarios por medio del análisis de los componentes principales. En general, la ingesta de grasas y sodio es excesiva, mientras que la de potasio se queda corta. Las madres siguen dos patrones dietéticos: el regional (61%) y el prudente o moderado (39%). En este último, consumen más proteína, calcio y potasio, con alimentos como frutas, verduras, pollo, pescado y huevos, que quienes siguen el regional, con carne y embutidos, productos de trigo, alimentos y bebidas azucaradas. Las madres que amamantan en exclusiva siguen más un patrón prudente o moderado que quienes amamantan parcialmente, cuyo patrón es el regional (Argüelles et al., 2024).

Al comparar los patrones dietéticos de las madres que amamantan en exclusiva entre las actuales (2022-2024) y las que estudiamos antes (1998-2000), se ven más favorecidas las primeras, quienes consumen menos energía y casi el 60% sigue un patrón prudente o moderado. Sin embargo, esto no se ve reflejado en la velocidad de crecimiento de sus hijos, la cual fue evaluada como la velocidad de ganancia de peso mediante el puntaje de peso para la edad condicional. En ambos grupos, solo el 15% tiene un crecimiento acelerado.

La dieta materna de las madres de Hermosillo y el efecto en la composición de su leche influyen en la velocidad de crecimiento del niño amamantado.

Detectamos en la leche materna un aportador de grupos metilo de la dieta materna, que se relaciona directamente con la velocidad del crecimiento adecuada. Asimismo, encontramos una asociación entre la cantidad de oligosacáridos en la leche y el crecimiento del lactante hasta los 12 meses de vida (estudio en proceso).

En el futuro inmediato diseñaremos material de promoción del amamantamiento exclusivo durante 6 meses, buscando los ingredientes o platillos recomendables y al gusto de las madres, con el fin de alcanzar el óptimo desarrollo del lactante amamantado.

Microbiota de lactantes total o parcialmente amamantados

Los componentes de la leche materna son indispensables para el crecimiento y la salud del lactante, pues se modulan finamente y se adecuan de un momento a otro para cubrir las necesidades fisiológicas en la salud y la enfermedad. Esto es algo que difícilmente lograrán las fórmulas infantiles. Esa variación en la composición láctea regula simultánea y finamente el desarrollo y la maduración de la microbiota intestinal del lactante. Al introducir fórmula infantil, la microbiota intestinal madura abruptamente, lo que afecta sus funciones tanto en el metabolismo como en la salud inmunitaria y se refleja en la trayectoria del crecimiento.

Estudiamos los efectos de la lactancia al pecho en exclusiva y los de la lactancia mixta durante los primeros 5 meses pp en relación con la microbio-

ta y la velocidad de crecimiento del niño hasta los 12 meses (Calderón de la Barca et al., 2024).

En cuanto a los géneros bacterianos, los niños amamantados tuvieron una mayor abundancia de *Bifidobacterium* (al menos 60%), mientras que, en los de lactancia mixta, fue de un 45%. Asimismo, el *Lactobacillus* también fue más abundante en los amamantados, lo cual es un tercio más que en los de lactancia mixta. En cuanto a las especies bacterianas, las diferencias fueron notorias por el régimen de lactancia: los amamantados presentaron *Bifidobacterium breve*, *B. bifidum*, *B. infantis* y *Lactobacillus fermentum* más abundantes que los lactados en régimen mixto.

La única especie de *Bifidobacterium* más abundante en estos últimos fue *B. adolescentis*, el cual no fue detectable en los niños amamantados. Además, los lactantes con régimen mixto presentaron una microbiota muy diversa, tendiendo a la madurez prematura, que no es favorable para el crecimiento y la salud del niño.

Al analizar la información del estudio, identificamos entre las variables evaluadas las predictoras del crecimiento acelerado de los lactantes. Así, *Bifidobacterium adolescentis*, que solo se detectó en los niños con lactancia mixta y como principal especie de este género, fue un predictor positivo del crecimiento acelerado. Por su parte, la duración del amamantamiento emerge como factor protector de ese tipo de crecimiento. De esta forma, es de explicarse que, a los 12 meses, el 66% de los lactantes con régimen mixto presentará un crecimiento acelerado, en comparación con el 16% de los amamantados en exclusiva al menos 5 meses de su vida.

Epílogo

Al recorrer el camino, hemos aprendido mucho sobre las bases del amamantamiento, pero, especialmente, sobre las mujeres y los lactantes de nuestra población. Los datos publicados nos dicen que en Sonora sólo el 19% de los niños son amamantados en exclusiva hasta los 5 meses; aunque en Hermosillo esto es poco más del 30%, lo cual es mucho mejor que el 9% que había cuando iniciamos. Por esto, tenemos la responsabilidad y el compromiso de difundir los resultados a todos los niveles para promover no solo el ama-

mantamiento exclusivo, sino el cuidado de la alimentación de la madre amamantando. De esta forma, más niños crecerán a una velocidad adecuada, lo que podría ayudar a disminuir el riesgo de sobrepeso u obesidad en el futuro.

Referencias

- Argüelles López, A. (2024). *Aportadores de grupos metilo en la leche materna y su asociación con el crecimiento y la microbiota de niños amamantados*. [Tesis doctoral en proceso, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.].
- Argüelles-López A., O. A. Trujillo-Rivera y A. M. Calderón de la Barca. (2024). Dietary patterns of Sonoran breastfeeding women are associated to exclusive or partial breastfeeding regimes. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 81(1), 3-9. <https://doi.org/10.24875/BMHIM.23000084>
- Argüelles López, A., y A. M. Calderón de la Barca. (2023). Can methyl donors in breast-milk prevent rapid growth in breastfed infants? *Medical Hypotheses*, 174(2023), 111065. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2023.111065>
- Bolaños, A. V., O. Y. Ramírez Magaña, I. Ortega Vélez y A. M. Calderón de la Barca. (2012). Diseño de materiales gráficos para ayudar a salvar las barreras físicas y culturales que enfrentan las madres sonorenses al amamantar. *Revista de Estudios Sociales*, XX (2), 376-395.
- Bolaños-Villar, A. V., I. L. Beltrán-Sauceda y A. M. Calderón de la Barca. (2023). Effectiveness of printed infographics to promote breastfeeding in Sonoran population. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 80(1), 36-45. <https://doi.org/10.24875/BMHIM.22000141>
- Bolaños, A. V., G. Caire, M. E. Valencia, E. Casanueva, R. Román Pérez y A. M. Calderón de la Barca. (2000). Energy intake and growth of breast-fed infants in two regions of Mexico. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 478, 371-372. https://doi.org/10.1007/0-306-46830-1_32
- Caire G., A. M. Calderón de la Barca, A. V. Bolaños, M. E. Valencia, A. W. Coward, G. Salazar y E. Casanueva. (2002a). Measurement of deuterium oxide by infrared spectroscopy and isotope ratio mass spectrometry for quantifying daily milk intake in breast-fed infants. *Food and Nutrition Bulletin*, 23(3 Suppl), 38-41.
- Caire G., A. V. Bolaños, L. M. De Regil, E. Casanueva y A. M. Calderón de la Barca. (2002b). Maternal milk composition is not associated with current dietary intake, but with body composition after three months post-partum in two Mexican places. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 503, 237- 238. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0559-4_29
- Caire G., E. Casanueva, L. M. De Regil, A. Bolaños y A. M. Calderón de la Barca. (2004). Nutritional status of exclusively breastfeeding adolescents from Northwest and

- central Mexico. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 554, 337-339. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4242-8_35
- Caire G., M. I. Ortega, E. Casanueva, A. V. Bolaños y A. M. Calderón de la Barca. (2007). Food components and dietary patterns of two different groups of Mexican lactating women. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(2), 156-162. <https://doi.org/10.1080/07315724.2007.10719597>
- Caire G., E. Casanueva, A. V. Bolaños Villar, L. M. De Regil y A. M. Calderón de la Barca. (2012). No changes in weight and body fat in lactating adolescent and adult women from Mexico. *American Journal of Human Biology*, 24(4), 425-431. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22234>
- Calderón de la Barca, A. M., O. A. Trujillo Rivera, A. Argüelles López y S. V. Aguayo Patrón. (2024). *Bifidobacterium adolescentis*: a fecal microbiota marker of accelerated growth in 6 months-old mixed-fed Mexican infants. *Children* (en preparación).
- Calderón de la Barca, A. M., A. V. Bolaños y R. Román Pérez. (1996). Composición de las proteínas de los sucedáneos de la leche materna más utilizados y su regulación sanitaria. *Salud Pública de México*, 38(4), 268-275.
- Calderón de la Barca A. M., A. V. Bolaños, A. L. Frisby Urrea, J. R. Valenzuela y R. Román Pérez. (1997). *Relationship between infant feeding practices and food allergy in North-west Mexico*. Proceedings from Breastfeeding the natural advantage: An international breastfeeding conference. Sponsored by Nursing Mothers Association of Australia (pp. 26-30). Sydney, Australia: Royal Randwick Racecourse.
- De Regil L. M., A. V. Bolaños, G. Caire, E. Casanueva y A. M. Calderón de la Barca. (2002). Body composition of lactating mothers in the first month post-partum depends on post-gestational body weight. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 503, 249-250. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0559-4_34
- De Regil L. M., y A. M. Calderón de la Barca. (2004). Nutritional and technological evaluation of an enzymatically methionine-enriched soy protein for infant enteral formulas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(2), 91-99. <https://doi.org/10.1080/09637480410001666478>
- Ma J., D. J. Palmer, D. Geddes, C. T. Lai y L. Stinson. (2022). Human milk microbiome and microbiome-related products: Potential modulators of infant growth. *Nutrients*, 14(23), 5148. <https://doi.org/10.3390/nu14235148>
- Mandy M., y M. Nyirenda. (2018). Developmental origins of health and disease: The relevance to developing nations. *International Health*, 10(2), 66-70. <https://doi.org/10.1093/inthealth/ihy006>
- Román Pérez R., A. M. Calderón de la Barca, E. Valdez, M. J. Cubillas y G. Caire. (1998). Lactancia materna y políticas hospitalarias: Un análisis de las tendencias recientes en Hermosillo, Sonora (1985-1996). *Estudios Sociales, VIII* (15), 95-109.
- WHO, World Health Organization (1 de marzo de 2024). [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight#:~:text=The%20prevalence%20of%20overweight%20\(including,21%25%20of%20boys%20were%20overweight.](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight#:~:text=The%20prevalence%20of%20overweight%20(including,21%25%20of%20boys%20were%20overweight.)

2. Cáncer de mama, nutrición y salud en mujeres sonorenses



GRACIELA CAIRE-JUVERA*

MARÍA DEL SOCORRO SAUCEDO-TAMAYO**

MARÍA JOSÉ NAVARRO-IBARRA***

VÍCTOR ALEXANDER QUINTANA-LÓPEZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.02>

Resumen

El cáncer de mama (CaMa) es un problema de salud pública en México; Sonora es uno de los estados con mayor tasa de defunciones por CaMa en mujeres de 20 años y más. La neoplasia generalmente se presenta con otras comorbilidades, lo cual disminuye la supervivencia promedio. Para aumentar la supervivencia, se recomienda a las mujeres sobrevivientes tener un estilo de vida saludable y disminuir tanto su peso como su grasa corporal. Esto puede ayudar a reducir la mortalidad y el riesgo de recurrencia; además, mejora la salud mental, la fatiga, la calidad de vida y el funcionamiento físico. Sin embargo, poder llevar a cabo estas conductas es un reto para la salud pública. En este escrito se realiza un compendio resumido de las investigaciones que se llevaron a cabo sobre el tema del CaMa a lo largo del periodo 2010-2021 en mujeres de Sonora. Se incluyen los estudios pioneros sobre el consumo y análisis de fitoestrógenos, la contribución de la dieta so-

* Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora titular C en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1562-795X> ; correspondencia: gcaire@ciad.mx

** Maestra en Salud Pública. Profesora-investigadora Asociada en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3776-8609>

*** Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8051-6928>

**** Doctor en Ciencias. Profesor-investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5778-1093>

noreNSE al riesgo de la enfermedad y las alteraciones en algunos biomarcadores de riesgo o protectores, la presencia de comorbilidades como la obesidad y diabetes tipo 2, así como la salud mental de las sobrevivientes. El capítulo termina describiendo la aplicación de una intervención sobre la dieta y la actividad física que utiliza la estrategia de la Entrevista Motivacional en sobrevivientes de CaMa. Se presentan algunos resultados y se mencionan los obstáculos y facilitadores encontrados para llevar a cabo cambios en el estilo de vida en este grupo de mujeres.

Palabras clave: *cáncer de mama, estilo de vida, biomarcadores, salud mental.*

Introducción

En México, el cáncer de mama (CaMa) es un problema de salud pública; es la neoplasia con mayor incidencia en la mujer (51.92 casos/100 000 mujeres de 20 años o más) y la causa más común de muerte por neoplasias (9% del total) (INEGI, 2023; Martínez, 2022). Sonora ocupa el quinto lugar en la tasa nacional de defunciones por cáncer de mama en mujeres de 20 años y más, con 17.48 muertes por cada 100 mil mujeres (INEGI, 2023).

El CaMa suele presentarse con otras comorbilidades, lo cual disminuye la supervivencia promedio. La baja tasa de supervivencia se ha asociado con un diagnóstico tardío, factores reproductivos como la edad de la menarquia y la menopausia, un estilo de vida poco saludable (dieta alta en grasas y azúcares y baja en frutas y vegetales, inactividad física y sedentarismo), entre otros. Si se consideran las comorbilidades, como la obesidad, diabetes e hipertensión, con altas prevalencias en México, esto añade un riesgo adicional para el CaMa (Herrera-Covarrubias et al., 2015). Es preocupante observar que 40% de las mujeres diagnosticadas con CaMa y 15% de las que fallecen por la enfermedad tienen sobrepeso u obesidad, según el criterio de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En el caso de las sobrevivientes de CaMa en Sonora, hemos observado una prevalencia de obesidad del 48.9% (Díaz López, 2016).

Para aumentar la supervivencia, la Sociedad Americana del Cáncer (ACS, por sus siglas en inglés) recomienda a las sobrevivientes de cáncer disminuir

el peso y la grasa corporal, tener un estilo de vida saludable, que consiste en consumir alrededor de cinco porciones al día de frutas y vegetales, la ingestión de granos enteros, actividad física aeróbica de intensidad moderada o vigorosa al menos 150 minutos por semana, e incluso limitar el consumo de alcohol y el uso de tabaco (American Cancer Society, 2021). Un estilo de vida saludable ayuda a disminuir la mortalidad y el riesgo de recurrencia; adicionalmente, se ha observado que mejora la ansiedad, la depresión, la fatiga, la calidad de vida y el funcionamiento físico (De Cicco et al., 2019). Sin embargo, poder llevar a cabo estas conductas es un reto para la salud pública.

En este capítulo se desarrollan de manera resumida las investigaciones realizadas sobre el tema del CaMa a lo largo del periodo 2010-2021 en mujeres de Sonora: los primeros estudios sobre el consumo y análisis de fitoestrógenos, la contribución de la dieta sonorense al riesgo de la enfermedad, las alteraciones en algunos biomarcadores, para terminar con una intervención basada en cambios en el estilo de vida y la salud mental, sus resultados, obstáculos y facilitadores.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el control del CaMa representa un asunto de equidad de género y derechos humanos, dado que las mujeres tienen un papel esencial en la sociedad y protegerlas del cáncer significa proteger a sus familias, comunidades y a la economía (OMS, 2023). El tema de la salud mental se considera un factor fundamental para la morbilidad y la mortalidad de enfermedades no transmisibles, incluido el CaMa. (Montagnese et al., 2021).

Por lo anterior, nuestras investigaciones, además de incluir aspectos del estilo de vida, se han volcado también a conocer los temas de ansiedad, depresión, estrategias de afrontamiento y la calidad de vida de las mujeres sobrevivientes de cáncer de mama.

Consumo dietario y cáncer de mama

El estudio del consumo dietario requiere conocer la composición de los nutrientes que se encuentran presentes en los alimentos. Una limitación en los estudios que relacionan el consumo de nutrientes y la salud es la falta de información sobre el contenido de nutrientes en los alimentos propios de la

dieta de la población (Bhakta et al., 2006). Para ello, se han elaborado las tablas de composición de alimentos. En el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) se ha formado una tabla de composición de los alimentos regionales y más consumidos en Sonora. Con nuestro trabajo contribuimos a esa tabla de composición dietaria al analizar 16 fitoestrógenos, de los cuales se estudiaron 6 isoflavonas, 4 tipos de lignanos, cumestrol y 5 fitoestrógenos pertenecientes a las familias de las flavonas, flavonoles y estilbenos (Campa Siqueiros, 2012; Chávez Suárez, 2012).

Los fitoestrógenos son compuestos fenólicos similares a la hormona 17β -estradiol, por lo que pueden tener una capacidad antioxidante y, además, presentan una actividad estrogénica y antiestrogénica (Scalbert et al., 2007). Debido a lo anterior, se les relaciona con posibles efectos protectores para enfermedades como el cáncer, aunque los resultados presentan contradicciones (Hernández et al., 2009). Utilizamos una cromatografía de líquidos de alta resolución acoplada a masas para analizar estos compuestos en 39 alimentos, que seleccionamos con base en su frecuencia de consumo y posible aportación de fitoestrógenos (Wyns et al., 2010).

Estimamos el consumo de fitoestrógenos en mujeres adultas de Hermosillo, Sonora, aplicando un cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos y un recordatorio de 24 horas a un total de 100 mujeres (Campa Siqueiros, 2012). Las participantes tuvieron un promedio de edad de 44.9 años, 10.4 años de escolaridad, 75% casadas y 62% eran de un nivel socioeconómico bajo. Las mujeres de nuestro estudio presentaron consumos bajos de fitoestrógenos en comparación con la ingesta de estos compuestos en otras poblaciones. El consumo en países de oriente oscila entre 23.3 y 49.7 mg/día de fitoestrógenos totales. En la población de Corea, se reportó un consumo de isoflavonas y cumestrol de 23.3 mg/día (Surh et al., 2006). En contraste, el consumo de isoflavonas en nuestra población fue de 0.2 mg/día, 0.01 mg/día de cumestrol, y 2.36 mg/día de fitoestrógenos totales.

En nuestra región consumimos cantidades similares a las reportadas en mujeres del Reino Unido, que es de 0.33 mg/día (Bhakta et al., 2006). En cuanto a los lignanos, el consumo de las mujeres de nuestro estudio fue mayor (0.2 mg/día) que el reportado en las mujeres del Reino Unido (0.15 mg/día). Estos resultados eran esperados, ya que, en el norte de nuestro país, el consumo dietario es similar a la dieta occidental.

La mayor concentración de isoflavonas se observó en alimentos como el jamón de pavo, el pastel comercial y el jugo de soya. Los lignanos fueron más comunes en la linaza, la moringa, el pan birote y el frijol pinto. El cumestrol se detectó en bajas concentraciones en los tipos de frijol pinto y mayocoba, así como en la papa frita. La moringa fue la principal fuente de flavonas y flavonoles.

La información reportada en este estudio se puede utilizar para estimar el consumo de fitoestrógenos totales, así como los específicos, y poder relacionar el consumo de fitoestrógenos con el riesgo o la protección de padecer alguna enfermedad no transmisible, como el CaMa. No existen más estudios en México que hayan analizado los fitoestrógenos en alimentos.

Continuando con la línea del consumo dietario y cáncer mamario, decidimos llevar a cabo un estudio piloto para analizar la asociación de la dieta sonorense con el riesgo de cáncer de mama en mujeres de nuestro estado (Pineda et al., 2022). El patrón dietario sonorense se caracteriza por un alto contenido de grasa, mayormente de origen animal, un consumo elevado de carnes rojas y bajo consumo de vegetales y frutas (Ballesteros et al., 2001; Wong et al., 1984). Es por ello que analizamos no solo el consumo de nutrientes provenientes de los alimentos, sino también las distintas formas de cocción y su posible asociación con el CaMa.

Utilizando el análisis de conglomerados, los resultados muestran que al comparar mujeres con cáncer ($n = 50$) y sin cáncer ($n = 50$), se observó que el consumo de alimentos ricos en grasas saturadas y azúcares refinados aumentó el riesgo de la neoplasia (ORaj: 4.99, IC 95%:1.39-17.92, $p = 0.014$), utilizando como variables de ajuste la energía total consumida, la intensidad de cocción, la historia familiar de cáncer, la edad, el estado de menopausia y el índice de masa corporal (IMC). Este riesgo se ha encontrado en otros estudios, como el de Mourtagh et al. (2008), realizado en Estados Unidos, o el de Ronco et al. (2006) en Uruguay.

También demostramos que el consumo de productos cárnicos cocinados a alta intensidad es un factor de riesgo para cáncer (ORaj: 5.12, IC95%: 1.83-14.31, $p = 0.002$), utilizando como variables de ajuste la historia familiar de cáncer, edad, la energía total consumida, el nivel socioeconómico, el IMC y el estado de menopausia. Sobre este tema hay pocos estudios, uno de ellos es el de Sinha et al. (2000), en el que se encontró una asociación de la

cocción excesiva de la carne con el CaMa (1.27, IC95%:1.05-1.60; p de tendencia = 0.01).

Dado que la exposición a estrógenos a lo largo de la vida es un factor de riesgo para el CaMa, nuestros datos fueron también analizados estratificando el alta (≥ 32 años) y baja (< 32 años) exposición a estrógenos (edad menopausia-edad menarquia). En este análisis encontramos que, en el caso de la intensidad de cocción y comparando con las mujeres con baja exposición a estrógenos, las mujeres con una alta exposición a estrógenos a lo largo de su vida tuvieron un riesgo más alto y significativo de CaMa por consumo de productos cárnicos con frito/asado intenso (ORaj: 6.06, IC95%: 1.34-27.42, $p = 0.019$), ajustado por la historia familiar de cáncer.

Por lo anterior, concluimos que un patrón dietario calórico rico en carbohidratos refinados y grasas saturadas, así como un cocimiento intenso de los productos cárnicos, puede incrementar el riesgo de CaMa en mujeres sonorenses (Pineda et al., 2022). Además, la exposición a estrógenos a lo largo de la vida de la mujer es un riesgo adicional en el tema de cocinado de las carnes y cáncer. La asociación que encontramos en este estudio también podría explicarse por las hormonas exógenas encontradas en el pollo, la res y la carne procesada que activan los receptores hormonales en el tejido mamario (Flores-García et al., 2021).

Cáncer de mama, comorbilidades, marcadores biológicos y salud mental

La presencia de otras enfermedades, como la diabetes tipo 2 con el CaMa, puede disminuir la sobrevivencia promedio. En México, la prevalencia de la diabetes, considerando el diagnóstico previo en mujeres adultas mexicanas, es alrededor de 11.4% (ENSANUT, 2018). Con la diabetes aumenta el tejido adiposo, lo cual altera la producción y secreción de algunas adipocinas, como la leptina, que aumenta, la adiponectina, que disminuye, y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α). Estas sustancias pueden favorecer la presencia de cáncer (Jardé et al., 2010). En la diabetes ocurre, además, un acortamiento de telómeros, que los vuelve inestables y puede promover la progresión del tumor (Wang et al., 2016). Los telómeros son estructuras que

se encuentran en los extremos de los cromosomas de las células eucariotas y tienen como función proporcionar estabilidad y proteger al ADN (Gómez et al., 2014). El acortamiento de los telómeros ocurre por varios factores, como la edad, estrés, infección, consumo de tabaco, sedentarismo y algunas enfermedades crónicas (Gómez et al., 2014). En el CaMa se han medido los telómeros, pero no se han obtenido datos concretos. En un estudio de Shen et al. (2007), se observó un mayor acortamiento de telómeros en mujeres con CaMa, y concluyeron que este acortamiento puede estar relacionado con el riesgo de la neoplasia.

Por lo anterior, realizamos un estudio comparando la leptina, la adiponectina, el factor de necrosis tumoral-alfa (TNF- α) y longitud telomérica en sobrevivientes de CaMa con diabetes ($n = 17$) y sin diabetes tipo 2 ($n = 24$) (Santacruz-Gallego, 2020). Encontramos mayor obesidad central en las participantes con diabetes que en aquellas sin diabetes (106.6 ± 10.2 vs 97.9 ± 13.9 cm, $p = 0.03$). No hubo diferencias en las adipocinas entre los dos grupos. Un resultado interesante y, a la vez, esperado, es que en el grupo con índice de masa corporal menor a 33 y una circunferencia de cintura menor a 105 cm, las mujeres con diabetes presentaron una longitud telomérica menor que las mujeres sin diabetes (1350 vs 3290 pb, y 939 vs 2594 pb).

En otro estudio paralelo al anterior (Sasaki, 2020), evaluamos en sobrevivientes de CaMa con y sin diabetes las diferencias en la proporción y los componentes del síndrome metabólico, considerando los criterios de la Federación Internacional de Diabetes (IDF). Los factores comunes entre la diabetes y el CaMa son la obesidad, la hiperinsulinemia y la resistencia a la insulina. Además, un determinante importante para la alta prevalencia de enfermedades crónicas en los países occidentalizados es el síndrome metabólico (Xue y Michels, 2007). Al comparar a las mujeres con diabetes con el grupo sin diabetes, observamos que la glucosa, la presión arterial diastólica y la circunferencia de la cintura fueron mayores en el grupo con diabetes. Además, el 100% de las mujeres sobrevivientes con diabetes presentó síndrome metabólico, mientras que el 75% sin diabetes presentó este síndrome. En general, las mujeres percibieron su calidad de vida como regular, lo que dio pie a la necesidad de evaluar en estudios posteriores la salud mental y la calidad de vida de las sobrevivientes de cáncer mamario. Dado que decidimos ahondar en algunos aspectos de la salud mental de las sobrevi-

vientes de cáncer, en un estudio de casos y controles evaluamos la posible asociación de la depresión, las estrategias de afrontamiento y la calidad de vida respecto a la adherencia a una dieta saludable y actividad física en mujeres de Sonora con CaMa (Quintana-López, 2013). Utilizamos el cuestionario de depresión de Beck, que fue estandarizado en México por Jurado y colaboradores en 1998 (confiabilidad por consistencia interna obtenida con un alfa de Cronbach de 0.87, $p < 0.000$). También se utilizó el WHOQOL Bref para evaluar la calidad de vida, con un alfa de Cronbach de 0.88 para la escala total y entre 0.70 y 0.79 en cada una de las dimensiones (Espinoza et al., 2011).

En el grupo de las mujeres con cáncer, un 42% presentó una “leve perturbación del estado de ánimo” y un 12% “depresión moderada”, mientras que 48% de las mujeres sin cáncer presentaron “altibajos en el estado de ánimo considerados normales” y un 36% presentó una “leve perturbación del estado de ánimo”. Respecto a los tipos de afrontamiento utilizados por las participantes en situaciones difíciles que se presentan en sus vidas (Nava et al., 2010), encontramos que en las mujeres con cáncer hubo una tendencia mayor a reaccionar con un “afrontamiento activo del estrés”, mientras que un mayor porcentaje en las mujeres sin cáncer tendieron a reaccionar con un “afrontamiento pasivo del estrés”. Observamos también que, aunque una proporción considerable (70%) de las mujeres con cáncer percibió su calidad de vida como “bastante buena”, un 24% de ellas la consideraron como “regular”. Ninguna de las mujeres sin cáncer consideró su calidad de vida como regular o mala. Encontramos una asociación positiva de la depresión con el cambio a un consumo energético mayor en las mujeres con CaMa ($\beta = 357.1$, $p = 0.03$).

Llama la atención que un porcentaje importante de las mujeres con cáncer consideraron su calidad de vida como “bastante buena”. Se ha observado que antes de la enfermedad, en este caso el cáncer, existen factores como la edad, el tipo de personalidad o el afrontamiento del estrés por parte de la mujer, que influyen de manera positiva o negativa en la calidad de vida (Brunault et al., 2015). En otro estudio se encontró que la inteligencia emocional fue un predictor de la calidad de vida física y emocional (Jones et al., 2015). Esto puede explicar los resultados obtenidos respecto a la calidad de vida de nuestras participantes.

En este estudio concluimos que los factores psicológicos pueden tener un impacto en la alimentación de las mujeres con cáncer. Un dato interesante que observamos es que las mujeres sobrevivientes de CaMa no reciben recomendaciones sobre su estilo de vida. Raramente son canalizadas con la persona especialista en nutrición e incluso llegaron a pensar que debían disminuir su actividad física, al grado de llevar una vida sedentaria. Es necesario que las mujeres con cáncer puedan tener acceso a recomendaciones dietarias y de actividad física confiables para que conozcan las ventajas de adherirse a una dieta y actividad física saludables para mejorar su proceso de recuperación y su sobrevivencia.

En su momento, este estudio fue el primero en el país que evaluó la asociación de la depresión, las estrategias de afrontamiento y la calidad de vida con la adherencia a la dieta saludable y la actividad física en mujeres con CaMa. Como nota adicional, y considerándolo como un área de oportunidad, hemos observado que, en general, en los hospitales y centros de salud existe una subestimación de las opiniones de las personas profesionales en nutrición y psicología; incluso, en la mayoría de los casos, el médico oncólogo funge como nutriólogo y psicólogo.

Intervención con dieta y actividad física en mujeres sobrevivientes de cáncer de mama

Siguiendo el hilo conductor de los estudios anteriores, decidimos llevar a cabo una intervención dietaria y de actividad física (AF), utilizando una estrategia que promueve la autoeficacia y que, en su momento, fue novedosa, la Entrevista Motivacional (EM), que además se adapta al contexto de cada paciente (Lizárraga y Ayarra, 2001). Como ya se ha comentado, se recomienda a las sobrevivientes tener un estilo de vida saludable con el fin de evitar la reincidencia del CaMa, ya que puede contribuir a la disminución de la densidad mamaria (tejido denso en la mama), la cual indica riesgo para la incidencia de cáncer mamario (Reeves et al., 2007). Aunque existe evidencia de que un estilo de vida saludable impacta positivamente la sobrevivencia y disminuye sus afectaciones, adoptar estas conductas es un desafío para la salud pública. Por lo anterior, utilizamos la estrategia de la EM,

dado que promueve la motivación y el compromiso de las personas para realizar un cambio específico. La estrategia no se basa en consejos, sino en el descubrimiento de las motivaciones internas de la persona para concientizarse y establecer metas que pueda cumplir (Rivera et al., 2008).

Las modificaciones en el estilo de vida pudieran tener un efecto en la densidad mamográfica, la proteína C reactiva (PCR), la interleucina 6 (IL-6), el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), la longitud telomérica y la actividad de la telomerasa, que se relacionan con el riesgo de desarrollo, metástasis y recurrencia de CaMa (Masala et al., 2019; Meyer et al., 2011). Asimismo, los cambios saludables en el estilo de vida pueden afectar de manera positiva la composición corporal, la distribución de la grasa y la salud mental (Na-Hui et al., 2018).

Por lo anterior, nos propusimos evaluar un programa de intervención dietaria y de actividad física (AF) en mujeres sobrevivientes de CaMa (Navarro-Ibarra, 2019; Quintana-López, 2019; Díaz-López, 2021). Utilizamos la estrategia de EM en el grupo de intervención y consejería nutricional y de AF en el grupo de comparación, esto con el fin de promover cambios en la densidad mamográfica, algunos niveles de biomarcadores, la composición corporal y ósea, y la salud mental.

Este ensayo clínico controlado aleatorizado tuvo una duración de 8 meses e incluyó a 50 participantes, con 26 y 24 mujeres asignadas aleatoriamente al grupo de intervención y al de comparación, respectivamente. La intervención consistió en disminuir el consumo de energía total proveniente de grasa al 20%, ingerir 6 porciones de vegetales y frutas a diario, aumentar la ingestión de fibra y restringir el consumo de azúcares simples, así como caminar 4000 pasos adicionales por día. La densidad mineral ósea se midió utilizando absorciometría dual de rayos X.

Mediante la EM se lograron algunos cambios en el estilo de vida. A los 4 meses, disminuyó significativamente el índice de masa corporal ($\Delta = -0.6$ vs 0.0 kg/m²) y la circunferencia de cintura ($\Delta = -3.3$ vs 0.5 cm); asimismo, la densidad mineral ósea de la zona lumbar aumentó 0.003 ± 0.036 g/cm², así como la del fémur (0.005 ± 0.022 g/cm²) en el grupo de intervención. También se incrementaron los niveles séricos de β -caroteno ($\Delta = 6.6$ vs -3.05 μ g/dL), disminuyeron su nivel de colesterol ($\Delta = -19$ vs 10.8 mg/dl) y triglicéridos ($\Delta = -39$ vs 9.4 mg/dl). Además, disminuyó su densidad mamográ-

fica (-5.3%) y se incrementó la longitud telomérica ($\Delta\text{GI} = 199$ pb). Las participantes del grupo de intervención también disminuyeron a los 8 meses 17.3 ± 20.4 ng/ml de leptina en contraste con el grupo de comparación que aumentó 3.4 ± 14.9 ng/ml ($p = 0.05$) (Hernández-Villa, 2017).

En cuanto a las variables de salud mental, la ansiedad mejoró en el grupo de intervención de 17 ± 10.3 a 13.6 ± 8.7 puntos ($p = 0.03$) y la calidad de sueño tendió a mejorar a los ocho meses en el grupo intervenido (6.7 ± 3.8 a 5.0 ± 3.7). Al cuarto mes, la calidad de vida aumentó 7.2 puntos y al octavo mes el optimismo aumentó alrededor de 1.9 puntos.

En general, observamos que la intervención con la EM tuvo un impacto positivo en algunas variables dietarias, psicológicas y biomarcadores, así como en la densidad mamográfica de sobrevivientes de CaMa. Sin embargo, vale la pena mencionar que los cambios favorables fueron momentáneos, ya que, al disminuir las visitas mensuales de cuatro a dos a partir del quinto mes de seguimiento, muchos de los cambios favorables desaparecieron o disminuyeron a los 8 meses. Es así como los resultados favorables utilizando la EM desaparecen en lo general por la falta de seguimiento; no hay una continuación y las mujeres en su mayoría regresan al punto de partida, por lo que la EM parece no ser sostenible como estrategia a largo plazo.

En este estudio nos dimos cuenta de que, a pesar de que las mujeres sobrevivientes recibieron visitas por parte de nosotros cada 15 días por los primeros cuatro meses, y mensualmente desde el quinto al octavo mes, seguir las recomendaciones de dieta y AF fue difícil para ellas. En ese sentido, nos pareció importante conocer desde su perspectiva los obstáculos que les impiden alcanzar sus metas y los facilitadores que pueden ser de ayuda para su cumplimiento.

Por lo anterior, realizamos un estudio para identificar los obstáculos y facilitadores percibidos por mujeres sobrevivientes de CaMa que cumplen y que no cumplen con las metas de un programa de dieta y AF saludables (Yocupicio-Yescas, 2020).

El estudio dio seguimiento a las mujeres que participaron en la intervención dietaria y de actividad física mencionada anteriormente. Mediante un cuestionario con fiabilidad aceptable ($\alpha\text{Cronbach} > 0.6$), logramos obtener resultados interesantes, ya que la mayoría de las participantes percibió al menos cinco obstáculos para la AF (73%) o la dieta (80%). Algunas de

ellas fueron los viejos hábitos (63%), la pereza (57%) y las obligaciones familiares (37%). Las participantes, a su vez, percibieron también facilitadores, como entender y experimentar efectos benéficos para la salud (97%), contar con el apoyo de los hijos (77%) o tener cerca un lugar para hacer ejercicio (87%). Aunque la presencia de facilitadores ayudó al cumplimiento de algunas metas, como el consumo de frutas y verduras, grasas y azúcares, al final se logró observar un mayor efecto de los obstáculos que de los facilitadores.

El conocimiento de los obstáculos y facilitadores para esta población de estudio nos brinda la oportunidad de mejorar las estrategias de intervención futuras enfocadas a adquirir conductas saludables. Nos dimos cuenta de la importancia del apoyo familiar, así que se pretende hacer este estudio en un futuro, donde se consideren de manera integral varios factores de los ya mencionados mediante estrategias multinivel, así como los distintos ritmos de avance para lograr cambios más efectivos y permanentes en las mujeres sobrevivientes de cáncer.

En este sentido, la promoción de conductas saludables en la dieta y AF es prioritaria para esta población. Es necesaria una política a nivel nacional, que considere las diferencias en varios contextos y les permita a las mujeres en general, y no solo a las sobrevivientes, llevar un estilo de vida saludable de forma integral mediante trabajo grupal y comunitario. Es necesario considerar no sólo los factores individuales que afectan un estilo de vida saludable, sino que resulta imprescindible también considerar factores estructurales como el sistema alimentario, la economía, además del círculo familiar.

Contaminación antropogénica y riesgo de cáncer de mama

Llevamos a cabo un estudio para explorar retrospectivamente la relación de la exposición a contaminantes ambientales antropogénicos con el CaMa en mujeres de Hermosillo, Sonora (Rodríguez-Jiménez, 2020). La contaminación antropogénica se refiere a introducir contaminantes en el ambiente que trastornan su calidad y tienen un efecto negativo debido a las actividades desarrolladas por los seres humanos. Asimismo, nos propusimos analizar el efecto de la obesidad y el consumo de antioxidantes en la posible relación contaminantes-cáncer.

Diseñamos un estudio de casos y controles (205 casos y 206 controles), y se realizó una validación residencial por código postal y ubicación geográfica de sitios potencialmente riesgosos (SPR). El número de casos con residencia cerca de algún SPR ($n = 266$) fue mayor que en los controles ($n = 242$). En relación con las mujeres con sobrepeso y un consumo deficien-

Tabla 2.1. *Resumen de los estudios realizados sobre cáncer de mama y factores de riesgo/protectores relacionados con la nutrición en Sonora: periodo 2010-2021*

<i>Estudios</i>	<i>Logros/resultados principales/ conclusiones</i>	<i>Referencias</i>
Análisis de fitoestrógenos en alimentos, suero y orina	– Estandarización de metodología para el análisis de fitoestrógenos en alimentos, suero y orina, utilizando HPLC acoplado a masas. – Análisis de 16 fitoestrógenos en 39 alimentos para la elaboración de una tabla de composición de alimentos. – Bajo consumo de fitoestrógenos en la dieta de las mujeres sonorenses.	– Chávez-Suárez <i>et al.</i>, 2012. – Palma-Duran <i>et al.</i>, 2020 – Campa Siqueiros, 2012
Patrón dietario sonorense y riesgo de CaMa	Un patrón dietario calórico rico en carbohidratos refinados y grasa saturada, así como el cocinado intenso de productos cárnicos, pueden incrementar el riesgo de CaMa en mujeres de Sonora.	– Pineda <i>et al.</i> , 2022
CaMa, comorbilidades, biomarcadores y salud mental	– Estandarización de la técnica para medir la longitud telomérica. – Las sobrevivientes de CaMa con obesidad y diabetes tienen biomarcadores de peor pronóstico, acortamiento de telómeros y una mayor presencia de síndrome metabólico. – Las mujeres con CaMa presentaron una leve perturbación del estado de ánimo y depresión moderada.	– Navarro-Ibarra, 2019 – Cruz-Gallego, 2020 – Quintana-López, 2013
Intervención con dieta y AF en sobrevivientes de CaMa	En el grupo intervenido: – Se lograron cambios en el estilo de vida de las mujeres sobrevivientes. – Disminuyeron su índice de masa corporal y circunferencia de cintura. – A los 4 meses, se incrementó la densidad mineral ósea lumbar y la del fémur. – Aumentaron los niveles séricos de β-caroteno, mejoraron su nivel de colesterol y triglicéridos. – Disminuyó la densidad mamográfica. – Mejoró la ansiedad, la calidad de sueño, la calidad de vida y el optimismo. – Los cambios en el estilo de vida no son duraderos, pues enfrentan obstáculos.	– Navarro-Ibarra, 2019 – Quintana-López, 2019 – López-Díaz, 2021 – Navarro-Ibarra <i>et al.</i>, 2023
Contaminantes antropogénicos y CaMa	La residencia cerca de un Sitio Potencialmente Riesgoso es un posible factor de riesgo para CaMa, que puede potenciarse por la presencia de sobrepeso/obesidad y el bajo consumo de antioxidantes.	Rodríguez-Jiménez, 2020

Fuente: elaboración propia.

te de zinc y vitamina A, se observó una asociación de la exposición a contaminantes industriales con el CaMa (RM = 10.8, IC 95%: 1.11, 105.7; RM = 4.91, IC 95%: 1.01, 23.9, respectivamente). Las mujeres con obesidad y consumo bajo de fitoestrógenos que residen cerca de una planta de energía tuvieron más riesgo, cercano a la significancia, de padecer CaMa que las que no vivían cerca de una planta de energía (RM = 3.44, IC 95%: 0.87, 13.61, $p = 0.07$). Los resultados indican que residir cerca de un SPR es un posible factor de riesgo para CaMa, que puede potenciarse por la presencia de sobrepeso/obesidad y el bajo consumo de antioxidantes.

Como conclusión, podemos decir que se ha avanzado en el tema de la epidemiología, los factores de riesgo, los biomarcadores y la salud mental en mujeres sonorenses sobrevivientes de CaMa. Actualmente se cuenta con más información sobre el estilo de vida y su relación con el cáncer. Las intervenciones para cambiar el estilo de vida, como la entrevista motivacional, no son fáciles de realizar ni permiten que los cambios permanezcan a largo plazo. Se requiere abordar los obstáculos que impiden que los cambios en la dieta y la AF se lleven a cabo y permanezcan con el tiempo. En la Tabla 2.1 se presenta un resumen de los estudios que se mencionan en este documento, realizados en el transcurso de 11 años.

Agradecimientos

Agradecemos a las mujeres sobrevivientes de cáncer de mama que participaron en los estudios que se presentan en este capítulo y a los estudiantes que realizaron sus tesis de posgrado con base en los estudios que se presentan. Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyar el proyecto de intervención con dieta y actividad física (SS/IMSS/ISSSTE-CONACyT/S0008/2015/1/262211). Un agradecimiento especial al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías y al Fondo de Cultura Económica por brindar estos espacios para dar a conocer nuestro trabajo.

Referencias

- American Cancer Society. (2021). Lifestyle-related breast cancer risk factors. Disponible en <https://www.cancer.org/cancer/breast-cancer/risk-and-prevention/lifestyle-related-breast-cancer-risk-factors.html>
- Ballesteros, M. N., Cabrera, R. M., Saucedo, M. S., Yepiz-Plascencia, G. M., et al. (2001). Dietary Fiber and Lifestyle Influence Serum Lipids in Free Living Adult Men. *Journal of the American College of Nutrition*, 20:649-655. doi: 10.1080/07315724.2001.10719163.
- Barone, I., Giordano, C., Bonofiglio, D., Andò, S., et al. (2020). The weight of obesity in breast cancer progression and metastasis: Clinical and molecular perspectives. In *Seminars in Cancer Biology* (Vol. 60, pp. 274-284). Academic Press. doi: 10.1016/j.semcancer.2019.09.001.
- Bhakta, D., Higgins, C. D., Sevak, L., et al. (2006). Phyto-estrogen intake and plasma concentrations in South Asian and native British women resident in England. *Brit J Nutr*; 95 :1150-58. doi : 10.1079/bjn20061777.
- Brunault, P., Champagne, A., Huguet, G., Suzanne, I., Senon, J., Body, G., et al. (2016). Major depressive disorder, personality disorders, and coping strategies are independent risk factors for lower quality of life in non-metastatic breast cancer patients. *Psycho-Oncology*, 25(5):513-20. doi: 10.1002/pon.3947.
- Campa Siqueiros, M. M. (2012). Estimación del consumo de fitoestrógenos a través de frecuencia de consumo de alimentos y recordatorio de 24 horas en mujeres sanas del noroeste de México. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.).
- Chávez Suárez, K. M. (2012). Correlación entre los niveles urinarios y la ingestión de fitoestrógenos estimada por encuestas dietarias en mujeres adultas del noroeste de México. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.).
- Cicco, P., Catani, M., Gasperi, V., Sibilano, M., et al. (2019). Nutrition and breast cancer: a literature review on prevention, treatment and recurrence. *Nutrients*, 11(7). doi: 10.3390/nu11071514.
- Covarrubias, D., Coria-Ávila, G., Fernández-Pomares, C., Aranda-Abreu, et al. (2015). La obesidad como factor de riesgo en el desarrollo de cáncer. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*, 32(4), 766-768.
- Díaz-López, K. J. (2016). Eficacia de un programa piloto de intervención utilizando la entrevista motivacional para promover cambios y mejorar la adherencia a una dieta y actividad física saludables en sobrevivientes de cáncer de mama. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.).
- . (2021). Efecto de un programa de intervención dietaria y de actividad física sobre la composición corporal y densidad mamaria de sobrevivientes de cáncer de mama. (Tesis de doctorado. CIAD).
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, Resultados Nacionales 2018. Versión actual 2018.
- Espinoza, I., Osorio, P., Torrejón, M., Lucas-Carrasco, R., y Bunout, D. (2011). Validación

- del cuestionario de calidad de vida (WHOQOL-BREF) en adultos mayores chilenos. *Rev Med Chil*, 39:579-86. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872011000500003>
- Flores-García, M. K., Mérida-Ortega, Á., Denova-Gutiérrez, E., y López-Carrillo, L. (2021). Dietary Patterns and Breast Cancer Risk in Women from Northern Mexico. *Nutrition and Cancer*, 73(11-12): 2763-2773. doi: 10.1080/01635581.2020.1860241
- Gómez, D. L. M., Armando, R. G., Farina, H. G., y Gómez, D. E. (2014). Telomerasa y telómero: su estructura y dinámica en salud y enfermedad. *Arquitectura funcional de los telómeros*. *Med (Buenos Aires)*, 74(1): 69-76.
- Hernández Villa, A. P. (2017). Cambios en leptina y adiponectina como resultado de una intervención con dieta y actividad física en mujeres sobrevivientes de cáncer de mama. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.).
- Hernández, J., Mariscal, M., Rivas, A. A., et al. (2009). Estimación de la ingesta de fitoestrógenos en población femenina. *Nutr Hosp*;24(4):445-51.
- INEGI. (2023). Estadísticas a propósito del día internacional de la lucha contra el cáncer de mama. Comunicado de Prensa 595/23. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/EAP_C_MAMA23.pdf
- Jardé, T., Perrier, S., Vasson, M. P., y Caldefie-Chézet, F. (2011). Molecular mechanisms of leptin and adiponectin in breast cancer. *Eur J Cancer*, 47(1):33-43.
- Jones, S., LaCroix, A., Oleg, W., Zaslavsky, O., Wassertheil, S., Weitlaud, J., Brenes, G., Nassir, R., Ockene, J., Caire-Juvera, G. y Danhauer, S. (2015). Depression and quality of life before and after breast cancer diagnosis in older women from the Women's Health Initiative. *J Cancer Surviv*, 9(4):620- 9. doi: 10.1007/s11764-015-0438-y
- Jurado, S., Villegas, M., Méndez, L., Rodríguez, F., Loperana, V., y Varela, R. (1998). La estandarización del Inventario de Depresión de Beck para los residentes de la Ciudad de México. *Salud Mental*, 21:26-31. ID: lil-243154
- Lizárraga, S. y Arraya, M. (2001). Entrevista motivacional. *Anales. Sin San Navarra*, 24(2):43-53.
- Martínez Sánchez. (2022). Epidemiología del cáncer de mama. IMSS. Masala, G., Ambrogetti, D., Assedi, M., Giorgi, D., Rosselli Del Turco, M., Palli, D. (2006). Dietary and lifestyle determinants of mammographic breast density. A longitudinal study in a Mediterranean population. *Int J Cancer*, 118:1782-1789. doi: 10.1002/ijc.21558.
- Meyer, J., Doring, A., Herder, C., Roden, M., Koenig, W., y Thorand, B. (2011). Dietary patterns, subclinical inflammation, incident coronary heart disease and mortality in middle-aged men from the MONICA/KORA Augsburg cohort study. *Eur J Clin Nutr*, 65 : 800-807. doi : 10.1038/ejcn.2011.37.
- Montagnese, C., Porciello, G., Vitale, S., et al. (2021). Quality of life in women diagnosed with breast cancer after a 12-month treatment of lifestyle modifications. *Nutrients*, 13 (1): 1-15. doi : 10.3390/nu13010136.
- Murtaugh, M. A., Sweeney, C., y Giuliano, A. R., et al. (2008). Diet patterns and breast cancer risk in Hispanic and non-Hispanic white women: the FourCorners Breast Cancer Study. *Am J Clin Nutr*, 87:978-84. doi: 10.1093/ajcn/87.4.978.
- Na-Hui, K., Sihan, S., So-Youn, J., Eunsook, Lee, Zisun, Kim, Hyeong-Gon, Moon, Dong-Young, N. y Jung, L. (2018). Dietary pattern and health-related quality of life among

- breast cancer survivors. *BMC Women's Health*, 18(1):65. doi: 10.1186/s12905-018-0555-7. doi: 10.1186/s12905-018-0555-7.
- Nava, C., Ollua, P., Vega, C., Soria, R. (2010). Inventario de Estrategias de Afrontamiento: una replicación. *Psychology and Health*. 20:213-20.
- Navarro Ibarra, M., Saucedo Tamayo, M. S., Alemán Mateo, H., Parra Sánchez, H.D., et al. (2024). Association Between Interleukin 6 and C-Reactive Protein Serum Levels and Body Composition Compartments and Components in Breast Cancer Survivors. *Biol Res Nurs*, 26(2):231-239. doi: 10.1177/10998004231207022
- Navarro Ibarra, M.J. (2019). Impacto de un programa de intervención dietaria y de actividad física en la densidad mamográfica, biomarcadores moleculares y de inflamación en mujeres sobrevivientes de cáncer de mama. (Tesis de doctorado. CIAD).
- OMS. (2023). Marco de Aplicación de la Iniciativa Mundial contra el Cáncer de Mama [online]. <http://apps.who.int/bookorders>
- Palma-Duran, S. A., Caire-Juvera, G., Campa-Siqueiros, M. M., Chávez-Suárez, K. M., et al. (2020). A Comprehensive HPLC-DAD-ESI-MS Validated Method for the Quantification of 16 Phytoestrogens in Food, Serum and Urine. *Appl. Sci*, 10, 8147. <https://doi.org/10.3390/app10228147>
- Pineda, E., Ortega-Vélez, M. I., Preciado-Rodríguez, M., Saucedo-Tamayo, S., y Caire-Juvera, G. (2022). Dietary patterns, cooking methods and breast cancer risk in Mexico: An exploratory case-control study. *Nutr Health*, 30(2):349-359. doi: 10.1177/02601060221119260
- Quintana López, V. A. (2013). Influencia de algunos factores psicológicos sobre la adherencia a una dieta y actividad física saludables en mujeres con cáncer de mama. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.).
- . (2019). Programa de intervención dietaria y de actividad física con el enfoque de la entrevista motivacional para mejorar el bienestar emocional y la densidad mamográfica de mujeres sobrevivientes de cáncer de mama. (Tesis de doctorado. CIAD).
- Revees, K., Gierach, G., y Modugno, F. (2007). Recreational physical activity and mammographic breast density characteristics. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 16:934-942. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-06-0732.
- Rivera, S., Villouta, F. e Ilabaca, A. (2008). Entrevista motivacional: ¿Cuál es su efectividad en problemas prevalentes de la atención primaria? *Atención Primaria*, 40(5): 257-261. doi: 10.1157/13120020
- Rodríguez Jiménez, M. (2020). Exposición a contaminantes ambientales antropogénicos y su relación con el cáncer de mama: influencia de la obesidad y consumo de antioxidantes. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.).
- Ronco, A. L., De Stefani, E., Boffetta, P., Deneo-Pellagrini, H., et al. (2006). Food Patterns and risk of breast cancer: A factor analysis study in Uruguay. *Int J Cancer*, 119:1672-8. doi: 10.1002/ijc.22021
- Santacruz Gallego, M. (2020). Longitud telomérica y niveles de adipocinas en mujeres sobrevivientes de cáncer de mama con y sin diabetes tipo 2. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.).

- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., y Rémésy, C. (2007). Dietary Polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Rev Food Sci*, 45:287-306. doi: 10.1080/1040869059096.
- Shen, J., Terry, M. B., Gurvich, I., Liao, Y., Senie, R. T., y Santella, R. M. (2007). Short telomere length and breast cancer risk: A study in sister sets. *Cancer Res*, 67(11):5538-44. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-06-3490.
- Sinha, R., Gustafson, D. R., Kulldorff, M., Wen, W. Q., Cerhan, J. R., Zheng, W. (2000b). 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b] pyridine, a carcinogen in high-temperature-cooked meat, and breast cancer risk. *J National Cancer Inst*, 92(16):1352-1354. doi: 10.1093/jnci/92.16.1352
- Wang, J., Dong, X., Cao, L., Sun, Y., Qiu, Y., Zhang, Y., et al. (2016). Association between telomere length and diabetes mellitus: A meta-analysis. *J Int Med Res*, 44(6):1156-73. doi: 10.1016/j.iejca.2010.09.005.
- Wong, P., Higuera, I., Valencia, M. E. (1984). Relation between familial income, expenditure and food consumption in marginal urban zones of Sonora, Mexico. *Arch Latinoam Nutr.*, 34:391-403. PMID: 6536223
- Wyns, C., Bolca, S., Keukeleire, D., y Heyerick, A. (2010). Development of a high-throughput LC/APCI-MS method for the determination of thirteen phytoestrogens including gut microbial metabolites in human urine and serum. *J Chromatogr B*, 878: 949-56. doi: 10.1016/j.jchromb.2010.02.022.
- Xue F. y Michels, K. B. (2007). Diabetes, metabolic syndrome, and breast cancer: a review of the current evidence. *Am J Clin Nutr*, 86:823-835. doi: 10.1093/ajcn/86.3.823S.
- Ymai Sazaki, YI. (2020). Componentes del síndrome metabólico y calidad de vida en mujeres sobrevivientes de cáncer de mama con y sin diabetes tipo 2. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.)
- Yocupicio Yescas, K. L. (2020). Barreras y facilitadores para un estilo de vida saludable e influencia en las conductas de salud de sobrevivientes de cáncer de mama. (Tesis de maestría. CIAD, A. C.)

3. Alteraciones del estado de nutrición de los adultos mayores mexicanos: datos más allá del índice de masa corporal



HELIODORO ALEMÁN MATEO*

JULIÁN ESPARZA ROMERO**

MIRIAM TERESA LÓPEZ TEROS***

HELEN JOCELINE VIDAÑA ESPINOZA****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.03>

Resumen

México es un país envejecido, pues el porcentaje de adultos mayores supera el 10.0%. En este contexto se encuentran los adultos mayores de 60 años y más, quienes tienen problemas en su nutrición. Los estudios al respecto no permiten dimensionar la gravedad de las alteraciones del estado de nutrición debido al uso del índice de masa corporal (IMC), el cual se reconoce que tiene serias limitaciones para diagnosticar la desnutrición y la obesidad. La tesis del presente ensayo está basada en los resultados de algunos estudios publicados por nuestro grupo de investigación, en donde hemos utilizado algunos de los parámetros y criterios y algunas escalas confiables para diagnosticar la desnutrición, la desnutrición energético-proteica y el riesgo de desnutrición, respectivamente, en los adultos mayores de algunas regiones de nuestro país. También considera los trabajos publicados en los cuales se ha diagnosticado la obesidad mediante parámetros basados en la masa grasa.

* Doctor en Ciencias. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1582-2475> ; correspondencia: helio@ciad.mx

** Doctor en Epidemiología. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9748-2031>

*** Doctora en Ciencias Médicas por la Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9486-005X>

**** Doctorante en Ciencias en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8458-2139>

La presente tesis pretende demostrar que las alteraciones del estado de nutrición están subestimadas cuando se comparan con las prevalencias estimadas mediante otras metodologías diferentes al IMC. Se encontró que la prevalencia de la desnutrición diagnosticada mediante criterios específicos para adultos mayores fue de 15.3% y, al utilizar el IMC para diagnosticar la desnutrición, disminuyó a 9.0%. Con respecto al riesgo de desnutrición, estudios con adultos mayores del centro, sur y norte del país han mostrado consistentemente una alta prevalencia entre 30.2 y 52.5% de RD. Con respecto a la obesidad diagnosticada con base en el índice de masa grasa se encontró una subestimación importante al comparar la prevalencia de la obesidad por IMC comparada con la prevalencia estimada mediante el índice de masa grasa. Se concluye que la prevalencia de la desnutrición puede ser baja. Sin embargo, la prevalencia e incidencia de RD diagnosticado por la MNA son altas. Asimismo, la prevalencia de la obesidad diagnosticada con el IMC es alta, pero más elevada cuando se clasifica mediante el IMG en los adultos mayores de México y de diversos países de América Latina, incluyendo México. Estas cifras presentadas no están siendo reflejadas en los datos de las encuestas nacionales de salud y nutrición en adultos mayores mexicanos.

Palabras clave: *adultos mayores, desnutrición, riesgo de desnutrición y obesidad.*

Introducción

En la actualidad se reconoce que México es un país envejecido, pues casi 9 millones de mexicanos son adultos mayores (≥ 60 años). Este grupo etario sufre el proceso de envejecimiento. A nivel individual, el envejecimiento se caracteriza por cambios moleculares, celulares, fisiológicos y metabólicos, los cuales, a través de diversos mecanismos, pueden afectar la ingestión calórica y contribuir al desarrollo de la desnutrición y otras alteraciones. El estado de nutrición es la condición resultante de la ingesta de alimentos y el metabolismo de los nutrimentos y contempla las siguientes 5 categorías: desnutrición, bajo peso, peso normal u óptimo, sobrepeso y obesidad. Por ejemplo, la baja ingestión calórica (1200 kcal/día) se ha asociado con desnutrición energética y proteica en adultos mayores (Sempos et al., 1982) y, por

el contrario, un consumo excesivo de calorías se ha asociado con sobrepeso y obesidad (OMS, 1997).

Existen diversas metodologías para evaluar el estado de nutrición; sin embargo, en nuestro país, los estudios epidemiológicos como las encuestas nacionales sobre nutrición y salud, así como las de envejecimiento han empleado el índice de masa corporal (IMC) para evaluar el estado de nutrición en todos los grupos etarios, incluyendo al grupo de adultos mayores. El estado de nutrición también se puede evaluar mediante algunas escalas diseñadas y validadas en adultos mayores como la valoración mínima del estado de nutrición o MNA por sus siglas en inglés (Vellas et al., 1999). Con base en el puntaje de esta escala se puede diagnosticar un estado de nutrición normal, riesgo de desnutrición (RD) y desnutrición. También existen criterios específicos para evaluar y diagnosticar la desnutrición e identificar a aquellos adultos mayores con un estado de nutrición normal u óptimo.

Hoy en día se cuenta con información de las alteraciones del estado de nutrición, diagnosticadas con otros parámetros o metodologías diferentes al IMC en los adultos mayores mexicanos. Lo anterior, posiblemente se debe al reconocimiento de que el IMC no es un parámetro objetivo, confiable y sensible para diagnosticar desnutrición en este grupo etario (Cook et al., 2005). La tesis general del presente ensayo es que la prevalencia de las alteraciones del estado de nutrición reportadas por el IMC posiblemente está subestimada al observar la prevalencia reportada con otras metodologías como la MNA para desnutrición y mediante parámetros de composición corporal, particularmente el índice de masa grasa para diagnosticar la obesidad. Con base en este argumento, se plantea que el riesgo de desnutrición es un serio problema de salud debido a su alta prevalencia e incidencia, así como al impacto clínico en los adultos mayores de nuestro país. Asimismo, se mostrarán las consecuencias de las alteraciones del estado de nutrición sobre la morbilidad y la funcionalidad que hemos encontrado en algunos estudios realizados. Finalmente, se señalará la importancia de estimar los requerimientos de energía para compensar el gasto energético total y mantener el balance energético en este grupo etario dentro de la valoración del estado de nutrición.

Metodología

La tesis del presente ensayo está basada en los resultados de algunos estudios publicados por nuestro grupo de investigación, en donde hemos utilizado parámetros y criterios confiables para diagnosticar la desnutrición en adultos mayores del estado de Sonora, México (Alemán-Mateo et al., 2008). Asimismo, aquellos en los que se ha utilizado la evaluación mínima del estado de nutrición, la cual tiene una alta sensibilidad y especificidad para diagnosticar tanto desnutrición (Pérez-Lizaur et al., 2013) como el riesgo de desnutrición (Pérez-Lizaur et al., 2013; González-Franco et al., 2020; López-Teros et al., 2021; López-Teros et al., 2023; Vidaña-Espinoza et al., 2024). También, se considerarán los trabajos publicados en los cuales se ha evaluado la composición corporal, particularmente la masa grasa para diagnosticar obesidad, utilizando para ello metodologías válidas para este grupo etario (Alemán-Mateo et al., 2024). Asimismo, se presentará la evidencia de la relación de la composición corporal, particularmente el exceso de tejido adiposo, con las alteraciones de desempeño físico en adultos mayores del noroeste de México (Ramírez-Torres et al., 2019).

Es importante señalar que tanto la desnutrición, el RD y la obesidad comparten la ingesta calórica como factor fisiopatológico. La obesidad es el resultado del consumo de calorías por arriba del requerimiento energético total, mientras que un consumo calórico y proteico por debajo de los requerimientos de energía resulta en desnutrición y RD. Por lo tanto, conocer los requerimientos de energía y la evaluación del consumo calórico a través de la dieta son factores clave dentro de la evaluación del estado de nutrición. Actualmente, los requerimientos de energía en los adultos mayores se pueden estimar mediante modelos predictivos generados y validados contra las técnicas isotópicas, principalmente el agua doblemente marcada, que es el método de referencia para estudiar el gasto y requerimiento energético total (Alemán-Mateo et al., 2021).

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de algunos estudios realizados por nuestro grupo en adultos mayores con metodologías diferentes al IMC para diagnosticar la desnutrición. Hace aproximadamente una década y media realizamos un estudio de diseño transversal. En dicho estudio, los participantes fueron elegidos por muestreo a conveniencia, conformando una muestra de 287 adultos mayores. A todos los participantes se les evaluó el estado de nutrición, particularmente la desnutrición mediante el criterio de Mowé (Mowé et al., 1994). Este criterio requiere la combinación de parámetros antropométricos y bioquímicos. Conforme a este criterio, un adulto mayor tenía desnutrición si presentaba al menos un parámetro antropométrico y uno bioquímico alterado. La prevalencia de la desnutrición en los adultos mayores en la comunidad de Hermosillo, Sonora, fue de 15.3% (Alemán-Mateo et al., 2008). Es importante señalar que, en este estudio, también se utilizó el IMC para diagnosticar la desnutrición, utilizando para ello el punto de corte de $\text{IMC} < 22 \text{ kg/m}^2$. Al observar la prevalencia estimada solo por el IMC, la prevalencia disminuyó a 9%.

En otro estudio con 245 adultos mayores residentes de una alcaldía de la Ciudad de México se evaluó el estado de nutrición con base en la MNA y se estimó la composición corporal mediante una ecuación publicada. Los resultados mostraron una prevalencia de desnutrición de 4.9%. Otro hallazgo importante fue que los sujetos diagnosticados con desnutrición por la MNA tuvieron valores promedio, significativamente más bajos de grasa corporal comparados con los sujetos con estado de nutrición normal y aquellos con obesidad. Se observaron los mismos resultados cuando se comparó el peso corporal en esta muestra de adultos mayores del centro del país (Pérez-Lizaur et al., 2013). Es importante señalar que cuando existe desnutrición hay una depleción o pérdida de las reservas corporales de masa grasa, masa corporal libre de grasa y masa muscular. En el estudio citado solo se observó una de la masa grasa estimada por la ecuación generada y validada por nuestro grupo de investigación (Huerta-Huerta et al., 2007).

Como se mencionó anteriormente, en nuestro país existen varios estudios sobre la prevalencia de desnutrición diagnosticada con el IMC, inclu-

yendo los estudios a nivel nacional con muestreo probabilístico (Sánchez-García et al., 2007; Wong et al., 2007; Shamah-Levy et al., 2008; López-Ortega y Arroyo, 2016; Salinas-Rodríguez et al., 2020; Tinajero-Delgado et al., 2023). Este no es el caso para el riesgo de desnutrición en este grupo etario, con excepción de un estudio publicado previamente (Ávila et al., 2021). De acuerdo con los resultados de algunos estudios realizados y publicados por parte de nuestro grupo de investigación y en colaboración con investigadores de otras instituciones, parece que el RD es un serio problema de salud en los adultos mayores de la comunidad. Se ha encontrado una alta prevalencia (Pérez-Lizaur et al., 2013; Vidaña-Espinoza et al., 2024) e incidencia de RD en este grupo etario de algunas regiones de nuestro país (López-Teros et al., 2023).

La tabla 3.1 muestra la prevalencia del riesgo de desnutrición evaluado con la MNA en adultos mayores de la comunidad. Los participantes de todos los estudios citados comparten las siguientes características: son personas mayores de 60 años, con excepción del trabajo publicado por López-Teros et al. (2021), quienes incluyeron hombres y mujeres ≥ 50 años. La mayoría tenían algunas alteraciones metabólicas como dislipidemias y enfermedades crónicas como hipertensión arterial, diabetes tipo 2, osteoartritis e hipotiroidismo, así como algún grado de dependencia funcional, alteraciones en el desempeño físico y sarcopenia.

También se puede observar que la prevalencia de RD en todos los estudios citados es alta, independientemente del número de muestra incluida y de la región del país. Es importante señalar que hemos generado y publicado información sobre RD en adultos mayores del sur del país (González-Franco et al., 2020) y del centro (López-Teros et al., 2021; Pérez-Lizaur et al., 2013; Vidaña-Espinoza et al., 2024). Respecto a la región norte, en una submuestra de adultos mayores de Hermosillo, Sonora, se aplicó la MNA. Los datos no han sido publicados, pero muestran una prevalencia de RD de 52.5%. Es pertinente señalar que la submuestra mencionada formaba parte de la muestra incluida en el trabajo publicado en 2008 (Alemán-Mateo et al., 2008).

En cuanto a la incidencia de RD diagnosticada por la misma escala de la MNA, en un análisis secundario de los datos generados por el estudio de cohorte prospectivo “Fragilidad, Dinapenia y Sarcopenia en Adultos Mexicanos (FraDySMex)”, realizado por investigadores de la Universidad Ibero-

Tabla 3.1. *Prevalencia del riesgo de desnutrición diagnosticado con la MNA en adultos mayores de la comunidad*

<i>Autor</i>	<i>Diseño del estudio y lugar</i>	<i>Tipo de muestreo</i>	<i>N</i>	<i>Edad*</i>	<i>Prevalencia</i>
Datos no publicados	Transversal Sonora	No probabilístico	40	68.9 ± 6.4	52.5%
Pérez-Lizaur <i>et al.</i> , 2013	Transversal CDMX	No probabilístico	245	74.8 ± 9.1	31.0%
González-Franco <i>et al.</i> , 2020	Transversal Yucatán	No probabilístico	96	76.9 ± 8.5	47.9%
López-Teros <i>et al.</i> , 2021	Transversal CDMX	No probabilístico	825	70.3 ± 10.8	30.3%
Vidaña-Espinoza <i>et al.</i> , 2024	Análisis Transversal CDMX	No probabilístico	256	71.3 ± 7.3	27.0%

MNA, valoración mínima del estado de nutrición; n, número de sujetos incluidos en los estudios; *En años; valor promedio ± desviación estándar; CDMX, Ciudad de México.

americana campus Ciudad de México y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, reportaron que la incidencia acumulada de RD fue de 28.6% a los 4.1 años de seguimiento (López-Teros *et al.*, 2023). Es importante señalar que los datos de la incidencia del RD son los únicos publicados en América Latina y el Caribe, y el segundo dato publicado a nivel mundial utilizando la misma metodología. En la actualidad, se reconoce el impacto clínico del RD en los adultos mayores. En nuestro país, un año después los mismos investigadores reportaron por primera vez a nivel mundial que los adultos mayores con RD evaluados con la MNA en su versión corta y extensa se asociaron significativamente con un mayor riesgo de desarrollar sarcopenia a los 4.1 años de seguimiento (Vidaña-Espinoza *et al.*, 2024).

Es ampliamente conocido que la obesidad se ha evaluado o diagnosticado mediante el índice de masa corporal, utilizando para ello el punto de corte para hombres y mujeres, adultos y adultos mayores de $\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$. Recientemente, se publicó un análisis secundario derivado de un estudio transversal con una muestra de 1463 adultos mayores de diez países de América Latina y el Caribe. La obesidad se evaluó mediante la masa grasa medida por la técnica de dilución isotópica de deuterio, utilizando para ello el IMG y el porcentaje de grasa corporal y también el $\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$. La obesidad se definió a partir de los dos últimos quintiles de la distribución del porcentaje de grasa corporal e IMG. Los puntos de corte basados en el porcentaje de grasa corporal e IMG para los hombres latinoamericanos fueron $\geq 33.1\%$ y $\geq 9.0 \text{ kg/m}^2$, respectivamente; mientras que para las mujeres

fueron $\geq 43.8\%$ y $\geq 12.0 \text{ kg/m}^2$, respectivamente. Para los hombres del Caribe, los puntos de corte fueron $\geq 26.8\%$ y $\geq 6.0 \text{ kg/m}^2$, y para las mujeres $\geq 41.6\%$ y $\geq 11 \text{ kg/m}^2$. La prevalencia de la obesidad en la muestra total por IMC fue de 23.6% y por IMG aumentó a 52.7% y, con los puntos de corte para el porcentaje de grasa corporal, se encontró una prevalencia de 40% (Aleman-Mateo et al., 2024).

En el estudio anteriormente citado, también se probó la exactitud del punto de corte del IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ para la detección de la obesidad en adultos mayores de ambas regiones. Los resultados mostraron que el punto de corte del IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ presenta una baja sensibilidad para identificar a hombres y mujeres latinoamericanos con obesidad, la cual fue de 40.6% y 36.4% y 57.9% y 55.5% , en comparación con el IMG y la masa grasa en porcentajes, respectivamente.

Se encontraron resultados similares en los adultos mayores caribeños. Por lo tanto, los investigadores, basados en las curvas ROC (Receiver-Operating-Characteristic, por sus siglas en inglés), generaron puntos de corte basados en el IMG, los cuales mejoran la exactitud del IMC para diagnosticar la obesidad en hombres y mujeres latinoamericanos y caribeños. Se obtuvieron un IMC $\geq 26 \text{ kg/m}^2$ y $\geq 27.5 \text{ kg/m}^2$ con una sensibilidad de 90.40% y 90.71% e IMC $\geq 23.1 \text{ kg/m}^2$ y $\geq 26.3 \text{ kg/m}^2$, con una sensibilidad de 92.11% y 89.04% , respectivamente (Aleman-Mateo et al., 2024). Este estudio muestra una prevalencia alta de obesidad por IMG en comparación con la estimada por el IMC en adultos mayores mexicanos y de diversos países latinoamericanos y caribeños.

La obesidad, o el exceso de masa grasa en el adulto mayor, además de aumentar el riesgo de alteraciones metabólicas y enfermedades cardiovasculares, también aumenta el riesgo de alteración en el desempeño físico y la funcionalidad. Respecto al desempeño físico, recientemente publicamos un estudio donde se evaluó la grasa corporal por el método del agua corporal total o hidrometría, utilizando para ello, el isótopo estable de deuterio y la prueba corta de desempeño físico para evaluar el desempeño físico en adultos mayores del noroeste de México. Los resultados mostraron que, por cada aumento en una unidad de IMG (kg/m^2), los adultos mayores tuvieron significativamente mayor riesgo de tener una alteración en el desempeño físico (Ramírez-Torres et al., 2019).

Como se mencionó anteriormente en la sección de metodología, tanto las alteraciones del estado de nutrición por consumo calórico deficiente (desnutrición y el RD) como aquellas alteraciones por el consumo calórico excesivo (obesidad) comparten la ingesta calórica como factor fisiopatológico. En este sentido, el consumo calórico que compense los requerimientos de energía es clave para mantener el balance energético y, por lo tanto, un buen estado de nutrición. De acuerdo con los resultados recientemente publicados (Alemán-Mateo et al., 2021), los requerimientos de energía determinados con el método de agua doblemente marcada en hombres y mujeres de América Latina y el Caribe en condiciones de vida libre ≥ 60 años, son de 2411 kcal/día y 1938 kcal/día, respectivamente. Asimismo, los investigadores desarrollaron y validaron un modelo predictivo o ecuación para estimar con precisión los requerimientos de energía en adultos mayores de la comunidad (Alemán-Mateo et al., 2021).

Discusión

Como se observa en los dos estudios publicados por nuestro grupo sobre la desnutrición diagnosticada con los criterios de Mowé y la MNA en adultos mayores mexicanos ≥ 60 años, los resultados muestran una prevalencia que va de 4.9 a 15.3%. En uno de estos estudios se observó que la prevalencia de la desnutrición por IMC fue menor a la estimada por el criterio de Mowé (Alemán-Mateo et al., 2008). En general, son pocos los estudios publicados sobre desnutrición diagnosticada por metodologías diferentes al IMC en adultos mayores de la comunidad (Araujo-Mendoza et al., 2004; Reyes et al., 2007; Alemán-Mateo et al., 2008; Rodríguez-Tadeo et al., 2012; Pérez-Lizaur et al., 2013; Osuna-Padilla et al., 2015; Camacho-Guerrero y Fuentes-Pimentel, 2020) y es difícil establecer si la prevalencia de la desnutrición es menor o mayor a la reportada en los estudios donde la desnutrición se evaluó con el IMC (Sánchez-García et al., 2007; Wong et al., 2007; Shamah-Levy et al., 2008; López-Ortega & Arroyo, 2016; Salinas-Rodríguez et al., 2020; Tinajero-Delgado et al., 2023). Se requiere de más estudios sobre la desnutrición evaluada por MNA o criterios específicos para la desnutrición y, sobre todo, de estudios con muestras probabilísticas a nivel nacional. De

acuerdo con los resultados, tampoco se puede conocer si realmente la desnutrición es o no un problema serio de salud pública en este grupo etario.

Los datos sobre la prevalencia de RD en nuestro país señalan que es más elevada en comparación con la prevalencia reportada a nivel mundial (Kaiser et al., 2010; Cereda et al., 2016) y en adultos mayores de la comunidad de países europeos (Leij-Halfwerk et al., 2019). Como se mencionó anteriormente, el RD en México es de alta prevalencia, alcanzando hasta un 52.5%. Los adultos mayores con RD posiblemente tienen un mayor riesgo de presentar consecuencias clínicas importantes debido a la asociación con diversos desenlaces clínicos reportada por otros investigadores. Se reconoce que los sujetos con RD tienen mayor riesgo de dependencia funcional (Razón de Momios, RM 2.03; IC 95% 1.24-3.31) (Nuotio et al., 2016), mortalidad (RM 5.05; IC 95% 1.53-16.58) (Kiesswetter et al., 2014) y sarcopenia (RM 9.87; IC 95% 3.21-30.39) (Lu et al., 2019).

Mediante un estudio de cohorte prospectivo, recientemente se logró demostrar una asociación de riesgo entre el RD diagnosticado con la MNA y la sarcopenia diagnosticada con los criterios propuestos por el grupo sobre sarcopenia en adultos mayores conocidos como EWGSOP2. Los resultados mostraron que los adultos mayores de la comunidad con RD y masa grasa normal a nivel basal tuvieron 9.28 veces más riesgo de desarrollar sarcopenia al paso de 4.2 años de seguimiento; mientras que los sujetos con RD y exceso de masa grasa a nivel basal tuvieron 3.67 veces más riesgo de desarrollar sarcopenia tras años de seguimiento (Vidaña-Espinoza et al., 2024).

Dada esta prevalencia tan alta de RD con la MNA y sus consecuencias clínicas, también sería de gran relevancia evaluar esta alteración del estado de nutrición con base en otros criterios como los publicados por Naseer et al. (2016) en las encuestas nacionales de nutrición y salud de nuestro país. Este criterio incluye la combinación de parámetros antropométricos y parámetros subjetivos como la disminución de la ingesta de alimentos, pérdida de peso y dificultad para comer. Este criterio ha sido validado y asociado con un mayor riesgo de mortalidad en adultos mayores (Naseer et al., 2016). En México, se cuenta con parámetros antropométricos y subjetivos derivados de las encuestas nacionales de salud y nutrición, por lo que es posible estimar la prevalencia de RD mediante estos criterios mencionados anteriormente.

Respecto al sobrepeso y la obesidad en los adultos mayores, la prevalencia ha sido consistentemente alta en las últimas tres décadas. Recientemente, se reportó que el 40.5% y 34% de los adultos mayores mexicanos tienen sobrepeso y obesidad, respectivamente, siendo los hombres más afectados por el sobrepeso (44%), mientras que las mujeres son las más afectadas por la obesidad (39.8%) (Salinas-Rodríguez et al., 2020).

Si bien es cierto que el IMC es el criterio más aceptado internacionalmente para diagnosticar el sobrepeso y la obesidad, su confiabilidad para diagnosticar la obesidad por exceso de masa grasa sigue quedando en duda en todos los grupos etarios, incluyendo los adultos mayores. En nuestro país, los estudios que se hacen con representatividad nacional no han avanzado en el diagnóstico de la obesidad más allá del IMC. Hoy en día, se cuenta con más evidencia sobre las limitaciones del IMC para diagnosticar la obesidad en los adultos mayores, ya que éste no es un marcador de adiposidad (Cook et al., 2005; Okorodudu et al., 2010). Nuestro estudio publicado recientemente se suma a la evidencia de que el $\text{IMC} \geq 30 \text{ Kg/m}^2$ tiene una baja sensibilidad para diagnosticar obesidad en los adultos mayores (Alemán-Mateo et al., 2024). En este sentido, las cifras relativamente altas de obesidad diagnosticada por IMC, encontradas en el estudio de Salinas-Rodríguez et al. (2020) en adultos mayores mexicanos, pudieran estar subestimadas.

Como se ha mencionado, la obesidad o el exceso de masa grasa en el adulto mayor, además de aumentar el riesgo de alteraciones metabólicas (Gokulakrishnan et al., 2011) y enfermedades cardiovasculares (Böhm y Heitmann, 2013), también tiene un fuerte impacto sobre el desempeño físico y la funcionalidad (Vincent et al., 2010; Schaap et al., 2013). En cuanto al desempeño físico, recientemente publicamos un estudio donde se encontró una prevalencia de alteración en el desempeño físico de 14.3%. Asimismo, se demostró que, por cada aumento en una unidad de IMC, kg/m^2 , los adultos mayores tenían mayor riesgo de tener una alteración en el desempeño físico (Ramírez-Torres et al., 2019). Estos resultados son importantes debido a que la alteración en el desempeño físico aumenta el riesgo de dependencia funcional, la cual es una condición de salud de alta prevalencia en los adultos mayores de nuestro país (Barrantes-Monge et al., 2007; Manrique-Espinoza et al., 2013).

Conclusiones

La prevalencia de la desnutrición en adultos mayores de nuestro país es baja. Sin embargo, la prevalencia e incidencia de RD diagnosticado por la MNA son altas. Asimismo, la prevalencia de la obesidad diagnosticada con el IMC es alta, pero es más elevada cuando se clasifica mediante el IMG en los adultos mayores de México y de diversos países de América Latina. Estas cifras presentadas no se reflejan en los datos de las encuestas nacionales de salud y nutrición en adultos mayores.

Por lo tanto, los adultos mayores con RD, y posiblemente con todas sus consecuencias clínicas, quedan fuera de las políticas públicas encaminadas a mejorar el estado de nutrición y salud de los adultos mayores de nuestro país. La desnutrición y RD por la MNA, así como la obesidad definida por el exceso de masa grasa, están estrechamente relacionadas con alteraciones metabólicas, un mayor riesgo de morbilidad y pérdida del desempeño físico. Estas cifras si bien no provienen de estudios con muestreo probabilístico y representativo, nos deberían de inquietar e impulsar a evaluar el estado de nutrición con base en otros parámetros y criterios diferentes al índice de masa corporal en la población de adultos mayores de nuestro país.

Referencias

- Alemán-Mateo, H., Antúnez-Roman, L. E., Esparza-Romero, J., Valencia, M. E., Salguero, J. J., Ramírez-Zea, M., Ferriolli, E., Ndour, R. N., Hernández- Triana, M., Salazar, G., y Rush, E. C. (2021). A new doubly labelled water anthropometry-based equation for prediction of total daily energy expenditure in older people from low- and middle-income countries. *European Journal of Clinical Nutrition*, 75(11), 1618-1626. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00886-6>
- Alemán-Mateo, H., Esparza-Romero, J., Romero, R. U., García, H. A., Pérez Flores, F. A., Ochoa Chacón, B. V., y Valencia, M. E. (2008). Prevalence of malnutrition and associated metabolic risk factors for cardiovascular disease in older adults from North-west Mexico. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 46(3), 375-385. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2007.05.010>
- Alemán-Mateo, H., López-Teros, M. T., Pallaro, A. N., Márquez, C., Guzmán, E. M. Q., Ramírez-Zea, M., Sánchez, M. E. D., Umpiérrez, E., Moirano, M., Badaloo, A., O'Donnell,

- A. R., Murphy-Alford, A. J., y Ferrioli, E. (2024). Assessment of the performance of the body mass index in diagnosing obesity in community-dwelling older adults in Latin American and Caribbean countries. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 116, 105170. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2023.105170>
- Araujo-Mendoza, M., Ávila, J., y Jerónimo B. V. (2004). *Scale to Identify Energy- Protein Malnutrition in the Older Hospitalized Adult*. 42(5), 387-394.
- Avila, J. C., Samper-Ternent, R., y Wong, R. (2021). Malnutrition Risk among Older Mexican Adults in the Mexican Health and Aging Study. *Nutrients*, 13(5), 1615. <https://doi.org/10.3390/nu13051615>
- Barrantes-Monge, M., García-Mayo, E. J., Gutiérrez-Robledo, L. M., y Miguel- Jaimes, A. (2007). *Dependencia funcional y enfermedades crónicas en ancianos mexicanos*. 49(4), 459-466.
- Böhm, A., y Heitmann, B. L. (2013). The use of bioelectrical impedance analysis for body composition in epidemiological studies. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67(S1), S79-S85. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2012.168>
- Camacho-Guerrero, A., y Fuentes-Pimentel, L. E. (2020). Prevalencia del estado de desnutrición en los adultos mayores de la Unidad Médica Familiar Núm. 53 de León, Guanajuato, México. *El Residente*, 15(1), 4-11. <https://doi.org/10.35366/94037>
- Cereda, E., Pedrolli, C., Klersy, C., Bonardi, C., Quarleri, L., Cappello, S., Turri, A., Rondanelli, M., y Caccialanza, R. (2016). Nutritional status in older persons according to healthcare setting: A systematic review and meta-analysis of prevalence data using MNA®. *Clinical Nutrition*, 35(6), 1282-1290. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.03.008>
- Cook, Z., Kirk, S., Lawrenson, S., y Sandford, S. (2005). Use of BMI in the assessment of undernutrition in older subjects: Reflecting on practice. *Proceedings of the Nutrition Society*, 64(3), 313-317. <https://doi.org/10.1079/PNS2005437>
- Gokulakrishnan, K., Deepa, M., Monickaraj, F., y Mohan, V. (2011). Relationship of body fat with insulin resistance and cardiometabolic risk factors among normal glucose-tolerant subjects. *Journal of Postgraduate Medicine*, 57(3), 184-188. <https://doi.org/10.4103/0022-3859.85200>
- González-Franco, L. R., González-Arellanes, R., Ramírez Torres, M., y Alemán- Mateo, H. (2020). Riesgo de desnutrición y factores asociados en una muestra de adultos mayores en la comunidad e institucionalizados de Yucatán, México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 70(1), 30-39. <https://doi.org/10.37527/2020.70.1.004>
- Huerta-Huerta, R., Esparza-Romero, J., Urquidez, R., Pacheco, B. I., Valencia, M. E., y Alemán-Mateo, H. (2007). [Validity of an equation based on anthropometry to estimate body fat in older adults]. *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*, 57(4), 357-365.
- Kaiser, M. J., Bauer, J. M., Rämisch, C., Uter, W., Guigoz, Y., Cederholm, T., Thomas, D. R., Anthony, P. S., Charlton, K. E., Maggio, M., Tsai, A. C., Vellas, B., y Sieber, C. C., for the Mini Nutritional Assessment International Group. (2010). Frequency of Malnutrition in Older Adults: A Multinational Perspective Using the Mini Nutritional Assessment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 58(9), 1734-1738. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03016.x>

- Kiesswetter, E., Pohlhausen, S., Uhlig, K., Diekmann, R., Lesser, S., Uter, W., Heseker, H., Stehle, P., Sieber, C. C., y Volkert, D. (2014). Prognostic Differences of the Mini Nutritional Assessment Short Form and Long Form in Relation to 1-Year Functional Decline and Mortality in Community-Dwelling Older Adults Receiving Home Care. *Journal of the American Geriatrics Society*, 62(3), 512-517. <https://doi.org/10.1111/jgs.12683>
- Leij-Halfwerk, S., Verwijs, M. H., Van Houdt, S., Borkent, J. W., Guaitoli, P. R., Pelgrim, T., Heymans, M. W., Power, L., Visser, M., Corish, C. A., y De Van Der Schueren, M. A. E. (2019). Prevalence of protein-energy malnutrition risk in European older adults in community, residential and hospital settings, according to 22 malnutrition screening tools validated for use in adults ≥ 65 years. *Maturitas*, 126, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2019.05.006>
- López-Ortega, M., y Arroyo, P. (2016). Anthropometric characteristics and body composition in Mexican older adults: Age and sex differences. *British Journal of Nutrition*, 115(3), 490-499. <https://doi.org/10.1017/S0007114515004626>
- López-Teros, M. T., Rosas-Carrasco, O., Sánchez-García, S., Castro-Porras, L., Luna-López, A., y Agudelo-Botero, M. (2021). The Association of Osteosarcopenia with Functional Disability in Community-Dwelling Mexican Adults 50 and Older. *Frontiers in Medicine*, 8, 674724. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.674724>
- López-Teros, M. T., Vidaña-Espinoza, H. J., Esparza-Romero, J., Rosas-Carrasco, O., Luna-López, A., y Alemán-Mateo, H. (2023). Incidence of the Risk of Malnutrition and Excess Fat Mass, and Gait Speed as Independent Associated Factors in Community-Dwelling Older Adults. *Nutrients*, 15(20), 4419. <https://doi.org/10.3390/nu15204419>
- Lu, Y., Karagounis, L. G., Ng, T. P., Carre, C., Narang, V., Wong, G., Tan, C. T. Y., Zin Nyunt, M. S., Gao, Q., Abel, B., Poidinger, M., Fulop, T., Bosco, N., y Larbi, A. (2019). Systemic and Metabolic Signature of Sarcopenia in Community-Dwelling Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series A*. <https://doi.org/10.1093/gerona/glz001>
- Manrique-Espinoza, B., Salinas-Rodríguez, A., y Margarita Moreno-Tamayo, K. (2013). Condiciones de salud y estado funcional de los adultos mayores en México. *Salud Pública de México*, 55(Supl.2), 323. <https://doi.org/10.21149/spm.v55s2.5131>
- Mowé, M., Böhmer, T., y Kindt, E. (1994). Reduced nutritional status in an elderly population (> 70 y) is probable before disease and possibly contributes to the development of disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59(2), 317-324. <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.2.317>
- Naseer, M., Forssell, H., y Fagerström, C. (2016). Malnutrition, functional ability and mortality among older people aged ≥ 60 years: A 7-year longitudinal study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 399-404. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.196>
- Nuotio, M., Tuominen, P., y Luukkaala, T. (2016). Association of nutritional status as measured by the Mini-Nutritional Assessment Short Form with changes in mobility, institutionalization and death after hip fracture. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 393-398. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.174>
- Okorodudu, D. O., Jumeau, M. F., Montori, V. M., Romero-Corral, A., Somers, V. K., Erwin,

- P. J., y Lopez-Jimenez, F. (2010). Diagnostic performance of body mass index to identify obesity as defined by body adiposity: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Obesity*, 34(5), 791-799. <https://doi.org/10.1038/ijo.2010.5>
- OMS. (1997). *Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic. Report of a WHO Consultation*.
- Osuna-Padilla, I. A., Verdugo-Hernández, S., Leal-Escobar, G., y Osuna-Ramírez, (2015). *Estado nutricional en adultos mayores mexicanos: estudio comparativo entre grupos con distinta asistencia social*. 19(1), 12-20. <https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.19.1.119>.
- Pérez-Lizaur, A. B., Alemán-Mateo, H., y Tavano-Colaizzi, L. (2013). Nutritional Status and Its Association with Body Composition Compartments in Physically Independent, Elderly Mexican Subjects. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113(9), A24. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.06.072>
- Ramírez-Torres, M., Ruiz Valenzuela, R. E., Esparza-Romero, J., López Teros, M. T., y Alemán-Mateo, H. (2019). The fat mass index, not the fat-free mass index, is associated with impaired physical performance in older adult subjects: Evidence from a cross-sectional study. *Clinical Nutrition*, 38(2), 877-882. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.02.013>
- Reyes, J. G. G., Zúñiga, A. S., y Cruz, M. G. (2007). [Prevalence of hypo nutrition in the elderly at admission to the hospital]. *Nutrición Hospitalaria*, 22(6), 702-709.
- Rodríguez-Tadeo, A., Wall-Medrano, A., Gaytan-Vidana, M. E., Campos, A., Ornelas-Contreras, M., y Novelo-Huerta, H. I. (2012). Malnutrition risk factors among the elderly from the US-Mexico border: The "one thousand" study. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 16(5), 426-431. <https://doi.org/10.1007/s12603-011-0349-1>
- Salinas-Rodríguez, A., De La Cruz-Góngora, V., y Manrique-Espinoza, B. (2020). Condiciones de salud, síndromes geriátricos y estado nutricional de los adultos mayores en México. *Salud Pública de México*, 62(6, Nov-Dic), 777-785. <https://doi.org/10.21149/11840>
- Sánchez-García, S., García-Peña, C., Duque-López, M. X., Juárez-Cedillo, T., Cortés-Núñez, A. R., y Reyes-Beaman, S. (2007). Anthropometric measures and nutritional status in a healthy elderly population. *BMC Public Health*, 7(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-7-2>
- Schaap, L. A., Koster, A., y Visser, M. (2013). Adiposity, Muscle Mass, and Muscle Strength in Relation to Functional Decline in Older Persons. *Epidemiologic Reviews*, 35(1), 51-65. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxs006>
- Sempos, C. T., Johnson, N. E., Elmer, P. J., Allington, J. K., y Matthews, M. E. (1982). A dietary survey of 14 Wisconsin nursing homes. *Journal of the American Dietetic Association*, 81(1), 35-40.
- Shamah-Levy, T., Cuevas-Nasu, L., y Mundo-Rosas, V. (2008). *Estado de salud y nutrición de los adultos mayores en México: Resultados de una encuesta probabilística nacional*. 50(5).
- Tinajero-Delgado, J., Martínez-Ezquerro, J. D., Moreno-Tamayo, K., Curcio-Borrero, C.

- L., Arias-Merino, E. D., Sánchez-García, S., Espinel-Bermúdez, M. C., y Valencia-Rico, C. L. (2023). Factores que afectan el estado nutricional en personas mayores mexicanas: Enasem, 2018. *Salud Pública de México*, 65(5, sept-oct), 493-503. <https://doi.org/10.21149/14753>
- Vellas, B., Guigoz, Y., Garry, P. J., Nourhashemi, F., Bennahum, D., Lauque, S., y Albaredo, J.-L. (1999). The mini nutritional assessment (MNA) and its use in grading the nutritional state of elderly patients. *Nutrition*, 15(2), 116-122. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(98\)00171-3](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(98)00171-3)
- Vidaña-Espinoza, H. J., López-Teros, M. T., Esparza-Romero, J., Rosas-Carrasco, O., Luna-López, A., y Alemán-Mateo, H. (2024). Association between the risk of malnutrition and sarcopenia at 4.2 years of follow-up in community-dwelling older adults. *Frontiers in Medicine*, 11, 1363977. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1363977>
- Vincent, H. K., Vincent, K. R., y Lamb, K. M. (2010). Obesity and mobility disability in the older adult. *Obesity Reviews*, 11(8), 568-579. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2009.00703.x>
- Wong, R., Espinoza, M., y Palloni, A. (2007). *Adultos mayores mexicanos en un contexto socioeconómico amplio: salud y envejecimiento*. 49(4).

4. Obesidad y estilo de vida de los indígenas del estado de Sonora: el caso de los O'oba (Pimas), Yoeme (Yaquis) y Comcáac (Seris)



JULIÁN ESPARZA ROMERO*

ANA CRISTINA GALLEGOS AGUILAR**

HELIODORO ALEMÁN MATEO***

MAURO EDUARDO VALENCIA****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.04>

Resumen

Las poblaciones indígenas en México y en el mundo están enfrentando una franca transición en sus estilos de vida, pasando de un estilo tradicional, más saludable, a uno más moderno y menos saludable. Lo anterior explica en gran medida las altas prevalencias de algunas enfermedades crónicas y alteraciones del estado de nutrición en algunos grupos indígenas. El objetivo de este estudio fue evaluar el rol que han tenido los cambios en los estilos de vida, principalmente la alimentación y la actividad física (AF), sobre la obesidad en la población indígena de Sonora (PIS). Considerando la diversidad étnica y el entorno de la PIS, el estado nutricional, el tipo de alimentación, la AF y el estado de algunas comorbilidades, se evaluaron con un enfoque epidemiológico nutricional y de salud pública en tres grupos indígenas. Los tres grupos viven bajo estilos de vida muy particulares. Los pimas de la montaña de Sonora, tienen una agricultura tradicional de auto-

* Doctor en Epidemiología. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9748-2031> ; correspondencia: julian@ciad.mx

** Maestra en Ciencias. Profesora-investigadora asociada en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1909-0627>

*** Doctor en Ciencias. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1582-2475>

**** Doctor en Ciencias. Profesor-investigador en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6353-4841>

consumo, los yaquis, una agricultura intensiva y netamente comercial y los seris, grupo no agricultor, cuya base de su economía es principalmente la pesca. Para el caso de los pimas mexicanos, la problemática antes mencionada se analizó de manera comparativa en relación con los pimas de Arizona, que son grupos que llevan estilos de vida contrastantes; además, para el caso de los pimas mexicanos, se analizó también comparando los cambios después de un periodo de 15 años (1995 a 2010). Para los seris y los yaquis se evaluó esta misma problemática, analizando información recolectada en el 2014 para los seris y en el 2018 para los yaquis. Finalmente, se analizaron las diferencias en las prevalencias de obesidad y el estilo de vida en estas tres PIS. Se ha generado conocimiento sobre la dimensión que representa la obesidad y sus comorbilidades, así como sobre los principales factores asociados en la PIS. Esto permite concluir que la obesidad es un problema significativo en la PIS. Los cambios en la dieta y la AF, producto de un fenómeno de transición nutricional que está enfrentando la PIS, parecen ser factores fundamentales que explican las diferencias evaluadas en relación con la obesidad y sus comorbilidades.

Palabras clave: *obesidad, indígenas mexicanos, dieta, actividad física.*

Introducción

La obesidad se considera un problema de salud pública global, debido a que es uno de los principales factores de riesgo de enfermedades crónicas, así como por su significativo aumento en las últimas tres décadas (NCD-RisC, 2024). En la población mexicana, la obesidad también ha incrementado de manera preocupante. Datos muy recientes de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2022 indican que en los adultos mexicanos de 20 años o más, la prevalencia de esta enfermedad ha pasado de 34.6% a 41.0% en mujeres y de 24.3 a 32.3% en hombres durante el periodo del 2006 al 2022 (Campos-Nonato et al., 2023). El incremento se ha explicado, principalmente, por un aumento en el consumo de dietas poco saludables, caracterizadas por una alta densidad energética, bajas en fibra dietética (FD) y

otros nutrimentos (Campos-Nonato et al., 2023), junto con la reducción de la actividad física (AF) (NCD-RisC, 2024; Rodríguez-Ramírez et al., 2022).

Las poblaciones indígenas, en México y en todo el mundo, enfrentan una notable transición en sus estilos de vida, pasando de un estilo tradicional y más saludable, a uno moderno y menos saludable, lo cual se explica principalmente por el aumento en la mecanización en el trabajo y el aumento en el consumo de alimentos industrializados y de bajo nivel nutricional (Pérez-Ferrer et al., 2018; Chaudhari et al., 2013). Esto conlleva implicaciones graves en el estado de nutrición y de salud (Serna-Gutiérrez et al., 2022; Esparza-Romero et al., 2015; Schulz et al., 2006). A pesar de la diversidad e importancia cultural de los grupos indígenas, la ENSANUT en México proporciona información limitada sobre sus condiciones de salud, estado nutricional y estilo de vida. El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de la situación de obesidad en la población indígena de Sonora y su asociación con el estilo de vida, principalmente la alimentación y la actividad física, a partir de los resultados de nuestros estudios iniciados en 1995.

Métodos

Considerando la diversidad étnica y el ambiente o entorno de los grupos indígenas que residen en Sonora, el estado nutricional, el tipo de alimentación, la AF y el estado de algunas comorbilidades se evaluaron desde un enfoque epidemiológico nutricional y de salud pública en tres grupos indígenas de Sonora. Los tres grupos llevan estilos de vida muy particulares. Los pimas de la montaña de Sonora, practican una agricultura tradicional de autoconsumo y cultivan sus tierras de temporal en las laderas de las montañas de la sierra madre, mientras que los yaquis, tradicionalmente agricultores del valle, son propietarios de grandes extensiones de tierra de cultivo de riego que, en su mayoría, rentan a agricultores no indígenas, quienes practican una agricultura intensiva y netamente comercial.

Los seris, quienes son considerados un grupo no agricultor, han basado su economía tradicionalmente en la caza, la pesca tradicional, la recolección y, más recientemente, en la pesca comercial, la venta de artesanías y el ecoturismo.

En los tres grupos étnicos el estado nutricional se evaluó conforme al Índice de masa corporal (IMC, obtenido dividiendo el peso en kg y la talla al cuadrado en metros) y mediante la circunferencia de la cintura, con lo que se diagnosticó obesidad y obesidad abdominal. El tipo de alimentación se evaluó a través de la estimación del consumo de energía total y su aporte de carbohidratos, grasas y proteínas, así como el de la FD. La AF se evaluó mediante el cuestionario diseñado y validado para ello, obteniendo así las horas por semana de AF ocupacional, moderada y vigorosa.

Para este trabajo se utilizó información de cuatro investigaciones con un diseño transversal realizadas en adultos de 20 años o más de los tres grupos indígenas mencionados. Para los pimas, la información utilizada proviene de un primer estudio realizado en 1995 (Schulz et al., 2006; Esparza-Romero et al., 2000) y de un segundo, realizado en 2010 (Esparza-Romero et al., 2015). De los seris se obtuvo información de un estudio realizado en el 2014 (Robles-Ordaz et al., 2018) y de los yaquis, la información utilizada se obtuvo de un estudio realizado en el 2017 (Serna-Gutiérrez et al., 2022). En el estudio de 1995, la comparación fue entre los grupos pima de Sonora (pimason, $n = 225$) y pima de Arizona (pimaariz, $n = 887$). El objetivo fue evaluar el efecto de mantener un estilo de vida tradicional versus uno occidentalizado, considerando que ambos grupos comparten un mismo origen étnico (Schulz et al., 2006). En los PIMASON, en una segunda comparación, se evaluaron los cambios en el estilo de vida y el estado nutricional después de 15 años con la información obtenida de los estudios de 1995 y de 2010 (PIMASON: 1995 vs. 2010).

La prevalencia de la obesidad abdominal y de algunas comorbilidades como hipertrigliceridemia, hipercolesterolemia, hipoalfalipoproteinemia (bajo HDL), hipertensión arterial, diabetes tipo 2 (DT2) previamente diagnosticada y DT2 total se comparó entre los pimason (2010, $n = 359$), los seris (2014, $n = 227$) y los yaquis (2017, $n = 351$) con obesidad. En los yaquis se evaluaron en la hipertrigliceridemia, la hipercolesterolemia, la hipoalfalipoproteinemia (bajo HDL) y DT2 total en una submuestra de 94 sujetos.

La evaluación dietética para los grupos yaquis y seris se realizó mediante el cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos (CFCA), mientras que para los pimas fue mediante el recordatorio de 24h (R24h), aplicado en dos días no consecutivos. La AF se evaluó utilizando la misma metodología

del cuestionario en los tres grupos étnicos (Lavandera-Torres y Esparza-Romero, 2017). Por su parte, la obesidad se evaluó considerando el criterio de la OMS ($\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$). La obesidad abdominal se diagnosticó siguiendo el criterio de la Federación Internacional de Diabetes (hombres: cintura $\geq 80 \text{ cm}$; mujeres: cintura $\geq 90 \text{ cm}$). Las variables se expresaron como medias $\pm$ desviación estándar o medianas e intervalo de confianza al 95%. Las variables categóricas se expresaron como porcentajes en la población total y estratificados por sexo.

Resultados

Los pimas mexicanos son un grupo indígena establecido en la comunidad de Maycoba y poblados aledaños, pertenecientes al municipio de Yécora, que se localiza en las montañas de la Sierra Madre del noroeste de México, en la frontera este del estado de Sonora y en colindancia con el estado de Chihuahua. En el 2010, su población era de 821 habitantes (Schulz et al., 2006; Urquidez-Romero et al., 2014). Los seris habitan actualmente en dos comunidades localizadas en la costa desértica del estado de Sonora: Punta Chueca, en el municipio de Hermosillo, y El Desemboque, en el municipio de Pitiquito, con una población estimada de 700 habitantes según el INEGI en el 2020. Los yaquis se encuentran ubicados entre los municipios de Guaymas, Bácum y Cajeme, distribuidos en ocho pueblos tradicionales (Loma de Bácum, Loma de Guamúchil, Tórim, Vícam, Pótam, Belem, Ráhum y Huiribis) (Serna-Gutiérrez et al., 2022). De acuerdo con datos del INEGI, en el 2020, había un total de 23 213 habitantes en los ocho pueblos tradicionales yaquis, de los cuales el 70.7% (16 414) eran yaquis. Por su parte, los pimas de Arizona residen cerca del río Gila, en la región desértica del sur de Arizona, y llevan un estilo de vida netamente occidentalizado (Schulz et al., 2006).

Obesidad y estilo de vida en los pimason y los pimaariz

Comparado con los pimason, la prevalencia de la obesidad en los pimaariz fue 5.9, 9.7 y 3.8 veces mayor, tanto en la población total, así como en hombres y mujeres (pimaariz *vs.* pimason: total (79.0 *vs.* 13.3); hombres (63.8 *vs.* 6.6); y mujeres (74.8 *vs.* 19.7). De manera similar, la media del porcentaje de grasa corporal (PGC) fue mayor en los pimaariz que en los pimason en ambos sexos (hombres: 34.0 ± 8.0 *vs.* 19.0 ± 8.0 y mujeres: 47.0 ± 5.0 *vs.* 36.0 ± 7.0). En relación con la dieta, se observó que la media del porcentaje de energía proveniente de grasas (PEPG) fue mayor en los PIMAARIZ que en los PIMASON (35.1 ± 5.5 *vs.* 27.7 ± 5.5), tanto en hombres (30.0 ± 9.4 *vs.* 26.6 ± 6.9) como en mujeres (35.1 ± 5.5 *vs.* 26.1 ± 5.6).

Por el contrario, el consumo de FD fue menor en la muestra total de los PIMAARIZ que en los PIMASON (PIMAARIZ: 26.9 ± 11.7 *vs.* PIMASON: 52.2 ± 13.6 g/día). Se encontraron resultados similares al estratificarlos por sexo (hombres: 32.6 ± 15.2 *vs.* 55.4 ± 17.0 g/día y mujeres: 26.9 ± 11.7 *vs.* 50.7 ± 15.2 g/día). Respecto de la AF, la mediana (95%IC) en horas por semana de AF ocupacional moderada (AFOM) y de AF ocupacional vigorosa (AFOV) fue menor en los PIMAARIZ, comparado con los PIMASON (hombres: 12.0 (9.7-15.6 h/sem.) *vs.* 32.9 (27.7-36.5); mujeres: 3.1 (2.4-3.8) *vs.* 22.0 (19.5-24.0).

Cambios en el estado de nutrición, dieta y actividad física después de 15 años en los Pimason (1995 *vs.* 2010)

A continuación, se presenta la prevalencia de la obesidad y obesidad abdominal en los Pimason. Comparando con lo encontrado en el estudio de 2010 *vs.* 1995, la prevalencia de la obesidad fue dos veces mayor en 2010 para la muestra total (PIMASON 2010 *vs.* 1995: 26.7 *vs.* 13.3). En hombres, la prevalencia en 2010 fue 2.3 veces mayor (15.3 *vs.* 6.6) y en mujeres 1.9 veces mayor (37.0 *vs.* 19.7). La obesidad abdominal (OA) fue 1.4 veces mayor en 2010 (67.4 *vs.* 46.5) en hombres, pues esta fue 1.8 veces mayor en 2010 *vs.* 1995 (42.9 *vs.* 24.1), mientras que, en el caso de las mujeres, la OA fue 1.3

veces mayor en 2010 (89.4 vs. 67.0). El aumento en 2010, comparado con lo encontrado en 1995, también fue observado en el PGC, tanto en la población total (2010 vs. 1995: 33.1 ± 10.5 vs. 27.8 ± 11.2), como en hombres (24.9 ± 7.6 vs. 19.2 ± 7.8) y mujeres (40.6 ± 6.2 vs. 35.6 ± 7.4).

En relación con el consumo dietético, el PEPG aumentó en 2010 vs. 1995. En la población total, la media del PEPG en 2010 fue 30.0 ± 9.4 vs. 27.3 ± 5.5 . En hombres, fue de 31.0 ± 9.3 vs. 27.5 ± 5.9 , y en mujeres fue de 29.3 ± 9.5 en 2010 vs. 27.1 ± 5.2 , en 1995. Por su parte, el consumo de FD se redujo durante este periodo de 15 años. Los g/días consumidos de FD en 2010 fueron de 32.6 ± 15.2 , mientras que en 1995 fueron de 52.2 ± 13.6 en la población total. En hombres fue de 36.9 ± 16.2 en 2010 y de 55.4 ± 17.0 en 1995, mientras que en mujeres fue de 29.8 ± 13.8 en 2010 vs. 50.7 ± 15.2 en 1995.

Al respecto de la AF, se encontró una reducción general en la mediana (95% IC) de las horas por semana de AF ocupacionales durante el periodo de 15 años (1995 y 2010). De manera particular, en ambos sexos, la mediana de AFOM se redujo en 6.6 h/sem. en el 2010, con respecto a 1995 [2010 vs. 1995: 9.8 (8.9, 10.6) vs. 16.2 (14.4, 17.1)]. Por su parte, la AFOV se redujo en 6.0 h/sem. [7.8 (5.8, 10.4) vs. 13.8 (8.4, 17.1)]. Por sexo, la mediana de AFOM en hombres aumentó en 2.5 h/sem. en el 2010 [6.2 (4.9, 8.1) vs. 3.7 (2.3, 5.7)], con una reducción mínima en las AFOV de 1.5 h/sem. [17.7 (14.5, 20.3) vs. 19.2 (16.6, 21.9)]. En el caso de las mujeres, la mediana de AFOM se redujo en 8 h/sem. [10.7 (10.1, 12.0) vs. 18.7 (18.0, 20.8)] y la AFOV prácticamente se mantuvo igual en ambos estudios [2010 vs. 1995: 1.2 (0.9, 2.0) vs. 0.9 (0.6, 1.85)].

Obesidad, obesidad abdominal y estilo de vida en pimas, yaquis y seris

Como se observa en la tabla 4.1, la obesidad en la muestra total en yaquis fue 1.4 veces mayor que en los pimas y seris. En hombres, esta fue 1.2 veces mayor que en los seris y 1.6 veces mayor que en pimas; en mujeres fue 1.6 veces mayor que en seris y 1.2 veces mayor que en pimas. Comparando seris vs. pimas, la obesidad total en los hombres seris fue mayor que en los

Tabla 4.1. *Prevalencia de obesidad total y obesidad abdominal en pimas, seris y yaquis*

<i>Grupos</i>	<i>Total</i>	<i>Hombres</i>	<i>Mujeres</i>
Obesidad			
Pimas (2010)	26.7	15.3	37.0
Seris (2014)	26.4	21.4	28.7
Yaquis (2017)	37.9	24.8	47.5
Obesidad abdominal			
Pimas (2010)	67.4	42.9	89.4
Seris (2014)	74.0	54.3	82.8
Yaquis (2017)	78.4	65.1	88.1

Fuente: elaboración propia.

pimas (21.4 vs. 15.3), lo cual fue lo opuesto a lo que sucedió con las mujeres (28.7 vs. 37.0).

Comparando yaquis, pimas y seris, la obesidad abdominal fue 1.1 y 1.2 veces mayor en yaquis que en seris y pimas. En hombres yaquis fue 1.2 y 1.5 veces mayor que en hombres seris y pimas. En mujeres, la obesidad abdominal en yaquis fue 1.1 veces mayor que en seris y muy similar a los pimas. Por otro lado, comparando entre seris y pimas, la obesidad abdominal global (74.0 vs. 67.4) y en hombres (54.3 vs. 42.9) fue mayor en los seris; lo contrario sucedió con las mujeres (37.0 vs. 28.7) (tabla 4.1).

En relación con las variables dietéticas, se encontró que la media del PEPG fue de 30.0 ± 9.4 , 32.9 ± 5.1 y 30.4 ± 5.8 en pimas, seris y yaquis. En hombres fue de 31.0 ± 9.3 , 32.9 ± 5.1 y 30.4 ± 5.8 y en mujeres de 29.3 ± 9.5 , 32.4 ± 5.3 y 30.1 ± 5.9 . El consumo promedio de FD fue mayor en yaquis con respecto a los pimas y seris en la población total (32.6 ± 15.2 , 33.5 ± 12.2 y 47.7 ± 22.3 g/día), así como en hombres (36.9 ± 16.2 , 36.0 ± 12.0 y 52.1 ± 22.9 g/día) y en mujeres (29.8 ± 13.8 , 32.4 ± 12.1 y 44.4 ± 21.2 g/día), aunque con consumos adecuados en los tres grupos indígenas.

Por su parte, la mediana (95% IC) de AF ocupacional moderada (AFOM) expresada en horas por semana fue mayor en los seris, seguido de los pimas y los yaquis [14.3 (12.3, 17.7), 9.8 (8.9, 10.6) y 6.6 (5.6, 9.1) h/sem.]. La AF ocupacional vigorosa (AFOV) fue mucho mayor en los pimas, seguido de seris y yaquis [7.8 (5.8, 10.4), 2.5 (1.8, 3.2), 1.9 (1.4, 3.6) h/sem.]. En hombres, la mediana de AFOM fue mayor en los seris, seguido de los yaquis y los pimas [20.6 (16.6, 25.4), 17.3 (12.6, 24.5), 6.2 (4.9, 8.1)] y la AFOV fue

mayor en los pimas, seguido de los seris y los yaquis [17.7 (14.5, 20.3), 3.15 (1.50, 4.6) y 2.1 (1.4, 4.6)]. En mujeres, la mediana de AFOM fue mayor en los seris, seguido de los pimas y los yaquis [12.5 (11.5, 14.8), 10.7 (10.1, 12.0) y 4.2 (3.5, 5.5)] y la AFOV fue ligeramente mayor en los seris, seguido de los yaquis y los pimas [1.8 (1.4, 2.8), 1.5 (0.7, 3.0) y 1.2 (0.9, 2.0)].

Dado que la obesidad se ha asociado con un buen número de enfermedades y anormalidades metabólicas, aquí se presentan, de manera comparativa, algunas de esas características en las personas con obesidad de los tres grupos indígenas. De esta forma, la obesidad abdominal estuvo presente en el 100% de las personas con obesidad en los tres grupos. La prevalencia de la hipertrigliceridemia [seris, pimas y yaquis: 36.2, 51.0 y 34.9 (de submuestra yaqui)] y la hipoalfalipoproteinemia [60.3, 97.0 y 90.1 (de submuestra yaqui)] fue mayor en pimas; sin embargo, la prevalencia de la hipercolesterolemia [55.2, 13.5 y 16.7 (de submuestra yaqui)], de la hipertensión arterial (55.0, 33.3 y 26.3), de la diabetes previa (30.0, 8.3 y 13.5) y de la diabetes total [41.7, 11.5 y 13.6 (de submuestra yaqui)] fue mayor en seris. Los yaquis presentaron una mayor prevalencia del hábito de fumar (1.7, 8.4 y 11.3%) y una menor mediana de AFOV (1.8, 2.5 y 1.4).

Discusión

Obesidad y estilo de vida en los pimason y los pimaariz

La prevalencia de obesidad, obesidad abdominal y la media del porcentaje de grasa fueron menores en los pimason comparados con los pimaariz. Las diferencias coinciden con los contrastes encontrados en las variables relacionadas con la dieta y de AF en los dos grupos indígenas, que comparten un mismo origen étnico. En relación con la dieta, los pimason tuvieron un menor consumo de energía por grasas y un mayor consumo de fibra dietética. En relación con la AF, los pimason dedicaron un mayor número de horas por semanas a las AF ocupacionales moderadas y vigorosas. En 1995, también se evaluó el gasto de energía en vida libre en estos dos grupos indígenas por agua doblemente marcada, que es el método de referencia a

nivel internacional. Los resultados confirmaron lo encontrado con el cuestionario de AF, con un gasto de energía total y por AF mucho más altos en los *pimason* comparado con los *pimaariz* (Esparza-Romero et al., 2000). El estudio confirma que tanto la dieta y actividad física son dos de los factores fundamentales asociados con la obesidad.

Cambios en el estado de nutrición, dieta y actividad física después de 15 años en los *pimason* (1995 vs. 2010)

Durante el periodo de quince años transcurridos después haber iniciado la primera investigación en 1995 (1995-2010), se observaron cambios en el estilo de vida tradicional de la comunidad de Maycoba, iniciados con la apertura de la carretera Hermosillo-Chihuahua y Cd. Obregón-Chihuahua, pasando por las comunidades pima mexicanas, la instalación de infraestructura de electricidad y la red de agua potable. Lo anterior, a su vez, creó las condiciones para el aumento en el número de automóviles y la apertura de más tiendas, con un concomitante aumento en la disponibilidad de una variedad mucho mayor de productos alimenticios industrializados (Chaudhari LS et al., 2013; Esparza-Romero et al., 2015). Se ofrecieron, además, nuevos servicios a los habitantes como la telefonía satelital, el internet y la señal satelital para los televisores (Esparza-Romero et al., 2015). Los cambios pudieran explicar el aumento en la prevalencia de la obesidad durante este periodo de 15 años, ya que durante ese mismo tiempo también se elevó la energía consumida por grasas y azúcares simples, y se redujo el consumo de FD. Durante este mismo periodo se observó una reducción en el gasto de energía total y por las AF ocupacionales en las mujeres, y en mucho menor grado, en los hombres, quienes siguen realizando actividad física intensa en su hábitat. La reducción en el gasto de energía se constató en un estudio adicional donde se usó el método de agua doblemente marcada (Niclou et al., 2024).

Obesidad, obesidad abdominal y estilo de vida en pimas, yaquis y seris

En los indígenas de Sonora, la obesidad en yaquis fue mucho mayor que en los seris y los pimas; estos dos últimos con una prevalencia de obesidad similares. La prevalencia reportada en población rural de Sonora (30.4%) (ENSANUT-Sonora, 2012), fue menor que en los yaquis y mayor que en los seris y pimas. El grado de obesidad que exhibieron los grupos indígenas en Sonora es preocupante, ya que las personas con obesidad en los tres grupos indígenas ya muestran una notable prevalencia de algunas comorbilidades, como las ya descritas. Las dietas altas en densidad energética se han asociado con una mayor obesidad. Los cinco principales alimentos aportadores de calorías en la dieta de las poblaciones seris y yaquis fueron los siguientes: para los seris, casi el 50% de las calorías consumidas proviene de bebidas azucaradas (incluyendo bebidas carbonatadas o refrescos), carnes (de todo tipo), tortilla de harina, frijol y pescados y mariscos. En el caso de los yaquis, casi el 60% de las calorías proviene del consumo de tortilla de harina de trigo y de maíz, frijol, papas y bebidas azucaradas (incluyendo bebidas carbonatadas o refrescos). En relación con el consumo de grasa, se muestran los cinco principales alimentos aportadores de este nutrimento: para los seris, casi el 60% de la grasa ingerida proviene del consumo de carne (todo tipo de carnes), frijol (principalmente fritos), leche, quesos, mariscos y pescados (el pescado cocinado principalmente con aceite vegetal) y las papas (principalmente fritas).

Para los yaquis, el 66.7% de la grasa ingerida proviene del consumo de papas (principalmente fritas), tortilla de harina, carnes (todo tipo de carnes), huevos y pan (todo tipo de pan). Con respecto al consumo de FD, en los seris el 64.8% proviene del consumo de frijol, tortilla de harina, lentejas, verduras, y tortilla de maíz. Para los yaquis, el 68% de la FD proviene del consumo de frijol, tortilla de harina de maíz y de trigo y en menor grado por cereales para el desayuno y papas. Es claro que, a pesar de que la dieta tradicional en los grupos indígenas ha cambiado, todavía consumen alimentos tradicionales como el frijol y las tortillas de harina de trigo y de maíz que son destacados aportadores de FD.

Limitaciones

El trabajo presenta limitaciones. Una primera limitación de este trabajo es el uso de diferentes técnicas dietéticas para su evaluación. En los pimas se utilizó el R24h y en los seris y los yaquis el CFCA. Sin embargo, la limitación del R24h con respecto a la CFCA se redujo al aplicar el R24h en dos ocasiones no consecutivas. En el caso de los pima, los estudios de comparación emplearon la misma herramienta para el análisis de la dieta (R24h), por lo que se esperaba que el efecto del uso del R24h fuera similar entre los grupos de comparación. Una segunda limitación del trabajo es la ejecución de los estudios en distintos tiempos, por lo que es posible que la prevalencia de obesidad en los pimas y los seris pudiera ser mayor, si se hubieran realizado al mismo tiempo que el estudio con los yaqui. Las fortalezas de este trabajo son que las tres investigaciones se realizaron con rigor metodológico. La dieta de los yaquis y los seris se evaluó con CFCA generados y validados para estas poblaciones. La AF por su parte, se evaluó mediante cuestionarios generados para cada una de las tres poblaciones. En los pimas, el gasto de energía total y por AF se evaluó adicionalmente mediante la técnica de agua doblemente marcada.

Conclusiones

A la fecha, se ha generado conocimiento sobre la dimensión que representa la obesidad y sus comorbilidades, así como de sus principales factores asociados en grupos indígenas del noroeste de México. Esto nos permite concluir que la obesidad es un problema significativo en las poblaciones indígenas de Sonora.

Los cambios en la dieta y la AF, producto de la exposición paulatina a un estilo de vida más occidentalizado de los tres grupos indígenas estudiados, parecen ser factores fundamentales que explican las diferencias evaluadas en relación con la obesidad y sus comorbilidades.

La información obtenida ha servido como base para el diseño y la implementación de proyectos de prevención culturalmente aceptables por

parte de nuestro grupo de trabajo, enfocado en la promoción de estilos de vida saludables, tanto en adultos como en escolares, lo cual busca obtener beneficios en su salud y el bienestar en general de estos grupos vulnerables.

El presentar los resultados obtenidos sobre la obesidad y sus comorbilidades, el tipo de alimentación y de AF en estos tres grupos indígenas es muy importante para generar consciencia en los lectores de este libro, principalmente en las autoridades tradicionales y los tomadores de decisiones de instituciones gubernamentales. Esto puede dar la pauta para la implementación de políticas públicas relacionadas con la mejora del estado de nutrición y la salud en general de estas poblaciones.

Una atención oportuna por parte de las autoridades de salud que promueva estilos de vida más saludables, incluyendo mejoras en la dieta y la práctica de la AF, podría, sin duda, reducir y/o evitar un aumento todavía mayor en las comorbilidades asociadas a la obesidad que ya se observa en estas comunidades.

Referencias

- Campos-Nonato, I., O. Galván-Valencia, L. Hernández-Barrera, C. Oviedo-Solís y S. Barquera. (2023). Prevalencia de obesidad y factores de riesgo asociados en adultos mexicanos: resultados de la Ensanut 2022. *Salud Pública Mex*, 65(supl 1), S238-S247. <http://doi.org/10.21149/14809>.
- Chaudhari, L. S., Begay, R. C., Schulz, L. O. (2013). Fifteen years of change in the food environment in a rural Mexican community: the Maycoba project. *Rural Remote Health*, 13:2404.
- Esparza-Romero, J., M. E. Valencia, R. Urquidez-Romero, L. S. Chaudhari, R. L. Hanson, W. C. Knowler, E. Ravussin, P. H. Bennett y L. O. Schulz. (2015). Environmentally driven increases in type 2 diabetes and obesity in Pima Indians and Non-Pimas in Mexico over a 15-year period: The Maycoba Project. *Diabetes Care*, 38(11), 2075-2082. <http://doi: 10.2337/dc15-0089>.
- Esparza-Romero, J., C. Fox, I. T. Harper, P. H. Bennett, L. O. Schulz, M. E. Valencia y E. Ravussin. (2000). Daily energy expenditure in Mexican and USA Pima Indians: Low physical activity as a possible cause of obesity. *International Journal Obesity and Related Metabolic Disorders*, 24 (1), 55- 59. (ISSN: 0307-0565). <http://doi: 10.1038/sj.ijo.0801085>.
- Instituto Nacional de Salud Pública. (2013). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

- (ENSANUT 2012) Resultados por entidad federativa, Sonora. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública. Disponible en: encuestas.insp.mx.
- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). (2024). Worldwide trends in underweight and obesity from 1990 to 2022: a pooled analysis of 3663 population-representative studies with 222 million children, adolescents, and adults. *Lancet*, 403, 1027-50. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)02750-2](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)02750-2).
- Lavandera-Torres, M., y J. Esparza-Romero. (2017). Adaptación y reproducibilidad de un cuestionario para evaluar la actividad física en la comunidad Comcáac (seri) de Sonora, México. *Acta Universitaria*, 27(1), 76-82. doi.org/10.15174/au.2017.1272.
- Niclou, A., J. Esparza-Romero, R. Urquidez-Romero, Y. Lam, J. Rood, L. Schulz, P. Bennett, M. Valencia, y E. Ravussin (2024). Energy Expenditure and Physical Activity Over 15 Years of Environmental Changes: The Maycoba Project. *Obesity*. [http://doi: 10.1002/oby.24061](http://doi.org/10.1002/oby.24061).
- Pérez-Ferrer C., Anne McMunn, Paola Zaninotto, Eric J. Brunner. (2018). The nutrition transition in Mexico 1988-2016: the role of wealth in the social patterning of obesity by education. *Public Health Nutr.* 21(13), 2394-2401. <http://doi: 10.1017/S1368980018001167>.
- Robles-Ordaz, M. D., A. C. Gallegos-Aguilar, R. Urquidez-Romero, R. G. Diaz Zavala, M. G. Lavandera-Torres y J. Esparza-Romero. (2018). Prevalence of prediabetes and modifiable factors in an ethnic group of Mexico: the Comcáac Project. *Public Health Nutrition*, 21(2), 333-338. <http://doi:10.1017/S1368980017002658>.
- Rodríguez-Ramírez, S., B. Martínez-Tapia, D. González-Castell, L. Cuevas-Nasu y T. Shamah-Levy. (2022). Westernized and Diverse Dietary Patterns Are Associated with Overweight-Obesity and Abdominal Obesity in Mexican Adult Men. *Front. Nutr*, 9, 891609. [doi: 10.3389/fnut.2022.891609](https://doi.org/10.3389/fnut.2022.891609).
- Schulz, L. O, P. H. Bennett, E. Ravussin, J. R. Kidd, Kidd K. K., J. Esparza-Romero y M. E. Valencia. (2006). Effects of traditional and western environments on prevalence of type 2 diabetes in Pima Indians in Mexico and U.S. *Diabetes Care*, 29 (8), 1865-1871. <http://doi: 10.2337/dc06-0138>.
- Serna-Gutiérrez, A., A. A. Castro-Juárez, M. Romero-Martínez, H. Alemán-Mateo, R. G. Díaz-Zavala, L. Quihui-Cota, G. Álvarez-Hernández, A. C. Gallegos Aguilar y J. Esparza-Romero. (2022). Prevalence of overweight, obesity and central obesity and factors associated with BMI in indigenous Yaqui people: a probabilistic cross-sectional survey. *BMC Public Health*, 22(1), 308. <http://doi.org/10.1186/s12889-022-12702-2>.
- Urquidez-Romero, R., J. Esparza-Romero, L. S. Chaudhari, R. Begay, M- Giraldo, E. Ravussin, W. C. Knowler, R. L. Hanson, P. H. Bennett, L. O. Schulz y M. E. Valencia. (2014). Study design of the maycoba project: obesity and diabetes in Mexican Pima. *Am J Health Behav*, 38(3), 370-378. <http://doi: 10.5993/AJHB.38.3.6>.

5. Conductas alimentarias de riesgo: percepción corporal y bienestar en estudiantes universitarios



SANDRA ELVIA DOMÍNGUEZ IBÁÑEZ*

MARÍA JOSÉ CUBILLAS RODRÍGUEZ**

ELBA ABRIL VALDEZ***

MARÍA ALEJANDRA CÓRDOVA MORENO****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.05>

Resumen

El presente estudio tuvo por objetivo analizar la relación entre las conductas alimentarias de riesgo, la percepción corporal y los índices de bienestar en estudiantes universitarios de Sonora, México. Se considera teóricamente que las rutinas académicas, el entorno alimentario universitario y los estilos de vida urbanos contribuyen a hábitos alimentarios poco saludables en la población juvenil. Las conductas alimentarias de riesgo —como atracones, vómito autoinducido o el uso de diuréticos— surgen de alteraciones en la conducta alimentaria influidas por factores biológicos, psicológicos y socio-culturales. La percepción corporal se construye socialmente y afecta directamente la autovaloración del bienestar, entendido como la evaluación personal de la vida, basada en las emociones y los juicios cognitivos. El estudio fue transversal, no experimental, y se llevó a cabo mediante una encuesta

* Doctora en Ciencias y Humanidades para el Desarrollo Interdisciplinario. Profesora-investigadora asociada en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3402-0969>; correspondencia: dominguez@ciad.mx

** Doctora en Ciencias y Humanidades para el Desarrollo Interdisciplinario. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9188-9938>

*** Doctora en Ciencias y Humanidades para el Desarrollo Interdisciplinario. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9233-1197>

**** Maestra en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3625-1437>

aplicada a 998 estudiantes de 8 universidades públicas y privadas en Sonora. Se aplicaron instrumentos para evaluar las conductas alimentarias de riesgo, el índice de felicidad de Peimbert y la autopercepción del peso corporal. Los resultados indican que el 50% de los estudiantes presentan un nivel medio de riesgo en conductas alimentarias; el 15% de hombres y 17.3% de mujeres se sitúan en un nivel alto. Las y los estudiantes ubicados en un nivel de riesgo bajo en conductas alimentarias obtienen valores de media más altos en las distintas dimensiones del bienestar. Conforme se avanza en los niveles de riesgo de conductas alimentarias, estos puntajes de bienestar tienden a decrementar, siendo estas diferencias estadísticamente significativas entre distintos grupos. Los puntajes más bajos en los índices de bienestar fueron reportados por las y los estudiantes que se ubicaron en los extremos de una autopercepción corporal de muy gordos(as) o muy delgados(as). Se concluye que los estudiantes con conductas alimentarias de riesgo y percepciones corporales alejadas de los estándares sociales experimentan menores niveles de bienestar. Es urgente implementar programas de educación nutricional y cuestionar los estereotipos estéticos ligados al peso para fomentar decisiones alimentarias saludables y promover una salud integral.

Palabras clave: *conductas alimentarias de riesgo, bienestar, estudiantes universitarios.*

Introducción

El ingreso a la universidad marca el comienzo de la educación superior para los jóvenes, lo cual les permite adentrarse en la formación profesional y acceder al mundo laboral. Esta fase conlleva cambios significativos en el estilo de vida, como la creación de nuevas relaciones sociales, la independencia familiar, la inmersión en diversos entornos académicos y la capacidad de subsistir de manera autosuficiente (Chacón et al., 2020). Sin embargo, la universidad puede representar desafíos que afectan negativamente la percepción de bienestar de los y las estudiantes, influyendo también de manera adversa en su estado de salud (Chacón et al., 2020; Reyes, Muñoz y Alcázar, 2020).

Se ha observado que el entorno universitario promueve hábitos alimentarios inadecuados, que favorecen el consumo de alimentos económicos, muy calóricos, ricos en grasas saturadas y con poco valor nutricional, aumentando así el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles (Abril et al., 2019; Hun et al., 2019). Algunos estudios han documentado que ciertos factores psicológicos, tales como niveles más altos de bienestar psicológico y el apoyo familiar, pueden estar relacionados con una dieta más saludable, lo cual podría disminuir la presencia de conductas alimentarias de riesgo (CAR) (Chacón et al., 2020; Palmeros et al., 2022).

Las conductas alimentarias de riesgo (CAR) son manifestaciones similares en forma, pero tienen una menor frecuencia e intensidad que los trastornos de la conducta alimentaria. Se caracterizan por la ingesta o la restricción de alimentos, la preocupación por el peso, por la imagen corporal, entre otros (Negrete et al., 2019; Benítez et al., 2019). Los factores socioculturales inciden en la percepción corporal y estigmatizan a quienes padecen de sobrepeso y obesidad, a su vez, promueven ideales de delgadez en las mujeres y de musculatura en los varones, lo que podría exacerbar las CAR (López, 2012).

En México, se estima que un 25% de la población joven padece un trastorno de alimentación en diferentes grados, la mayoría asociados con algún problema de salud mental. La incidencia estimada es de 1.5 a 3% para la población en general (Secretaría de Salud, 2023). Sonora es uno de los estados con mayor prevalencia de CAR, la tasa total de casos de anorexia y bulimia fue de 2.05 en 2020 y de 4.7 en 2022, con un incremento de 2.2 (INEGI, 2023). En el país, las CAR han incrementado, especialmente a partir de la pandemia por COVID-19, convirtiéndose en un problema de salud pública.

Las universidades no siempre fomentan la salud mediante la promoción de patrones de alimentación saludables; de hecho, se han identificado como entornos en los que predominan dietas de baja calidad (Cervantes et al., 2019; Hun et al., 2019; Abril et al., 2019). En este contexto, la vida universitaria se asocia frecuentemente con patrones alimentarios poco saludables, horarios irregulares y el aumento de consumo de comidas fuera de casa (Abril et al., 2019; Hun et al., 2019; Escandón et al., 2021).

Se ha comprobado que indicadores de salud mental como el estrés y la depresión en contextos universitarios están estrechamente relacionados con

los patrones alimentarios, demostrando una correlación significativa entre síntomas depresivos y una dieta de baja calidad, lo cual impacta en su percepción de bienestar (Unikel et al., 2006; Hun et al., 2019).

El bienestar se entiende como “la valoración positiva o negativa que cada persona hace sobre sí misma, según las vivencias, sentimientos y emociones experimentadas en su entorno físico y emocional” (Ryff, Singer y Diener, 2004). Existen múltiples factores que pueden provocar que las personas valoren ciertas experiencias en su vida como positivas o negativas. En el caso de los y las jóvenes sonorenses, el ingreso a la universidad, la falta de recursos económicos, las responsabilidades familiares y académicas, pueden considerarse “factores estresantes” que limitan las actividades deportivas y sociales, e influyen en que perciban negativamente su bienestar (Abril et al., 2022).

La investigación actual se enfoca principalmente en la relación de bienestar, la calidad de la dieta y el índice de alimentación saludable en poblaciones de educación media superior (Bautista et al., 2020; Villalobos et al., 2022). Sin embargo, el estudio de las CAR relacionadas con el bienestar es poco estudiado en la población universitaria. Aunque pueda parecer evidente que existe una relación entre las CAR y el bienestar, es importante destacar que actualmente no existe un marco teórico ni empírico suficiente para determinar si las CAR influyen en la percepción de bienestar, si la relación es de causa y efecto inverso, o si es bidireccional.

El estudio de las CAR es relevante, no solo porque favorecen la aparición de enfermedades crónicas degenerativas en la edad adulta, sino también por cómo estas afectan la percepción del bienestar de la población universitaria. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la relación entre las conductas alimentarias de riesgo, la percepción corporal y los índices de bienestar en estudiantes universitarios de Sonora, México.

Métodos

Diseño del estudio

La investigación fue de tipo transversal no experimental, con técnica de encuesta.

Participantes y muestreo

La muestra estuvo conformada por 998 estudiantes universitarios de ambos sexos y de diversas áreas del conocimiento. Se seleccionaron estudiantes de 8 universidades, públicas y privadas, ubicadas en las regiones norte, sierra, sur y centro del estado de Sonora. El muestreo fue no probabilístico e intencional, con base en la teoría del límite central (Gristead, Snell y Laurie, 1997), la cual determina que un grupo o región de estudio puede ser representado a partir de 200 casos. La regionalización se hizo de acuerdo con la clasificación del Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de Sonora (PIEEG, 2019): frontera (33.3%), centro (19.7%), sierra (25.3%) y sur (21.65%).

Área de estudio

El estado de Sonora, México, ocupa el cuarto lugar a nivel nacional en problemas de sobrepeso y obesidad, pues 7 de cada 10 habitantes la padecen. La salud, como estado de bienestar, abarca determinantes ambientales, biológicos, conductuales, sociales, económicos, laborales y culturales. El peso demográfico de la juventud representa un tema de interés, donde los universitarios constituyen un grupo de riesgo vulnerable no solo nutricionalmente sino también en relación con los estados de ansiedad y depresión ocasionados por las exigencias psicológicas, sociales y académicas. La combinación de diversos factores de su entorno, tales como las escasas oportunidades de trabajo, la violencia social, la gestión de su tiempo, la motivación y las preocupaciones sociales, pueden afectar su salud mental y favorecer la presencia de conductas alimentarias de riesgo.

Instrumentos de recolección de información

El Índice de Felicidad de Pemberton (PHI) (Hervás y Vázquez, 2013) evalúa el bienestar recordado (11 afirmaciones relacionadas con el bienestar psicológico, subjetivo, general y social). Se trata de afirmaciones como “estoy muy

satisfecho con mi vida”, “me siento muy unido a personas que me rodean”, “siento que vivo en una sociedad que me permite desarrollarme plenamente”. El bienestar experimentado (10 ítems sobre las experiencias positivas y negativas ocurridas el día anterior), como ejemplo: “hice algo que realmente disfruto hacer”, “Me sentí menospreciado por alguien”. La escala va de 0 “en total desacuerdo” hasta 10 “totalmente de acuerdo”. Se obtiene el valor del índice a partir de tres pasos: (1) el promedio de las variables que integran el “bienestar recordado”, (2) el promedio de las variables que forman el “bienestar experimentado”, y (3) la suma de estos promedios. La interpretación de los valores resultantes es la siguiente: muy bajo, de 0 a 3.70; bajo, de 3.71 a 5.90; medio, de 5.91 a 7.90; alto, de 7.91 a 9.20; y muy alto, de 9.21 a 10.

Cuestionario sobre conductas alimentarias de riesgo: se presentan 11 preguntas basadas en los criterios diagnósticos del DSM-IV (Manual Diagnóstico Estadístico de Trastornos Mentales) sobre la preocupación por engordar, práctica de atracones, sensación de comer sin control y conductas alimentarias de tipo restrictivo y purgativo de Unikel, Villatoro y Medina et al. (2000), con 3 opciones de respuesta: no, algunas veces y, dos o más veces en una semana. Para evaluar la presencia de conductas alimentarias se conformaron tres grupos de acuerdo con el puntaje obtenido en la escala. Autorreporte de peso y la talla: se solicitó el peso y la talla por medio de un autorreporte como indicador válido a partir de los trabajos de (Unikel et al., 2009 y Díaz et al., 2019).

Consideraciones éticas

El cuestionario se aplicó con autorización previa de las autoridades de las universidades participantes. Todos los encuestados participaron de manera voluntaria y fueron debidamente informados acerca del objetivo y las características del estudio. Las y los participantes firmaron una carta de consentimiento informado en la cual se aseguraba la confidencialidad y el anonimato de la información generada. Asimismo, se eliminó cualquier elemento que pudiera dar cuenta de la identidad de los y las participantes.

Análisis de la información

Los datos fueron procesados en una base de datos y analizados con el software estadístico SPSS 18. Se utilizaron frecuencias, porcentajes y la comparación de medias con la prueba ANOVA para contrastar los grupos y estimar diferencias estadísticamente significativas.

Resultados

En relación con las características sociodemográficas, 48.5% fueron hombres y 51.5% mujeres. La media de edad fue de 20 años, 92% reportó ser soltera(o), 48.2% señaló vivir en una familia nuclear y 36.5% indicó trabajar a la par de estudiar, así como tener un ingreso familiar mensual promedio de \$10 332.02. En cuanto a la distribución por semestre, 24.4% cursaban el primero y el segundo, 47.5% el tercero y el cuarto y 30.1% el quinto semestre o más. En relación con los indicadores que evalúan las conductas alimentarias de riesgo, el análisis por sexo destaca que las mujeres reportan, en mayor proporción, una preocupación por engordar y la práctica de ayunos para tratar de bajar de peso. En contraste, los hombres señalaron en mayor medida ingerir productos para fortalecer los músculos (Tabla 5.1).

Respecto a la prevalencia de las conductas alimentarias de riesgo, la mitad de los participantes, hombres (50.1%) y mujeres (51.8%), se ubican en un nivel medio de riesgo. El 34.9% de los hombres y 30.8% de las mujeres aparecen en un nivel de estos síntomas. Es importante destacar que 15% y 17.3%, respectivamente, se encuentran en un nivel de riesgo alto.

Al contrastar los indicadores sociodemográficos con los niveles de riesgo *bajo* y *alto* de CAR, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estudiantes que trabajan y los que no ($X^2 = 4.047$, $p = .028$). También en el ingreso familiar mensual menor o mayor a \$15,000.00 ($X^2 = 9.949$, $p = .002$). No se encontraron diferencias por grupos de edad 17-20 vs. 21-29 ($X^2 = 522$, $p = .268$), así como por vivir o no en una familia nuclear ($X^2 = .326$, $p = .318$), cursar primeros vs. últimos semestres ($X^2 = .715$, $p = .314$) y un promedio de calificación menor o mayor a 85 en el último semestre cursado ($X^2 = .050$, $p = .460$).

Tabla 5.1. Conductas alimentarias de riesgo por sexo

<i>Indicadores</i>	<i>Hombres (%)</i>			<i>Mujeres (%)</i>			<i>X²</i>	<i>p</i>
	<i>No</i>	<i>Algunas veces</i>	<i>2 o más veces por semana</i>	<i>No</i>	<i>Algunas veces</i>	<i>2 o más veces por semana</i>		
Me ha preocupado engordar	40.2	43.7	16.1	22.4	42.4	35.2	58.927	.000*
He comido grandes cantidades sin poder detenerme	43.6	43.8	12.6	45.8	35.3	18.9	11.105	.004*
<i>Para tratar de bajar de peso:</i>								
He vomitado después de comer	91.7	7.1	1.2	89.1	8.2	2.7	3.302	.192
He hecho ayunos	82.2	13.4	4.3	74.8	20.5	4.7	9.214	.010*
He hecho dietas	66.4	25.3	8.3	53.9	32.0	14.1	17.670	.000*
He hecho ejercicio en exceso	70.4	23.2	6.4	70.9	21.7	7.4	.622	.733
He usado pastillas	87.8	9.1	3.1	85.6	10.1	4.3	1.325	.516
He tomado diuréticos	89.3	9.1	1.7	88.3	8.4	3.3	2.899	.235
He tomado laxantes	88.6	8.5	2.9	85.6	10.3	4.1	2.171	.000*
He usado enemas	91.7	6.4	1.9	95.3	2.7	1.9	7.886	.019*
He ingerido productos para fortalecer los músculos	68.6	22.5	8.9	83.6	12.3	4.1	31.412	.000*

n = 998 *p ≤ .05 Diferencias estadísticamente significativas.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la percepción del bienestar, el análisis por sexo muestra que 87% de los varones y 79% de las mujeres se ubicaron en un nivel de “medio” a “muy alto”. En un nivel de “bajo” a “muy bajo” se ubicaron el 13% y 21% de hombres y mujeres, respectivamente, lo cual constituyen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

El análisis que relaciona los niveles de bienestar con la presencia de conductas alimentarias de riesgo evidencia que las y los estudiantes ubicados en un nivel de riesgo bajo en conductas alimentarias obtienen valores de media más altos en las distintas dimensiones del bienestar (Tabla 5.2). Los datos muestran que, al aumentar los niveles de riesgo, los puntajes de bienestar tienden a decrecer en la población participante. Lo anterior evidencia que, quienes manifiestan signos de trastornos de conducta alimentaria, transitan estos procesos con sentimientos de infelicidad. Las diferencias que relacionan estas variables resultaron estadísticamente significativas en todas las dimensiones de estudio ($p \leq .05$).

Con relación a la percepción de los y las estudiantes sobre su peso y su imagen corporal, una tercera parte de ellos(as) se percibe como muy

Tabla 5.2. *Índice de felicidad en estudiantes universitarios por niveles de riesgo de conductas alimentarias*

Dimensión	Nivel de riesgo alimentario			F	P
	Bajo	Medio	Alto		
Bienestar recordado	7.91	7.58	7.32	6.941	.001*
Bienestar psicológico	8.47	8.13	7.96	4.051	.008*
Bienestar subjetivo	6.69	6.35	5.83	9.063	.000*
Bienestar general	8.11	7.78	7.51	4.721	.009*
Bienestar social	6.80	6.41	6.07	3.818	.002*
Índice de felicidad	7.82	7.50	7.23	7.199	.001*

*p ≤.05 Diferencias estadísticamente significativas.

Fuente: elaboración propia.

gorda(o) o gorda(o). El 40.7% de los hombres y 44.6% de las mujeres se clasificaron en un peso normal; 22.6% y 25.4%, respectivamente, se consideran delgados(as) y, en menor porcentaje, se perciben como muy delgados(as). Es importante considerar que las percepciones de los y las jóvenes suelen estar influenciadas por las representaciones corporales producto de los medios de comunicación y las redes sociales (Requena, Requena y Reyes, 2019; Pérez y Montaña, 2020).

La Tabla 5.3 presenta que, quienes obtienen los puntajes más altos en las dimensiones de bienestar, son quienes se perciben con peso *normal* (ni gordos, ni delgados). Los puntajes más bajos de bienestar son reportados por los y las estudiantes que se ubican en los extremos de imagen corporal *muy gordos(as)* o *muy delgados(as)*. Es importante destacar que, de los

Tabla 5.3. *Índice de felicidad en estudiantes universitarios en relación con la autopercepción del peso corporal*

Dimensión	Autopercepción del peso corporal					F	p
	Muy gorda/o	Gorda/o	Ni gorda/o ni delgada/o	Delgada/o	Muy delgada/o		
Bienestar recordado	6.30	7.26	7.90	7.86	6.89	15.420	.000*
Bienestar psicológico	6.80	7.83	8.46	8.46	7.50	13.717	.000*
Bienestar subjetivo	5.25	5.90	6.66	6.58	5.70	9.634	.000*
Bienestargeneral	6.27	7.45	8.13	8.10	6.71	14.721	.000*
Bienestar social	5.48	6.23	6.67	6.57	6.02	2.541	.030*
Índice de felicidad	6.28	7.17	7.82	7.77	6.81	15.536	.000*

*p ≤.05 Diferencias estadísticamente significativas.

Fuente: elaboración propia.

extremos, quienes se consideran *muy gordos(as)* son los que presentaron los puntajes más bajos en los distintos tipos de bienestar. Las diferencias entre los distintos grupos fueron estadísticamente significativas ($p \leq .05$).

Discusión

Examinar la relación de las CAR con la percepción de bienestar en la población sonorense universitaria fue un desafío, dado el vacío de estudios teóricos y empíricos en la literatura. Los estudios empíricos que abordan el bienestar psicológico y la alimentación se centran particularmente en grupos de menor edad.

En este estudio, los hallazgos señalan que las conductas alimentarias de riesgo manifestadas por los hombres y las mujeres participantes presentan diferencias por sexo. En el caso de ellas, se manifestó en mayor proporción la preocupación por engordar y la práctica de ayunos. En tanto que los hombres recurren al uso de enemas y al consumo de productos para fortalecer los músculos. Los riesgos para ambos son diferenciados, lo cual podría estar relacionado con las normas de género socialmente determinadas (Velasco, 2009). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Meléndez et al. (2018) en un estudio realizado con mujeres sonorenses en el cual señala que las prácticas alimentarias que realizan están ligadas a la disminución del peso corporal, a hacer cambios en los modos de comer y en el tipo de alimento que se consume, con la finalidad de alcanzar el ideal corporal demandado socialmente. Datos similares reportan Escolar et al. (2017), que refieren que las mujeres suelen presentar una mayor obsesión por la delgadez y recurren a la restricción de alimentos, mientras que los varones recurren en mayor medida al ejercicio físico como forma de control del peso.

Por otro lado, entre las variables sociodemográficas que pudieran favorecer la presencia de las CAR en el grupo de los participantes destacan, principalmente, el que la/el estudiante trabaje, así como el ingreso recibido. Silva et al. (2019) refieren que la transición a la universidad es una experiencia estresante que conlleva enfrentar situaciones que no necesariamente tienen que ver con su responsabilidad académica. También, en ocasiones respon-

den a condiciones personales y laborales. Estas circunstancias aumentan la probabilidad de que los y las estudiantes experimenten niveles elevados de estrés, manifestándose en diversas formas como nerviosismo, tensión, cansancio y, en algunas ocasiones, favorecen la presencia de CAR.

Los resultados muestran que hombres y mujeres perciben un nivel de bienestar medio. Sin embargo, en proporción, los hombres tienen porcentajes ligeramente mayores a los de las mujeres. El dato concuerda con lo reportado en otros estudios que refieren que son ellos quienes suelen reportar mayores niveles de bienestar subjetivo (Abril et al., 2022; Pérez et al., 2015). Desde una perspectiva de género, esta diferencia puede interpretarse a partir de las ventajas estructurales asociadas a las normas y expectativas tradicionales de la masculinidad. Dichas normas tienden a otorgar a los hombres un mayor acceso a reconocimiento social, autonomía y legitimidad en distintos ámbitos de la vida cotidiana, lo que se refleja en una percepción más favorable de su bienestar. En contraste, las mujeres continúan enfrentando cargas desproporcionadas de trabajo doméstico y de cuidados del hogar, la familia y la salud, así como mayores restricciones sociales, lo que puede impactar negativamente en su percepción del bienestar.

Con relación al nivel de riesgo alimentario y el bienestar percibido, quienes presentaron un nivel bajo fueron las y los participantes que reportaron mayores niveles de bienestar percibido. Lo anterior podría indicar que, probablemente, eligen mejor su alimentación. Los datos presentados concuerdan con el estudio realizado con estudiantes universitarios de Arbués et al. (2019), el cual refiere que la alimentación no saludable se relaciona de forma significativa con la presencia de depresión, ansiedad y estrés, factores relacionados al bienestar psicológico.

Es importante destacar que fue mayor la proporción de mujeres que se percibieron como “gordas” en comparación con los varones. Este dato puede estar relacionado con la construcción de los roles de género que influyen en la percepción de la imagen corporal. En el caso de las mujeres, existe una presión social que enfatiza la importancia de la apariencia física y, particularmente, del ideal de una figura delgada. En este contexto, prácticas como “comer poco” suelen asociarse culturalmente con expectativas de feminidad y autocontrol corporal, más que con atributos inherentes a las mujeres (Behar, 2010; Meléndez et al., 2018). Estas normas pueden contribuir a una

mayor autoexigencia y a una percepción más crítica del propio cuerpo entre las mujeres.

Por otro lado, los y las estudiantes que se percibieron con un peso “normal” fueron quienes se clasificaron con mayor bienestar y felicidad. Lo anterior puede estar relacionado con un mayor equilibrio entre sus afectos y emociones, es decir, un predominio de los afectos positivos sobre los negativos, un autoconcepto positivo, lo cual se verá expresado en su percepción de bienestar y felicidad, condición que puede favorecer las formas en las que se alimentan y cuidan su salud (Cantera et al., 2019; Vázquez et al., 2009; Zubieta y Delfino, 2010).

Conclusión

En conclusión, las y los estudiantes que manifestaron conductas de riesgo alimentario y una percepción corporal alejada de los estándares sociales experimentan sentimientos de infelicidad y bajos índices de bienestar. Es necesario fomentar programas de educación nutricional y promover la deconstrucción de estereotipos estéticos asociados al peso corporal con el fin de favorecer que las y los estudiantes tomen decisiones más saludables y orientadas a su bienestar integral.

Finalmente, en cuanto a las limitaciones de este trabajo, es importante señalar que los estudios con grandes poblaciones, como el realizado en este caso, por su naturaleza no permiten explorar a fondo las subjetividades inherentes a la problemática. Por lo tanto, se sugiere considerar un diseño mixto para abordar este aspecto de manera más completa. Además, para futuras investigaciones, sería recomendable realizar un análisis con perspectiva de género y examinar las posibles variaciones regionales que podrían influir en los resultados.

Referencias

- Abril Valdez, E., Cubillas Rodríguez, M. J. y Domínguez Ibáñez, S. E. (2019). Identidad de género y la salud de los jóvenes universitarios. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. LIBERMEX: México.
- Abril, E., Cubillas, M., Domínguez, S., Román, R. y Córdova, M. (2022). Rol de género y percepción de bienestar y felicidad en universitarios del noroeste de México. *Nova Scientia*, 14(28), 1-18. doi.org/10.21640/ns.v14i28.2983
- Arbués, R., Martínez, B., Granada, J., Echániz, E., Pellicer, B., Juárez, R., Guerrero, S., y Sáez, M. (2019). Conducta alimentaria y su relación con el estrés, la ansiedad, la depresión y el insomnio en estudiantes universitarios. *Nutr Hosp.* 36(6):1339-1345. <http://dx.doi.org/10.20960/nh.02641>
- Bautista-Díaz, M. L., A. I. Castelán-Olivares, A. Martín-Tovar, K. Franco-Paredes y J. M. Mancilla-Díaz. (2020). Conductas alimentarias de riesgo, percepción de prácticas parentales y conducta asertiva en estudiantes de preparatoria. *Interacciones*, 6(3), e162. <https://dx.doi.org/10.24016/2020.v6n3.162>
- Behar, R. (2010). La construcción cultural del cuerpo: El paradigma de los trastornos de la conducta alimentaria. *Revista chilena de neuro-psiquiatría*, 48(4), 319-334. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92272010000500007>
- Benítez, A. M., Sánchez, S., Bermejo, M. L., Franco, L., García-Herráiz, M. A., y Cubero, J. (2019). Análisis del riesgo de sufrir trastornos alimentarios en jóvenes universitarios de Extremadura (España). *Enfermería Global*, 18(54), 124-143. Epub 14 de octubre de 2019. <https://dx.doi.org/10.6018/eglobal.18.2.313421>
- Cantera, L., Miles, D., y Rossi, M. (2019). Imagen Cabo y Felicidad. *Revista Científica Europea, ESJ*, 15 (10), 62. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n10p62>
- Chacón, R., A. Martínez, P. Puertas, V. Viciano, G. González & F. Zurita. (2020). Bienestar social en la etapa universitaria según factores sociodemográficos en estudiantes de educación. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 22(03), 1-9. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e03.2184>
- Díaz, M., Bilbao y Morcelle, G., Unikel, C., Muñoz, A., Escalante, E., y Parra, A. (2019). Relación entre estatus nutricional, insatisfacción corporal y conductas alimentarias de riesgo en estudiantes de nutrición. *Revista mexicana de trastornos alimentarios*, 10(1), 53-65. <https://doi.org/10.22201/fesi.20071523e.2019.1.490>
- Escandón-Nagel, N., J. Apablaza-Salazar, M. Novoa-Seguel, B. Osorio-Troncoso y A. Barrera-Herrera. (2021). Factores predictores asociados a conductas alimentarias de riesgo en universitarios chilenos. *Nutrición Clínica Y Dietética Hospitalaria*, 41(2). <https://doi.org/10.12873/412barrera>
- Escolar M., M. Martínez, M. González, M. Medina, E. Mercado y F. Lara. (2017). Factores de riesgo de trastornos de la conducta alimentaria entre universitarios: Estimación de vulnerabilidad por sexo y edad. *Revista mexicana de trastornos alimentarios*, vol. 8, núm. 2, <https://www.redalyc.org/journal/4257/425752776003/html/>

- Grinstead, M. y J. L. Snell. (1997). *Grinstead, and Snell Introduction to Probability*. AMS, 325-360. <https://math.dartmouth.edu/~prob/prob/prob.pdf>
- Hervás, G. y Vázquez, C. (2013). Construction and validation of a measure of integrative wellbeing in seven languages: the Pemberton Happiness Index. *Health and Quality of Life Outcomes*, 11, 66. <http://doi.org/10.1186/1477-7525-11-66>
- Hun N., A. Urzúa, A. López-Espinoza, N. Escobar y J. Leiva. (2019). Comportamiento alimentario y bienestar psicológico en población universitaria en el norte de Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 69(4), 202-208. <https://doi.org/10.37527/2019.69.4.001>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Salud_Mental_05_77105509-86ee-444e-baf0-be6e6fe384da
- López Chima, T. M.C. (2012). Conductas alimentarias de riesgo y la insatisfacción de la imagen corporal en adolescentes de la zona de influencia de la UMF66. *IMSS. Unidad de Medicina Familiar No. 66*. Xalapa Veracruz. 1-57.
- Meléndez, J. M., I. M. Moreno, G. M. Cañez y G. Núñez. (2018). Prácticas corporales y alimentarias de mujeres adultas del noroeste de México. Una aproximación al cuidado corporal femenino. *Géneros* 23(2), 169-197. http://bvirtual.ucol.mx/descargables/815_08_arti769culo_06.pdf
- Negrete, M., Pénelo, E., Espinoza, P. y Raich, M. (2019). Relación entre trastornos de conducta alimentaria, sobrepeso y obesidad en adolescentes. *CNEIP. Enseñanza e Investigación en Psicología*. Año 1, 1(1), enero-abril, Universidad Autónoma de Nayarit. México.
- Palmeros-Exsome, C., G. González-Chávez, R. León-Díaz, Y. P. Carmona-Figueroa, Y. Campos-Uscanga, A. Barranca-Enríquez & T. Romo-González. (2022). Conductas alimentarias de riesgo y satisfacción corporal en estudiantes universitarios mexicanos: Conductas alimentarias de riesgo en estudiantes mexicanos. *Revista Española De Nutrición Humana y Dietética*, 26(2), 95-103. <https://doi.org/10.14306/renhyd.26.2.1484>
- Pérez P, y Montano L. (2020). Estudio del riesgo de presentar trastornos alimentarios en un grupo de estudiantes de licenciatura y posgrado de instituciones mexicanas. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. IX (23), 54-68. <http://dx.doi.org/10.31644/IMASD.23.2020.a04>
- PIEGG. (2019). Plataforma de Información para la Evaluación de la Estrategia de Gobierno https://estrategia.sonora.gob.mx/index.php?option=com_sppagebuilder&view=page&id=23
- Requena-Torres, S., Requena-Torres, D. y Reyes-Hernández, M. (2019). Influencia de los medios de comunicación en la imagen corporal. Universidad de Granada. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8317373>
- Reyes, V., D. Muñoz y R. Alcázar. (2020). Emociones y estrategias de afrontamiento cuando los estudiantes universitarios aprueban. *Nova Scientia*, 12(25), 1-21. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2344>
- Ryff, C. D., Singer, B., y Diengberg, G. (2004). Positive health: connecting well-being

- with biology. *The Philosophical Transactions of the Royal Society*, 359, 1383-1394. 10.1098/rstb.2004.1521. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1521> Acceso abierto: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1693417/>
- Secretaría de Salud. (2023). Trastornos de la conducta alimentaria afectan a 25% de adolescentes. 7 de enero. <https://www.gob.mx/salud/prensa/004-trastornos-de-la-conducta-alimentaria-afectan-a-25-de-adolescentes#:~:text=Los%20m%C3%A1s%20comunes%20son%20bulimia%2C%20anorexia%20y%20los%20atracones&text=Se%20estima%20que%2C%20en%20M%C3%A9xico,Hospital%20Psiqui%C3%A1trico%20Infantil%20E2%80%9CJuan%20N.>
- Unikel, C., Villatoro, J., Medina-Mora M., Alcántar, E., Fleiz, C. y Hernández S. (2000). Conductas alimentarias de riesgo en adolescentes. Datos en población estudiantil del Distrito Federal. *Rev Invest Clin*, 52:140-147.
- Unikel, C. Bojórquez-Chapela, L., Villatoro, J., Fleiz, C. y Medina-Mora, M. E. (2006). Conductas alimentarias de riesgo en población estudiantil del Distrito Federal: tendencias 1997-2003. *Revista de Investigación Clínica*. Vol. 58(1):15-25 enero-febrero. www.imbiomed.com.mx
- Unikel-Santoncini, C., Ocampo-Ortega, R. y Zambrano-Ruiz, J. (2009). Exactitud del autorreporte de peso y talla en mujeres de 15 a 19 años del Estado de México. *Salud Pública de México*, 51(3), 194-201. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342009000300009&lng=es&tlng=es.
- Vázquez, C., Hervás, G., Rahona, J. y Gómez D. (2009). Bienestar psicológico y salud: Aportaciones desde la Psicología Positiva. *Anuario de Psicología Clínica y de la Salud / Annuary of Clinical and Health Psychology*, 5, 15-28.
- Velasco, S. (2009) Sexo, género y salud: teoría y métodos para la práctica clínica y programas de salud. Madrid España: Minerva Ediciones.
- Villalobos-Hernández A., I. Bojórquez-Chapela, M. I. Hernández-Serrato y C., Unikel-Santoncini. (2022). Prevalencia de conductas alimentarias de riesgo en adolescentes mexicanos: Ensanut Continua 2022. *Salud Publica Mex.*; 65 (sup 1): S96-S101. <https://doi.org/10.21149/14800>
- Zubieta, E. y Delfino, G. (2010). Satisfacción con la vida, bienestar psicológico y bienestar social en estudiantes universitarios de Buenos Aires. *Anuario de Investigaciones*, 17, 277-283. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=369139946018>

Tema 2

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD

6. El valor de la biodiversidad en las actividades productivas en el estado de Sonora



JAQUELINE GARCÍA HERNÁNDEZ*

JUAN PABLO GALLO-REYNOSO**

ARTURO RAMÍREZ-VALDEZ***

ALFONSO GARDEA-BÉJAR****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.06>

Resumen

El estado de Sonora, a pesar de ser una región árida, presenta una gran diversidad de hábitats, como planicies, deltas de ríos, zonas de transición y una franja templada, con especies vegetales, como bosques de pino y encino, bosque mesófilo de montaña, bosques de galería, matorral espinoso y bosque tropical subcaducifolio. Gracias a esta riqueza biológica se han sostenido actividades productivas primarias de gran importancia para el estado, como la agricultura, la pesca, la ganadería y las actividades cinegéticas. Sin embargo, rara vez se menciona la biodiversidad como pieza clave para que estas actividades se puedan seguir realizando, por lo que en este capítulo exploramos estas relaciones. En el caso de la agricultura, se pudo observar que un cultivo variado provee un mejor hábitat para las aves que, a su vez, tienen funciones ecosistémicas. En las pesquerías, hay un mayor número de especies comerciales en zonas donde hay esteros, pastos marinos y arrecifes rocosos. La ganadería diversificada que incluye actividades cinegéticas es una

* Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5251-0526> correspondencia: jaqueline@ciad.mx

** Doctor en Biología. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-6037>

*** Doctor en Biología Marina Scripps Institution of Oceanography, US. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1200-7643>

**** Doctor en Ciencias. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6842-2678>

herramienta exitosa de conservación. Además de ser un buen negocio, la captura de agua de lluvia en agostaderos aumenta la vegetación y, por lo tanto, la cantidad de ganado que se puede mantener. Sin embargo, aún existen muchos retos para poder mantener las condiciones biológicas funcionales, como son las especies exóticas, la sobrepesca, la cacería furtiva, los aspectos económicos y, por supuesto, el cambio climático, los cuales se necesitan enfrentar en conjunto con las comunidades afectadas.

Palabras clave: *cambio climático, sobrepesca, aves, ganadería, cacería.*

Introducción

La biodiversidad se puede entender como la variedad de formas de vida, sin embargo, es un concepto complejo donde interactúan diferentes niveles de organización (e.g. diversidad genética, especies, ecosistemas y paisajes). De acuerdo con Noss (1990), este concepto se puede abordar como una estructura jerárquica basada en las diferencias entre la “composición”, la “estructura” y la “función” aplicadas a diferentes escalas.

Por ejemplo, la “composición” de la biodiversidad se refiere a un inventario de características, como la producción de biomasa, la abundancia de especies, la presencia de especies en peligro o las proporciones de los hábitats. La “estructura” es la organización de los componentes de la biodiversidad y su relación entre ellos; estos componentes toman en cuenta datos estructurales sobre la población (sexo, proporción, variabilidad morfológica, etc.), el hábitat (zonas ribereñas, densidad de follaje, etc.) y el paisaje (conectividad, fragmentación, tamaño de parche, etc.). El tercer nivel, la “función”, engloba el total de los procesos ecológicos, como los procesos demográficos o la dinámica poblacional o genética (Noss, 1990).

La propuesta de la diversidad funcional (Loreau, 2000) es otro acercamiento operacional que puede conectar la biodiversidad a los procesos ecosistémicos. Cada grupo funcional está relacionado con un proceso ecosistémico como la descomposición de la materia orgánica o la mineralización del nitrógeno. En este caso, un proceso ecosistémico se vuelve un servicio ecosistémico desde el punto de vista del ser humano. Por ejemplo, la

producción de biomasa de un ecosistema de pastizal representa la producción de forraje para el ganado. Por lo tanto, los servicios ecosistémicos son la base de las actividades humanas (Clergue et al., 2005).

Se ha tratado de evaluar cuánto se necesita disminuir la biodiversidad para afectar un proceso ecosistémico. En el caso de producción de nutrientes en suelo, se estima que una disminución del 50% de la biodiversidad resultaría en una reducción de un 25% de los procesos ecosistémicos (Schläpfer et al., 1999). Hay una estrecha relación entre estos dos factores, sin embargo, no es una proporción de 1:1, ya que en la naturaleza existe una gran redundancia, es decir, varias especies pueden realizar las mismas funciones ecológicas, por lo que los servicios ecosistémicos se podrán seguir realizando. Sin embargo, aun cuando las funciones ecosistémicas se cumplan, un menor número de especies las estarán realizando y todo el sistema se vuelve más precario y vulnerable a fenómenos como el cambio climático o la presencia de enfermedades. Por lo que una reducción de 25% realmente puede tener un impacto mayor si se considera su vulnerabilidad.

Otra dimensión que se necesita incorporar en este análisis es el valor económico y social de la pérdida de la biodiversidad, es decir, qué tanto impactaría a las actividades económicas una disminución de un cuarto de las funciones ecosistémicas. Si hablamos de un agroecosistema, el uso de agroquímicos degrada la biodiversidad microbológica del suelo, resultando en un suelo más pobre, lo que obliga al agricultor a incrementar el uso de fertilizantes y, con ello, el costo de producción, esto comparado con un campo en donde se utilizan biofertilizantes que aumentan la biodiversidad del suelo al incrementar la fijación de nitrógeno, generando suelos más ricos y productivos (Clergue et al., 2005).

En relación con la biodiversidad biológica, México es reconocido por ser un país megadiverso; somos la cuarta nación en cuanto a riqueza de especies, además de combinar esta riqueza con la gran riqueza cultural de los pueblos originarios, la cual depende de su entorno natural y de los bienes y servicios que reciben del mismo. Una característica única de nuestro país es que concurren dos grandes zonas biogeográficas: la Neártica y la Neotropical, además, se cuenta con casi todos los climas del planeta. Hay una topografía accidentada y una geología compleja, lo que permite que se desarrollen

todos los ecosistemas terrestres planetarios, concentrados en menos de dos millones de kilómetros cuadrados (CONABIO, 2024a).

México también posee una extraordinaria biodiversidad marina y un mar exclusivo, el Golfo de California. En lo que se refiere a mamíferos, se tienen 564 especies, de reptiles hay 908 especies, de aves cuenta con 1 150 especies, de peces marinos tiene 2 224, más de 66 275 especies de insectos, y 25 000 plantas vasculares descritas. Además, entre el 50 y el 60% de las especies conocidas de México son endémicas, según reporta la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2024a). Particularmente, Sonora se considera como una región mega diversa por su gran variabilidad de hábitats y zona costera que, en total, resulta en aproximadamente 6 498 especies nativas, incluyendo hongos, plantas, moluscos, artrópodos, insectos, vertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Molina y van Devender, 2010, p. 440).

En el presente capítulo, exploramos el valor de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en diferentes regiones del estado de Sonora, donde se llevan a cabo actividades productivas como la agricultura, pesca, ganadería y actividades cinegéticas.

Metodología

Para la sección de agricultura y aves, en 2021 y 2022 realizamos monitoreos de aves en el Valle del Yaqui (Moreno, 2023). El método utilizado fue el conteo por puntos (Ralph et al., 1996). Para evaluar las preferencias de las aves por los distintos paisajes del valle del Yaqui, realizamos un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y un análisis post hoc de Tukey-Kramer HSD con un alfa de 0.05.

También presentamos resultados de muestreos de aves realizados con redes de niebla colocadas en la zona agrícola durante la temporada de aplicación de plaguicidas y en temporada sin aplicación. A las aves colectadas se les extrajeron muestras de sangre y se liberaron en sitio, las muestras se analizaron para biomarcadores de exposición de plaguicidas que fueron la inhibición de acetilcolinesterasa, la presencia de micronúcleos y anomalías nucleares (Gil, 2024).

Para identificar si existe una relación entre una mayor diversidad de especies marinas y un mayor bienestar de las comunidades costeras, se usaron bases de datos de la diversidad de especies presentes en la región (GBIF, 2024). Se utilizaron las bases de datos de la Oficina de Información Agropecuaria, Pesquera y Acuícola del Estado de Sonora (OIAPES) (GES, 2024), que incluyen volúmenes de capturas pesqueras y el valor económico asociado a cada una de ellas, para identificar las zonas pesqueras más productivas a nivel de oficina de arribos. Se utilizaron bases de datos de información cartográfica de la CONABIO (2024b) para identificar las zonas de alta diversidad de especies marinas costeras, y asociarlas con la producción pesquera en la región por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta aproximación, si bien no exhaustiva, permite establecer la relación entre las zonas de mayor diversidad de especies y una elevada producción pesquera con una mayor economía asociada a estas actividades.

En las secciones de ganadería y actividad cinegética, se hizo una revisión y un análisis del trabajo previo de los coautores A. Gardea Béjar y J. P. Gallo Reynoso, respectivamente.

Resultados y discusión

Marco geográfico e hidrografía

En Sonora se pueden reconocer cinco regiones naturales. Empezando por el noroeste, se ubica el desierto verdadero, después una región árida y semi-árida en las planicies centrales del estado; los deltas de los ríos principales que descargan en el Golfo de California y las zonas de transición hacia la región costera; una región tropical y subtropical paralela al piedemonte de la Sierra Madre Occidental y una franja templada en las partes altas de la sierra que limita con Chihuahua e incluye las “islas del cielo” de las montañas del noreste de Sonora (Martínez et al., 2010, p. 132.).

Las múltiples serranías de Sonora, conocidas como las “Islas del Cielo,” en conjunto con la Sierra Madre Occidental constituyen la hidrología que alimenta los acuíferos más importantes del estado; tres grandes ríos nacen en esta zona, el Bavispe-Yaqui que tienen una cuenca de captación en el 60%

del estado; el río Mayo, con su cuenca de captación en los afluentes del arroyo de Candameña en la Sierra Madre Occidental y el río Cuchujaqui, que cruza la región de Álamos al sur del estado y aporta agua no solo al sur de Sonora, sino también al río Fuerte en Sinaloa.

Otros ríos, como el Sonora, el Mátape, el Cocóspera y el San Pedro, también son importantes debido a que son áreas de gran diversidad, además de que sus aguas son utilizadas para irrigación local en las zonas pobladas que atraviesan, como en el Valle del Bavispe, que atraviesa los municipios de Huachinera, Bacerac, Bavispe y, más abajo, Villa Hidalgo, Huásabas y Granados (Figura 6.1).

El río Colorado, límite entre Sonora y Baja California, irriga amplias zonas agrícolas del valle de Mexicali-San Luis Río Colorado, así como ciudades fronterizas. Por otro lado, las aguas residuales agrícolas de Estados Unidos y México han generado y mantenido humedales sobre el cauce del Río Colorado y en áreas adyacentes, como la Ciénega de Santa Clara que es un humedal de 4,200 hectáreas de tule (*Typha domingensis*), localizado en la Reserva del Alto Golfo de California, que recibe aguas residuales agrícolas de Arizona (Glenn et al., 2001).

Otros ríos de carácter intermitente cruzan el estado, como el río Magdalena y el Altar, cuya biodiversidad es baja por encontrarse en ambientes desérticos, pero su captación permite el empleo de sus mantos freáticos para la irrigación local (Figura 6.1). Muchas comunidades dependen de estos ríos en cuanto a fuente de agua potable e irrigación de campos agrícolas. Las aguas que se captan en tierras Sonorenses promueven la biodiversidad en los ecosistemas, desde bosques de pino-encino, bosque mesófilo de montaña en la Sierra Madre Occidental en las Islas del Cielo y los bosques de galería de las zonas riparias que cruzan zonas áridas con vegetación de matorral espinoso y bosque tropical subcaducifolio en el sur del estado, limítrofe con Sinaloa.

Por otro lado, la ubicación entre los paralelos 26 y 32 N y los meridianos 105 a 108 W, con cambios en elevación que van del nivel del mar, hasta más de 2 600 msnm en la Sierra Madre Occidental (Figura 6.1), crean las condiciones más diversas posibles que permiten una asociación estrecha entre especies de flora y fauna de las zonas neártica y neotropical en el norte del continente americano.

semillas mejoradas, insecticidas, fertilizantes y el uso de las grandes obras de infraestructura de irrigación construidas previamente sobre los ríos Yaqui y Mayo (Figura 1). Antes de la expansión agrícola, la vegetación dominante era matorral xerófilo, sin embargo, posterior a 1976, esta región se transformó a una vegetación hidrófila por el desarrollo de un sistema de irrigación y zonas de cultivo (Rohwer et al., 2015).

Junto con el cambio de vegetación, también hubo un cambio en la diversidad de aves, ya que se desplazaron hacia las orillas de los valles las especies desérticas, mientras que dentro de los valles agrícolas ahora se encuentran especies de hábitat acuático y ripario que han llegado atraídas por la abundancia de alimento y de hábitat para anidación. Por ejemplo, el cuco de pico amarillo (*Coccyzus americanus*), la golondrina risquera (*Petrochelidon pyrrhonota*), el vireo de Bell (*Vireo bellii*) y el bolsero castaño (*Icterus spurius*), cuyas poblaciones han disminuido drásticamente en Estados Unidos y Canadá, mientras que ahora se han detectado anidando en zonas agrícolas del noroeste de México (Rohwer et al., 2015), por lo que hay interés en conocer la diversidad de aves en estas zonas agrícolas y las posibles amenazas que enfrentan.

Como resultados de los censos de aves, obtuvimos un registro de 137 especies correspondientes a 40 familias y 109 géneros, lo que representa un 25% de la biodiversidad del estado de Sonora. Comparando los sitios de vegetación xerófila con la zona agrícola, observamos una diferencia significativa en el número de individuos (4159 vs. 9 899), respectivamente. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en el número de especies (103 vs. 93), respectivamente. Detectamos especies en reproducción de importancia para la conservación como los mencionados previamente, además de 4 especies acuáticas en peligro: el pato mexicano (*Anas diazi*), zambullidor menor (*Tachybaptus dominicus*), picopando canelo (*Limosa fedoa*) y playero occidental (*Calidris mauri*) y otras 6 especies listadas en la NOM-059-Semarnat-2010.

En cuanto a las características paisajísticas del VY, caracterizamos 9 tipos de uso de tierra, 8 clasificaciones de vegetación de borde y 11 elementos físicos. Se detectó un mayor número de especies de aves en los tipos de uso de tierra clasificados como “trigo_cosechado_con maíz” seguido por “varios cultivos”. Por otro lado, se encontró un mayor número de individuos en

los sitios clasificados como “trigo inmaduro”. Estos análisis confirman que una variedad de cultivos atrae a un mayor número de especies de aves, al contrario de lo observado con el monocultivo del trigo, el cual atrae a pocas especies, pero con muchos individuos, resultando en grandes grupos de aves que se pueden considerar como plaga y resultan en pérdidas económicas para los agricultores.

En cuanto a la pregunta sobre las amenazas que enfrentan estas poblaciones de aves, el resultado de los estudios eco toxicológicos demuestra que las aves colectadas durante la temporada de fumigación en el VY disminuyeron alrededor de un 30% la actividad de la enzima acetilcolinesterasa, la cual se encarga de la transmisión de las señales nerviosas y su disminución afecta el vuelo, la localización de alimento, la reproducción, etc., y puede causar la muerte si la disminución llega a un 80%. También se detectó un aumento en la frecuencia de prolongaciones nucleares y anomalías en eritrocitos policromáticos, un biomarcador de genotoxicidad aguda que señala daños irreversibles en el material genético de las aves (Gil, 2024). Estos resultados indican que las aves del VY están siendo afectadas por la exposición a plaguicidas. Aún no podemos determinar con certeza que esta región se pueda clasificar como una “trampa ecológica” (Hale y Swearer, 2016), ya que es necesario determinar si se están afectando las poblaciones de aves, por lo que se necesita continuar con los estudios, sin embargo, es una advertencia que nos indica un riesgo potencial.

Las aves son un indicador de la salud de todos los organismos que habitan en esa región incluyendo al ser humano, y también responden rápidamente al manejo que se tenga de un agroecosistema, por lo tanto, si queremos mantener los servicios ecosistémicos que nos proveen las aves, como son el control de plagas, la polinización, la fertilización, entre otras, es importante que se transite hacia una agricultura regenerativa, en donde se regule el uso de agroquímicos, utilizando los menos tóxicos para que se regenere el suelo con biofertilizantes, se siembre una variedad de cultivos en lugar de un monocultivo, y se mantenga la vegetación de borde y zonas riparias dentro del valle.

Biodiversidad en la pesca

La diversidad marina presente en el litoral sonorense es un componente importante en la estrecha relación que existe entre la producción pesquera sostenida, el valor económico asociado a la producción y las comunidades costeras resilientes. El estado de Sonora es el líder nacional de producción pesquera y acuícola, con ocho puertos que producen alrededor del 39% de la pesca del país (INEGI, 2023).

Aunque las pesquerías de la sardina, anchoveta, curvina, berrugata, macarela y camarón acumulan la mayor parte de la producción pesquera, en el litoral sonorense se extraen más de 180 especies marinas agrupadas en 57 recursos pesqueros artesanales e industriales (GES, 2024). La pesca en Sonora generó una producción de más de 844 miles de toneladas, con un valor de 3,510 millones de pesos en 2023 (GES, 2024). Las oficinas pesqueras de Guaymas, Bahía Kino, Ciudad Obregón y Huatabampo concentran la mayor producción pesquera y valor económico en el estado (GES, 2024). La importancia económica de la producción pesquera es aún mayor cuando se considera la participación laboral de más de 23 mil pescadores, 62 plantas pesqueras, 329 embarcaciones mayores y 6 mil 146 embarcaciones ribereñas. Mucha de la actividad productiva en la pesca se concentra en comunidades ribereñas con evidente disparidad en el desarrollo e infraestructura disponible y, por lo tanto, el bienestar de las familias.

Existe el registro de más de 6 mil especies marinas en el litoral de Sonora. De este total, se estima que 180 especies se capturan comercialmente, aunque el esfuerzo pesquero se ha centrado en un componente menor debido a su disponibilidad y abundancia (GES, 2024). Entre estas se encuentran los peces pelágicos menores, curvinas, berrugata, sierra y el camarón. Los registros oficiales de pesca para el estado reportan capturas para 57 recursos pesqueros. Cada uno de estos recursos pesqueros puede incorporar una o más especies, es así como el recurso curvina es más bien un grupo de varias especies de la familia *Scianidae* y el recurso mantarraya incluye varias especies de más de una familia de rayas. Por lo tanto, la producción pesquera en Sonora está soportada por una mayor diversidad de la reportada oficialmente que, por un lado, aporta resiliencia al sistema productivo al no depender de una o pocas especies y, por otro lado, resalta la importancia de la

visión del manejo basado en el ecosistema más que el enfoque en especies específicas.

La mayor diversidad marina a lo largo del litoral sonorense se identificó en las zonas de humedales, las bahías y las islas adyacentes a la costa (Figura 2). Por ejemplo, considerando únicamente el componente de peces marinos, la región costera de Guaymas y Empalme, y el polígono formado por Bahía Kino e Isla Tiburón han registrado hasta 665 especies que, en contexto, representan el 72% del total registrado para el Golfo de California (Palacios et al., 2012). El análisis con el SIG identificó estas mismas regiones con mayor presencia de humedales, que incluyen ecosistemas de manglares y de pastos marinos. Los manglares y praderas de pastos marinos son hábitats biofísicos que funcionan como zonas de crianza y cobijo, favorecen la alimentación y reproducción de las especies (Lee et al., 2014; Munguía et al., 2018). Además, se identificaron arrecifes rocosos e islas cercanas a la costa en estas mismas regiones, lo cual favorece el establecimiento de especies marinas al formar corredores conectados dentro del mismo hábitat.

Los arrecifes rocosos y las islas son considerados sitios críticos de biodiversidad. Por lo tanto, el análisis del SIG sí establece una relación entre la mayor diversidad de especies marinas y la mayor producción pesquera total evaluada, considerando las siete oficinas de arribo a lo largo de la costa de Sonora.

Finalmente, no fue posible encontrar una relación entre una mayor producción pesquera y, por lo tanto, una mayor economía asociada a las pesquerías, con indicadores de bienestar social en las comunidades costeras. Aun cuando es razonable argumentar que, a mayor producción pesquera reportada, se deberían observar mayores beneficios económicos en las comunidades costeras, la realidad es que la cadena productiva del sector pesquero es muy compleja y, generalmente, los pescadores reciben el porcentaje menor de las ventas. Además, los pescadores son quienes absorben los riesgos de una actividad económica con mucha incertidumbre. Si bien es cierto que la literatura sostiene que la “biodiversidad genera biodiversidad”, principalmente como resultado de una mayor competencia entre especies, tasas evolutivas más elevadas, mayor redundancia funcional en el ecosistema y mayor capacidad para adaptarse a cambios (resiliencia ecológica) (Briggs, 2007; Hillebrand, 2004; Walker, 1992), una mayor biodiversidad no necesaria-

mente soporta una mayor producción pesquera en todos los casos. Aún más, la biodiversidad y el bienestar social no tienen una relación directa, principalmente debido a la complejidad de las cadenas productivas y el entorno social.

Figura 6.2. Análisis de SIG que identifica las regiones con mayor diversidad marina costera en el litoral sonorense



Fuente: elaboración de A. Ramírez Valdez.

Biodiversidad y ganadería

La composición y el estado de los diferentes biomas que se encuentran en el territorio que hoy conforma al estado de Sonora se vieron afectados desde la llegada de los europeos a este territorio. Hay consenso entre los estudiosos respecto a que el principal promotor de la ganadería fue el padre Eusebio Francisco Kino a fines del siglo XVII (Orozco, 2009; Barceló, 2024). Los amplios pastizales fueron un poderoso imán y así nació una pujante indus-

tria ganadera y, de manera concomitante, un efecto cada vez más pronunciado en la composición florística (Molina y van Devender, 2010).

Actualmente, la ganadería representa un 3.1% del PIB estatal, con amplios reconocimientos nacionales e internacionales por su alta calidad y su reconocida certificación como hato libre de brucelosis, tuberculosis y, hasta el momento, sin presencia de gusano barrenador del ganado (*Cochliomyia hominivorax*). Más allá de las cifras macroeconómicas, la ganadería representa mucho más que eso, tanto histórica como culturalmente, y sigue siendo el pivote central de la economía rural, conformada por más de 35 mil familias con hatos de hasta 50 cabezas, mismos que representan el 90% de la fuerza productiva (Hernández et al., 2008). No obstante, tiene una clara dependencia del comportamiento de los mercados, tanto locales como de exportación, lo que, aunado a la fragilidad ante los continuos ciclos de sequía, la convierten en una actividad de alto riesgo. Dichas condiciones han provocado emigraciones que han despoblado el medio rural (INEGI, 2020).

Por otro lado, la ganadería no está exenta de impactos negativos en los ecosistemas, entre los cuales destacan los altos índices de sobrepastoreo que conducen a una notable erosión de los suelos. Además, la introducción de buffel —un zacate africano— como un intento para paliar los efectos de las sequías ha causado un agresivo desplazamiento espacial de las especies presentes en los agostaderos.

Es pertinente destacar la labor de la ganadería diversificada como una herramienta exitosa de conservación que, aunque enfatiza el cuidado de las especies de interés cinegético, de igual forma tiene un efecto sombrilla en otras especies.

Esta riqueza en biodiversidad no está circunscrita solo a la oferta cinegética, sino que se amplía a otras actividades económicas como el ecoturismo, el fototurismo, el avistamiento de fauna (aves en particular) y el turismo rural. En la demarcación geográfica mencionada arriba es posible observar al natural la concurrencia de especies de otras latitudes como: el águila real y el águila calva, las guacamayas verdes y las cotorras serranas, los pumas y los jaguares, los castores y las nutrias neotropicales, los osos negros y los coatíes, por mencionar solo algunos.

La depredación es un área de conflicto continuo entre ganaderos y carnívoros silvestres y asilvestrados, condición que está siendo atendida con una

amplia gama de buenas prácticas ganaderas, asesoramiento en gestión del seguro por depredación, monitoreo de carnívoros, como el puma, el jaguar, el oso negro y caninos ferales. El evitar la cacería furtiva garantiza una mayor disponibilidad de especies presa y, de manera concomitante, disminuye la depredación.

Otra área de oportunidad que hemos explotado entre la academia, el sector oficial y ONG es el desarrollo de proyectos productivos diseñados para mejorar la calidad de vida en el sector rural. Una manera de llevar a cabo estas mejoras es mediante acciones como el aseguramiento de la calidad de productos artesanales, como quesos y carne seca, la recuperación de recetas típicas de la región, la producción de bacanora, la producción de forraje hidropónico para paliar el efecto de la sequía, la elaboración de artesanías con materiales locales (actividad diseñada para jóvenes), y el acompañamiento a proyectos apícolas, destacando la recuperación y protección de abejas melíponas, todavía no reportadas en el estado. El epicentro de estas actividades está fuertemente ligado a la participación directa de las mujeres, quienes fungen como eje central, acompañadas de actividades puntuales por parte de los varones. No obstante, lo anterior está estrechamente determinado por el financiamiento para detonar/acompañar las acciones detalladas.

Es muy importante destacar esfuerzos realizados por particulares como la cosecha de lluvia en el Desierto de Altar, lo que se traduce en una vigorosa respuesta vegetativa, capaz de elevar la carga animal a casi 10 hectáreas por cabeza. En Suaqui Grande, la división de potreros en el pie de monte genera respuestas similares y en la Sierra de Álamos el conflicto con los depredadores se gestiona exitosamente mediante acciones orquestadas entre las comunidades, el sector oficial y nuestros esfuerzos desde la academia y las ONG concurrentes.

Lo anterior se traduce en mejoras en la calidad del hábitat con repercusiones positivas, tanto para las especies silvestres como para las condiciones del agostadero. A fin de cuentas, el bienestar del ecosistema debe estar ligado al de las familias que lo habitan, por lo que es vital dirigir esfuerzos con visión de largo aliento.

La presencia de áreas naturales protegidas garantiza espacios de conservación, tanto para especies locales como migratorias y, junto con la gana-

dería diversificada, aportan un elemento que será de vital importancia en un futuro cercano, la disponibilidad de un patrimonio genético amplio y diverso.

Actividades cinegéticas

Las actividades cinegéticas en Sonora fueron descritas por los misioneros jesuitas, como el padre Ignacio Pfefferkorn, que vino a evangelizar en el siglo XVIII y que describió no sólo la flora y fauna, sino también los hábitos de cacería de sus habitantes (Durazo, 1983). En la actualidad, estas actividades cinegéticas se pueden clasificar en tres tipos:

La primera es la cacería de subsistencia, que es la que se practica como medio de suplemento proteico de la dieta familiar en el medio rural y está representada por especies de valor cultural, étnico o tradicional como, por ejemplo, el venado cola blanca y el cochijabalí o jabalí de collar, las cuales se encuentran en casi todas las regiones del estado habitadas por comunidades étnicas, rurales, cabeceras municipales, rurales y ranchos. En estas comunidades se cazan especies menores (conejos, liebres), aunque no de manera exclusiva (Tapia, 2012).

La segunda es la cacería furtiva, la cual se practica al margen de la ley, pues no respeta periodos de veda ni el límite, sexo y edad de las piezas cobradas. Tiene un profundo efecto negativo en la composición de la fauna y representa un serio problema para la conservación de las especies (Tapia, 2012).

La tercera es la cacería deportiva bajo esquemas comerciales, la cual representa un importante ingreso de divisas al estado a través de los ranchos cinegéticos, cuya oferta se basa, principalmente, en los venados bura y cola blanca, así como el borrego cimarrón (Brewer, 2019) y, en menor grado, el jabalí de collar. Esta cacería es donde se buscan los trofeos, es decir, los animales que llegan a desarrollar características con puntajes que permitan registrarse en los libros de récords (LaSharr, 2019). También incluye las cacerías de “pluma”, como guajolote Gould, paloma de ala blanca, codorniz y faisán, o bien, la caza de aves migratorias (patos y gansos en zonas de humedales). Estos ranchos cinegéticos tienen un registro como Unidades

de Manejo Ambiental (UMAs) otorgado por la Dirección General de Vida Silvestre (Semarnat), quien regula la actividad. Este turismo cinegético genera una derrama anual de entre 800 y 1,200 millones de pesos por temporada, la cual se extiende de noviembre a marzo (Flores, 2024).

Esta actividad depende, en gran manera, de la riqueza en biodiversidad del medio ambiente, por lo que los ranchos cinegéticos están obligados a cumplir con normas en cuanto a la conservación del medio ambiente. Algunas UMAs también son ranchos ganaderos, por lo cual, en la temporada de caza, muchos potreros están solamente dedicados a las actividades cinegéticas, dejando las actividades ganaderas para otros potreros.

No obstante, ante la escasez de vigilancia por parte del Estado mexicano, la propia condición comercial de estas actividades alternativas, principalmente la actividad cinegética, es el factor que pone los límites a la cacería furtiva (CCTVSES, 2019).

Puede calificarse como excepcional el creciente interés por parte de actores de los sectores privado y social por registrarse como Áreas Dedicadas Voluntariamente a la Conservación, cuya acreditación está a cargo —igualmente— de la Semarnat (Bravo et al., 2024). De esta manera, se amplían significativamente los esfuerzos por la conservación de las especies y los ecosistemas en los que se encuentran.

Consideraciones finales

Podemos concluir que la biodiversidad del estado de Sonora permite que se generen importantes actividades productivas como la agricultura, la pesca, la ganadería y las actividades cinegéticas, que colocan al estado en los primeros lugares de productividad primaria e ingresos por este sector a nivel nacional. En el caso de la agricultura, se observa una transformación completa de los ecosistemas originales. Aún estamos determinando los impactos de esta transformación, sin embargo, se observa que, a pesar de ser un sitio con una gran diversidad de aves, estas están siendo afectadas por el uso intensivo de plaguicidas, por lo que es prioritario cambiar el modelo agrícola para lograr una agricultura sostenible.

En cuanto a la pesca, se observa una relación entre mayores capturas y sitios con mayores zonas de manglar, sin embargo, esta productividad no se refleja en una mejor calidad de vida de sus habitantes, ya que la complejidad de los mercados, así como los impactos ambientales, evita que se traduzca en un beneficio directo para la población que los explota.

En cuanto a la ganadería, se observa que las zonas de agostadero del estado han permitido una alta producción ganadera, sin embargo, el sobrepastoreo y la introducción de especies han afectado el ecosistema haciéndolo más vulnerable a sequías, lo que ha resultado en un despoblamiento del medio rural. No obstante, medidas como la ganadería diversificada, buenas prácticas ganaderas, proyectos productivos, la cosecha de lluvia, y la inclusión de las mujeres de manera transversal en todos los proyectos, han mejorado este panorama y se requiere todo el apoyo por parte del estado y particulares para poder expandirse a todo el territorio de manera exitosa.

Las actividades cinegéticas también son un importante ingreso para el estado, sin embargo, están afectadas por la cacería furtiva y actividades ilegales, que representan un serio problema para la conservación de las especies, sin embargo, estrategias como el interés de registrar más Áreas Dedicadas Voluntariamente a la Conservación son una buena señal por parte de la sociedad, pues se está relacionando el cuidado de la naturaleza con la generación de ingresos y el bienestar, lo cual son excelentes noticias para el planeta y la supervivencia del ser humano.

Referencias

- Barceló Quintín, R. O., Eusebio Francisco Kino. (junio, 11 junio, 2024). Real Academia de la Historia. <https://dbe.rah.es/biografias/15509/eusebio-francisco-kino-o-kuhl>
- Bravo, J. C., C. Castillo y J. M. Gabutti. (2024). Sonora 30X30. Reporte sobre la superficie conservada de Sonora y propuesta para implementación de la iniciativa Sonora 30x30. Wildlands Network. 20p.
- Brewer, C. E. Securing the future of bighorn sheep in Mexico. (2019). Sonora Outdoor Magazine. Consejo Consultivo Técnico de las Vida Silvestre del Estado de Sonora. p. 36.
- Briggs, J. C. (2007). Marine longitudinal biodiversity: causes and conservation. *Diversity & Distributions*, 13, 544-555.
- Clergue, B., B. Amiaud, F. Pervanchon, F. Lasserre-Joulin y S. Plantureux. (2005). Biodi-

- versity: function and assessment in agricultural areas. A review. *Hal*, 25(3), 1-15. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_21
- CONABIO-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2024a). México, biodiversidad que asombra. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-biodiversidad-que-asombra>
- . (2024b). Formato vectorial compuesto por 4 archivos (shp, shx, dbf, prj); Acceso en línea: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis>
- Consejo Consultivo Técnico de las Vida Silvestre el Estado de Sonora (CCTVSES). 2019. Desert bighorn sheep Sonora wildlife department conservation program. pp. 30-35.
- Flores, J. M. (2024). Temporada de caza en Sonora, estas son las especies permitidas en México. <https://notipress.mx/actualidad/temporada-caza-sonora-especies-permitidas-en-mexico-19639#>
- GBIF. Global Biodiversity Information Facility. (10 abril 2024). GBIF occurrence download.
- GES. Gobierno del Estado de Sonora. (2024). Datos abiertos, sección de pesca. Portal de internet del Gobierno del Estado de Sonora, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Agricultura, en colaboración con Oficina de Información Agropecuaria, Pesquera y Acuícola del Estado de Sonora (OIAPEs). Consultado en abril de 2024: <https://www.sonora.gob.mx/datos/pesca>
- Gil Mendoza, L. G. (2024). *Biomarcadores de toxicidad por plaguicidas y su relación con la salud en las aves del Valle del Yaqui, Sonora, México*. [Tesis de doctorado en ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.]
- Glenn, E. P., F. Zamora-Arroyo, P. L. Nagler, M. Briggs, W. Shaw y K. Flessa. (2001). Ecology and conservation biology of the Colorado River Delta, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 49, 5-15.
- Hale, R. y S. Swearer. (2016). Ecological traps: current evidence and future directions. *Proceedings of the Royal Society B*, 283, 1-8 pp. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.2647>
- Hernández, M.C., A. Andablo y A. Ulloa. (2008). Diagnóstico de la sociedad rural sonorense. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.; Congreso del estado de Sonora; Gobierno del estado de Sonora, 219 pp.
- Hillebrand, H. (2004). On the Generality of the Latitudinal Diversity Gradient. *The American Naturalist*, 163(2), 192-211.
- INEGI. (2023). Anuario de estadísticas por entidad federativa. México. (10 junio 2024). <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463910534>
- . (2020). Censo de población y vivienda. (11 junio 2024). <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/poblacion/distribucion.aspx?tema=me&e=26#:~:text=Sonora&text=79%20%25%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20vive,localidades%20rurales%20y%204%2C189%20urbanas>
- LaSharr, T. N., R. A. Long, J. R. Heffelfinger, V. C. Bleich, P. R. Krausman, R. T. Bowyer, J. M. Shannon, R. W. Klaver, C. E. Brewer, M. Cox, A. A. Holland, A. Hubbs, Ch. P. Lehman, J. D. Muir. B. Sterling y K. L. Monteith. (2019). Hunting and mountain sheep: Do current harvest practices affect horn growth? *Evolutionary Applications*. DOI: 10.

- 1111/eva.12841 Acceso en línea: <https://monteithshop.org/es/finished-projects/harvest-records-project/>
- Lee S. Y., J. H. Primavera y F. Dahdouh-Guebas. (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology Biogeography*, 23, 726-43.
- Loreau, M. (2000). Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. *Oikos*, 91, 3-17.
- Martínez Yrizar, A., R.S. Felger y A. Búrquez. (2010). Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural. En: Molina Frenier, F.E. y T.R. van Devender (Ed.) *Diversidad biológica de Sonora* (pp.129-157). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Molina Frenier, F. E. y T. R. van Devender. (2010). *Diversidad biológica de Sonora*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno Sarabia, C. (2023). *Caracterización de la comunidad de aves y sus hábitats en el Valle del Yaqui, Sonora*. [Tesis de licenciatura en biología. Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui].
- Munguia Vega, A., A. L. Green, A. N. Suarez Castillo, M. J. Espinosa Romero, O. Aburto Oropeza, A. M. Cisneros Montemayor et al. (2018a). Ecological guidelines for designing networks of marine reserves in the unique biophysical environment of the Gulf of California. *Reviews in fish biology and fisheries*, 28, 749-776.
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4, 355-364.
- Orozco Mora, G. 2009. Sacerdote: Ranchero y astrónomo. (11 junio de 2024). <http://www.zetatijuana.com/html/Edicion1820/Opinionez-Sacerdote.htm> 04/11/2009ZETA > Opinionez
- Palacios Salgado D., L. Burnes Romo, J. Tavera y A. Ramírez Valdez A. (2012). Endemic fishes of the Cortez Biogeographic Province (eastern Pacific Ocean). *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 42(3), 153-164.
- Pfefferkorn, I.; traducción de A.H. Durazo. (1983). Descripción de la provincia de Sonora. Libro 2o. Hermosillo, Sonora, México, Gobierno del Estado de Sonora.
- Ralph, C., G. Geupel, P. Pyle, T. Martin, D. DeSante y B. Milá. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture.
- Rowher, S., E. Grason y A. G. Navarro-Singüenza. (2015). Irrigation and avifaunal change in coastal Northwest Mexico: has irrigated habitat attracted threaten migratory species? *PeerJ*, 3, <https://doi.org/10.7717/peerj.1187>
- Schläpfer, F., B. Schmid e I., Seidl. (1999). Expert estimates about the effects of biodiversity on ecosystem processes and services. *Oikos*, 84(2), 346-352. <https://doi.org/10.2307/3546733>
- Tapia Landeros, A. (2013). De la ganadería a la cinegética: Transformación de roles e identidades en el Desierto de Sonora. *Culturales*, 1(1), 107-142.
- Walker, B.H. (1992). Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology*, 6:18-23.

7. Agentes patógenos en cultivos de camarón y tilapia: un riesgo para la subsistencia de la producción acuícola en México



SONIA ARACELI SOTO RODRÍGUEZ*

RODOLFO LOZANO OLVERA**

FRANCIS ISELA MARRUJO LÓPEZ***

KARLA GUADALUPE AGUILAR RENDÓN*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.07>

Resumen

El capítulo analiza los principales agentes bacterianos que afectan los cultivos de camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en México, destacando el impacto económico y social de estas enfermedades en la acuicultura nacional. Se describen brotes infecciosos relevantes que permitieron publicar nuevas enfermedades en México, como la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS), causada por cepas patógenas de *Vibrio harveyi* y la enfermedad de la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND), provocada por cepas toxigénicas de vibrios, como *Vibrio parahaemolyticus* y *Vibrio campbellii*, que han generado altas mortalidades en el cultivo de camarón. En tilapia, se documenta la presencia de patógenos bacterianos de peces como *Aeromonas dhakensis*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus iniae* y *Francisella noatunensis*, resaltando a *A. dhakensis*, bacteria altamente patógena y aislada de tilapias cultivadas en presas del noroeste de México, así como la alta prevalencia de *S. agalactiae*

* Doctora en Ciencias en Biotecnología Marina. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0760-4029> ; correspondencia: ssoto@ciad.mx

** Licenciado en Médico veterinario zootecnista. Técnico titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9650-1525>

*** Ingeniera Pesquera en Recursos Acuáticos por la Universidad Autónoma de Nayarit, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4854-2739>

**** Maestra en Ciencias con especialidad en Acuicultura por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4688-4657>

en cultivos del suroeste mexicano. Se describen los métodos de diagnóstico utilizados en el CIAD, incluyendo la necropsia, análisis bacteriológicos, la histopatología, la montura húmeda y técnicas moleculares como PCR y la secuenciación genómica. El capítulo resalta la importancia de una vigilancia sanitaria constante durante los cultivos, el diagnóstico temprano y la caracterización molecular de los agentes patógenos para implementar estrategias de contención y mejorar la sostenibilidad de la producción acuícola. Además, se destaca el papel del CIAD en la investigación aplicada y el desarrollo de herramientas diagnósticas que apoyan y fortalecen al sector productivo.

Palabras clave: *tilapia y camarón, enfermedades bacterianas, sistemas acuícolas.*

Introducción

Los organismos cultivados más importantes en México, por su alto valor comercial y por su incidencia social, son el camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) y la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Ambos cultivos generan empleo para cientos de personas de las zonas costeras. México es el séptimo productor a nivel mundial de camarón y, aunque la producción anual ha mostrado una tendencia a aumentar, la actividad ha sufrido graves pérdidas debido a las enfermedades infecciosas. Entre las enfermedades listadas por la *World Organization Aquatic Health* (WOAH) reportadas en México se encuentran la enfermedad viral infecciosa hipodérmica y hematopoyética (IHNV) [Syn = penstýldensovirus (PstDV1)] en 1989; la hepatopancreatitis necrotizante (NHP) causada por la bacteria tipo Rickettsia *Hepatobacterium penaei* en 1992; el Síndrome de Taura (TSV) de origen viral en 1995; la enfermedad de la mancha blanca (WSSV), también viral en 1999; la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS, no listada en WOAH) causada por *Vibrio harveyi* en 2010 y la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND) causada por *Vibrio parahaemolyticus* en 2013.

Respecto a la tilapia, México ocupa el noveno lugar en la producción acuícola mundial. Actualmente, la tilapia se ha convertido en una importante fuente de proteína en países tropicales, sin embargo, también es sus-

ceptible a patógenos. Entre las bacterias más peligrosas a nivel mundial, y también reportadas en México para la tilapia cultivada, está *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis*, *Aeromonas dhakensis*, *Streptococcus iniae* y *Streptococcus agalactiae*. Adicionalmente, los patógenos *Aeromonas hydrophila*, *Edwardsiella ictaluri* y *Aeromonas veronii* han sido reportados en otros países (Dong et al., 2015).

Los métodos para el diagnóstico de enfermedades bacterianas en camarones y peces incluyen análisis bacteriológicos, bioquímicos, histopatológicos, genómicos y moleculares por PCR (reacción en cadena de la polimerasa) y rt-PCR (PCR en tiempo real). El diagnóstico correcto de las enfermedades involucra la integración de todos esos análisis para identificar el agente causal y los factores de riesgo. Este trabajo presenta específicamente enfermedades causadas por agentes bacterianos que afectan los cultivos de camarón y tilapia en algunas zonas de México.

Métodos

Los animales con sospecha de enfermedad son transportados con agua del estanque al laboratorio. Algunos signos clínicos asociados a enfermedades en camarones incluyen cambios de coloración en la cutícula o musculatura, letargia, nado errático, ausencia de alimento en tracto digestivo, decoloración del hepatopáncreas, entre otros (Lightner, 1996; Soto-Rodríguez et al., 2010; Lozano-Olvera et al., 2024). En peces los signos clínicos como el comportamiento anormal, la anorexia, el nado errático o letárgico, cambios de coloración en la piel o lesiones como descamación, hemorragias, úlceras, el abdomen abultado, el prolapso anal o la exoftalmia son indicativos de infecciones bacterianas (Soto-Rodríguez et al., 2013; Soto-Rodríguez et al., 2018; WOA, 2023).

Necropsia y fijación

Previo a la necropsia, los animales deberán ser sacrificados mediante sobredosis de anestésicos como triclaína o eugenol (de Souza Valente, 2022) para

minimizar el sufrimiento (WOAH, 2023). Una necropsia minuciosa identifica la mayor cantidad de alteraciones en órganos internos, las cuales deben ser registradas en el historial clínico.

Dependiendo del tamaño, los camarones se pueden preservar completos o en secciones (Lightner, 1996); mientras que, en los peces, generalmente es necesario realizar una disección de sus órganos. Secciones de órganos y tejidos como el hígado, bazo, riñón, cerebro, y la sangre son comúnmente usadas para el estudio de infecciones. Sin embargo, también la piel, estómago, intestino, branquias o músculo pueden ser susceptibles de infección bacteriana. Por lo que, con base en la necropsia se debe identificar, seleccionar y analizar los tejidos sospechosos de infecciones mediante diferentes herramientas de diagnóstico (incluidos: métodos moleculares, bacteriológicos, histológicos y montura húmeda) para lograr una mayor comprensión del padecimiento.

Métodos moleculares

A partir de muestras de agua, sedimento, heces, aislados bacterianos, tejidos frescos, congelados o bien preservados en etanol 96°, se extrae el ADN o ARN para su análisis por diferentes tipos de PCR, utilizando cebadores específicos (WOAH, 2023). En ocasiones, también se realiza la secuenciación masiva del genoma completo de cepas bacterianas seleccionadas a partir de análisis bacteriológicos.

Métodos bacteriológicos

Muestras de órganos y tejidos son disectadas bajo condiciones de esterilidad para su cultivo en medios microbiológicos generales y/o selectivos. El número de unidades formadoras de colonias (UFCs) son cuantificadas mediante dilución serial (Soto-Rodríguez et al., 2010). Las colonias dominantes son aisladas para su caracterización bioquímica y susceptibilidad a antibióticos. Colonias representativas de cada aislado son criopreservadas a -80°C (Ghera, 1994) para su caracterización molecular.

Método histológico

Organismos completos o secciones de tejidos son preservados mediante una inyección con formalina neutra al 10% o solución Bouin's en el caso de peces. Mientras que la solución Davidson AFA (ácido acético, formaldehído, alcohol) es empleada para una preservación adecuada de los crustáceos (Lightner, 1996). Entre 24 a 48 h estos son mantenidos en una solución fijadora (1:10) antes del procesamiento histológico de rutina.

Montura húmeda

La montura húmeda de tejidos animales es una herramienta presuntiva que es ampliamente usada *in situ* en las unidades de producción (Gomes et al., 2010; Lozano-Olvera et al., 2024). Se basa en la observación microscópica de secciones frescas de tejido animal sobre un portaobjeto con una gota de agua (Lightner, 1996).

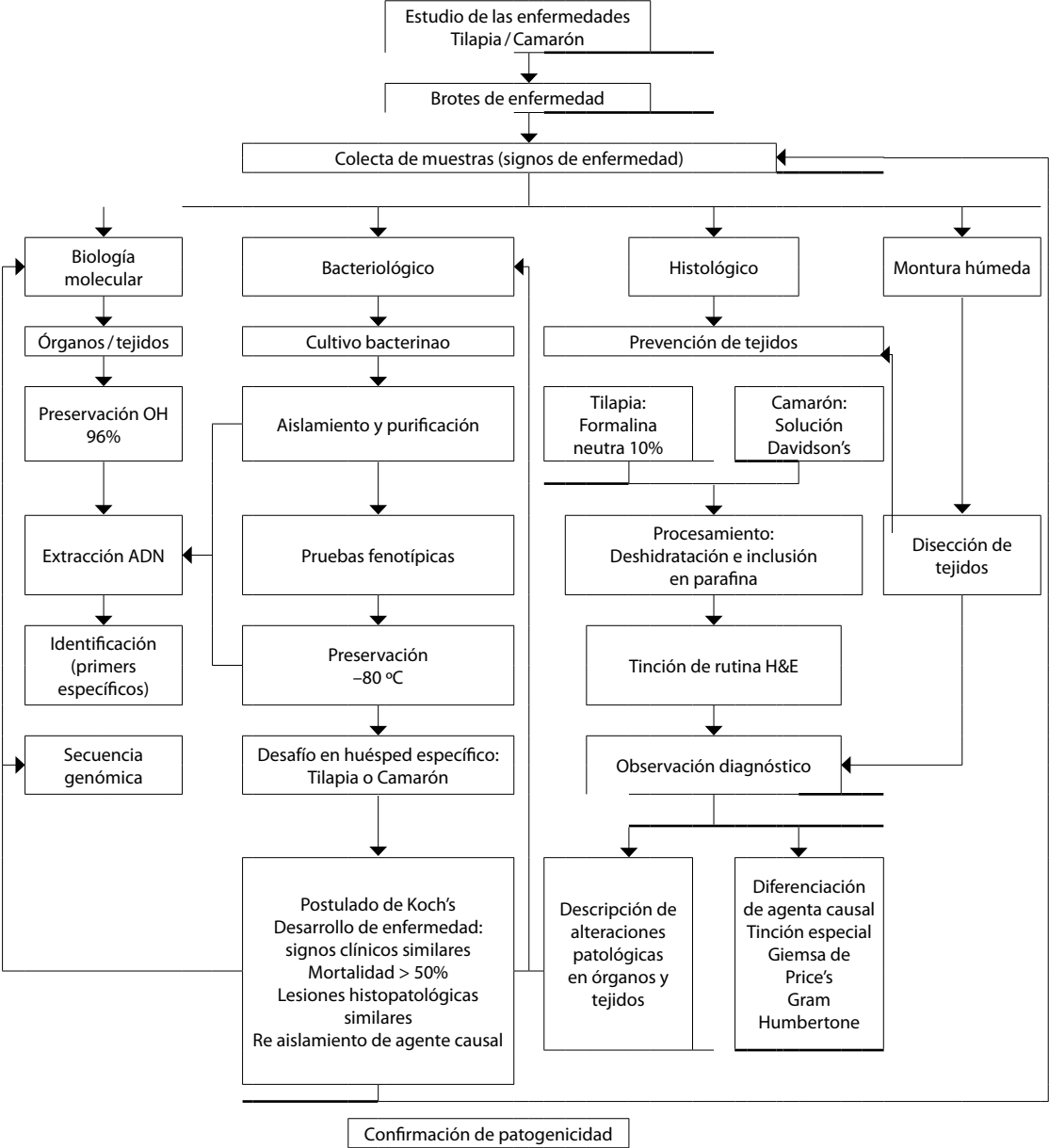
En la Figura 7.1 se muestra un diagrama de las etapas empleadas por nuestro grupo de trabajo para el estudio de causalidades de procesos infecciosos bacterianos en organismos acuáticos, que incluyen procedimientos desde la identificación de epizootias *in situ* hasta la identificación y caracterización del agente causal mediante métodos moleculares.

Resultados y discusión

Enfermedades de camarón

En el 2005, los productores de camarón experimentaron una mortalidad en los cultivos no asociada con alguna enfermedad conocida en México. Observaciones de campo mostraron camarones letárgicos, anoréxicos, con el cuerpo flácido y manchas de decoloración rojiza en la cutícula abdominal y, a veces, erosiones melanizadas alrededor de las manchas (Figura 7.2A). En organismos acuáticos, generalmente las observaciones en campo no son

Figura 7.1. Diagrama que muestra el flujo de trabajo aplicado en el estudio de las enfermedades bacterianas de organismos acuáticos en CIAD, subsede Mazatlán



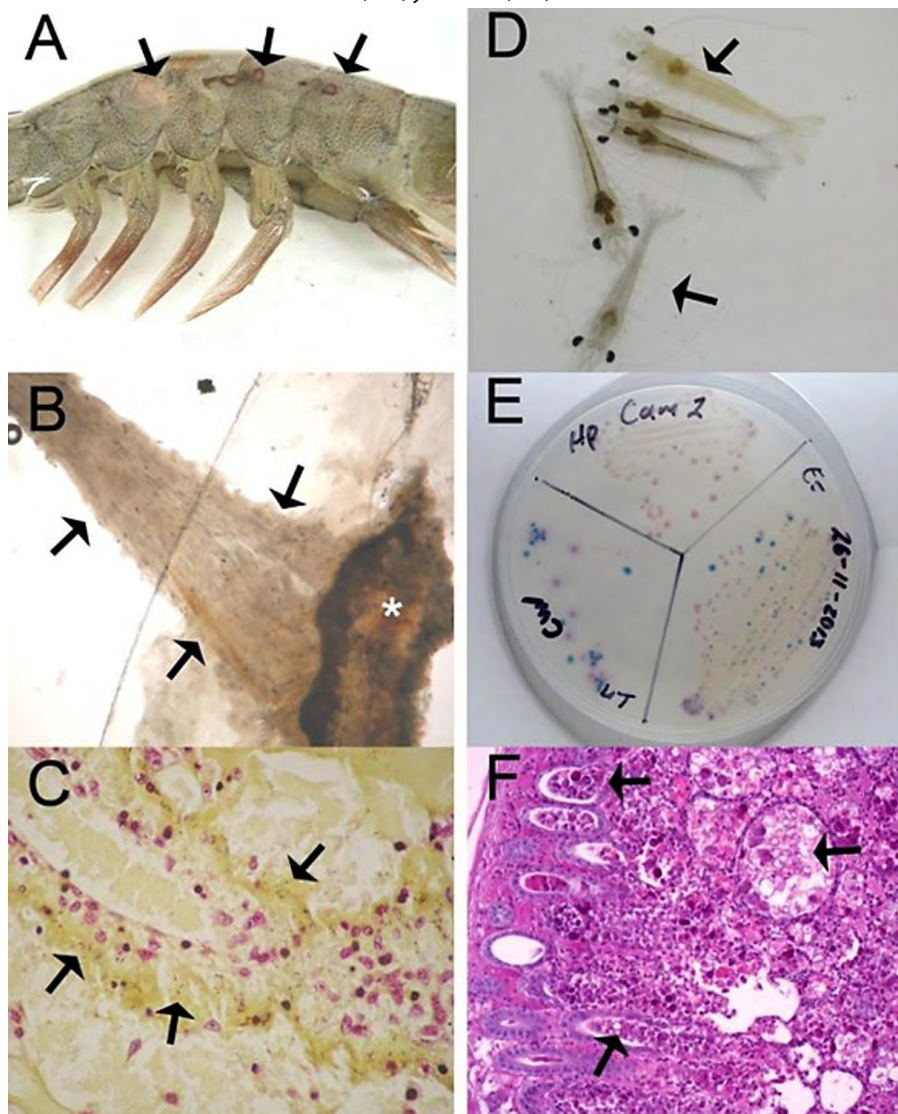
Fuente: elaboración propia.

suficientes para identificar una enfermedad, por lo que es vital identificar los daños causados en los tejidos.

En el presente caso, el análisis de los tejidos por montura húmeda mostró un daño severo en la musculatura adyacente a las erosiones cuticulares (Figura 7.2B). El análisis histopatológico confirmó la presencia de abundantes bacterias en los tejidos, indicando una infección bacteriana sistémica que, inicialmente, comprometió el músculo estriado de los segmentos abdominales y luego se diseminó a través del sistema circulatorio, afectando severamente órganos vitales como el órgano linfoide (Figura 7.2C), la glándula antenal y el corazón. Los brotes infecciosos se investigaron desde un enfoque multidisciplinario, lo que permitió el aislamiento y la identificación molecular de cepas de *Vibrio harveyi* (entre ellas, CAIM 1792) como agente causal de la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS por sus siglas en inglés, Soto-Rodríguez et al., 2010). Adicionalmente, las cepas se caracterizaron fenotípicamente (por ejemplo, pruebas de motilidad, Gram, oxidasa, catalasa, entre otras), incluyendo el análisis de sensibilidad a antimicrobianos (Soto-Rodríguez et al., 2012).

En la década pasada, el cultivo de camarón en México fue nuevamente afectado por múltiples brotes de AHPND. Típicamente, los casos se presentaban en los primeros 30 días de cultivo, causando una alta mortalidad con pérdidas económicas en nuestro país y alrededor del mundo (Tran et al., 2013; Nunan et al., 2014). Los camarones afectados con AHPND desarrollan letargia, tienen un hepatopáncreas pálido, un tracto digestivo vacío (Figura 7.2D), cromatóforos expandidos, decoloración, atrofia y disfunción generalizada del hepatopáncreas, signos acompañados de una mortalidad aguda en el estanque. Estudios de campo y laboratorio confirmaron su etiología, como cepas específicas de *Vibrio parahaemolyticus* que secretan una potente toxina conocida como PirAB (Lee et al., 2015; Soto-Rodríguez et al., 2015). Las colonias de *V. parahaemolyticus* se aislaron en agar TSA (agar soya tripticaseína), TCBS (agar tiosulfato citrato bilis sacarosa) y se purificaron en medios específicos como CHROMagar™ *Vibrio* (Figura 7.2E). Estas cepas poseen diferente virulencia, causando mortalidad desde las primeras horas de infección. La enfermedad se caracteriza por ocasionar una disfunción generalizada del hepatopáncreas debido al desprendimiento masivo de células epiteliales en los túbulos de los camarones infectados (Figura 7.2F).

Figura 7.2. Camarones y tejidos de *P. vannamei* afectados por la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS) (A-C) y AHPND (D-F)



Nota. (A) Signos externos, donde se observan lesiones melanizadas en cutícula (flecha). (B) Microfotografía por montura húmeda con melanización cuticular (*) y necrosis de las fibras musculares (flecha). (C) Necrosis severa y proliferación de bacterias Gram negativas (flecha) en órgano linfoide. (D) Camarones afectados por AHPND con hepatopáncreas pálido y tracto digestivo vacío (flecha). (E) Colonias aisladas en CHROMagar™ *Vibrio* de eventos de AHPND. (F) Microfotografía de hepatopáncreas con severo desprendimiento de células epiteliales en los túbulos pancreáticos. Tinción Gram Humberstone (C) y Hematoxilina-eosina-floxina (F).

Fuente: todas las imágenes son inéditas. Las imágenes A, D, E fueron proporcionadas por Sonia A. Soto Rodríguez; las imágenes B, C y fueron proporcionadas por Rodolfo Lozano Olvera.

Se requiere una vigilancia y monitoreo constante para identificar cualquier variación en la condición de salud en los cultivos (Lozano-Olvera et al., 2024). Recientemente, fueron identificadas nuevas cepas de *Vibrio campbellii*, aisladas de postlarvas de camarón del Noroeste de México. Estas cepas poseen los genes de la toxina PirAB causante de AHPND (Soto-Rodríguez et al., 2024a), las cuales representan un riesgo más para la producción camaronícola en el país.

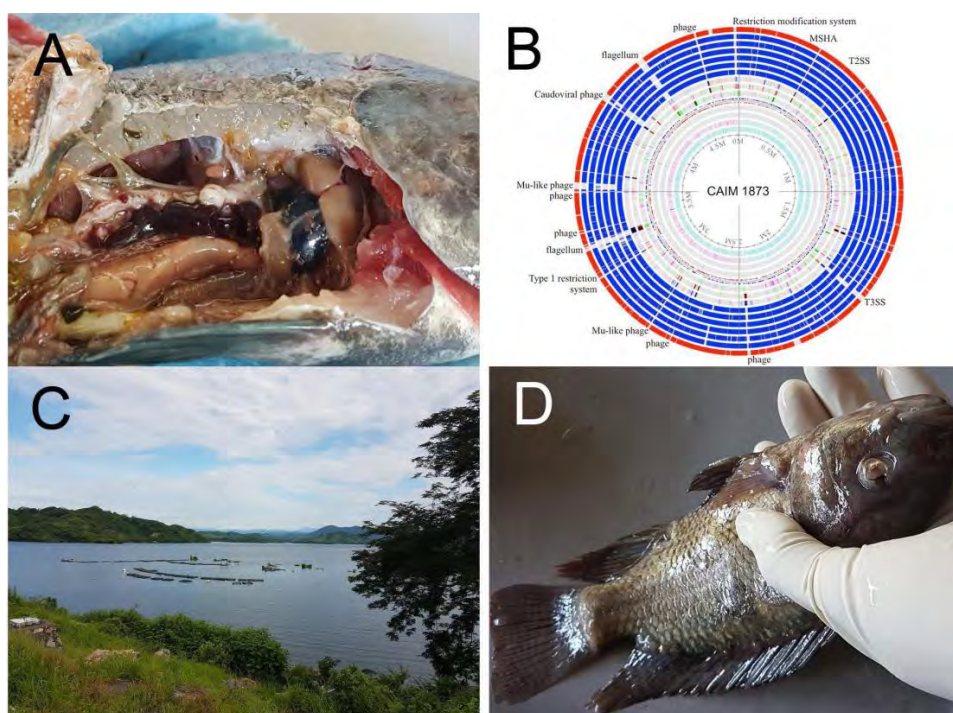
Enfermedades de tilapia

A continuación, se presentan algunos de los resultados de los estudios que hemos realizado con bacterias patógenas para la tilapia del Nilo. Se diseccionaron tilapias enfermas cultivadas en presas de Sinaloa asépticamente para la toma de muestras de órganos internos para análisis bacteriológicos (Figura 7.3A). Se obtuvieron aislados bacterianos en medio TSA que se caracterizaron fenotípica y genómicamente. Mediante la secuenciación del genoma completo se identificó a la cepa *Aeromonas dhakensis* CAIM 1873. El estudio del genoma completo identificó genes de virulencia asociados a hemolisinas, citotoxinas, sideróforos, proteasas y genes de resistencia antibióticos (Soto-Rodríguez et al., 2018) (Figura 7.3B). Durante las pruebas de desafío con *A. dhakensis* CAIM 1873 en tilapia híbrida, una dosis de 1.5×10^6 UFC/g causó 80% de mortalidad a las 13 h pos-inoculación (Soto-Rodríguez et al., 2018), lo que comprueba la alta virulencia de esta cepa.

Por otro lado, durante un monitoreo sanitario de tilapia cultivada en jaulas (Figura 7.3C) en el suroeste mexicano (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) en 2018, 2019, 2020 y 2022, se analizaron las bacterias *Francisella* sp., *Staphylococcus* sp., *Staphylococcus aureum*, *Aeromonas* sp., *Aeromonas dhakensis*, *Streptococcus iniae* y *Streptococcus agalactiae*, mediante técnicas de PCR punto final y PCR tiempo real. Los signos clínicos de algunas de las tilapias cultivadas incluyeron nódulos blanquecinos en bazo, hígado inflamado y pálido, hemorragias en piel e internas, lesiones necróticas en músculo, úlceras en piel, descamación, aletas erosionadas, lesiones en ojos y piel (Figura 7.3D), entre otros. Se detectó alta prevalencia de *Staphylococcus* sp. y *Streptococcus agalactiae*, una de las bacterias patógenas más peligrosas para

la tilapia cultivada (Soto-Rodríguez et al., 2024b). También se encontró una baja prevalencia de *Aeromonas* sp. y *Streptococcus iniae*. Estos patógenos fueron detectados en los tres estados durante el periodo de muestreo, lo que indica un proceso de coinfección que representa un riesgo mayor para el cultivo sostenible de la tilapia en México.

Figura 7.3. (A) Disección y toma de muestras de órganos internos de tilapia (*O. niloticus*) con sospechas de enfermedad. (B) Diagrama circular del genoma completo de *Aeromonas dhakensis* CAIM 1873. (C) Cultivo de tilapia en jaula durante el muestreo sanitario en Chiapas. (D) Tilapia con signos de enfermedad como lesiones en piel y ojo. Todas las imágenes son inéditas.



Fuente: las imágenes A, C y D fueron proporcionadas por Francis Marrujo López, la imagen B fue proporcionada por Bruno Gómez Gil.

Conclusiones

La importancia del estudio de las enfermedades infecciosas radica, principalmente, en identificar y caracterizar las enfermedades de mayor impacto en la producción acuícola, con el objeto de implementar programas de detección, monitoreo y contención, y así evitar su dispersión a otras regiones o nuevas especies. En el caso de las enfermedades bacterianas, nuestro equipo logró caracterizar el curso natural de AHPND mediante la evaluación clínica y análisis por montura húmeda, que permite la detección temprana de brotes de enfermedad a nivel de granja.

Estos resultados apoyan el conocimiento de la patogenia de AHPND y brindan criterios útiles al productor que puede utilizar en programas de monitoreo para una detección temprana en campo. Respecto a la tilapia, identificamos y evaluamos el grado de virulencia de *A. dhakensis*, bacteria que, a la fecha, no había sido considerada como patógeno para la tilapia cultivada. También detectamos recientemente una alta prevalencia de *S. agalactiae*, uno de los patógenos más importantes a nivel mundial en tilapias enfermas cultivadas en jaulas flotantes en el suroeste mexicano, que puede detonar brotes infecciosos y mortalidad en la producción. La identificación de los agentes causales de cada enfermedad infecciosa bacteriana mencionadas en este trabajo fue confirmada por las diversas metodologías de análisis que, en conjunto, permitió identificar el agente causal utilizando los criterios del postulado de Koch.

En los estudios con camarón y tilapia, se obtuvieron y analizaron los genomas completos de las cepas bacterianas aisladas de brotes infecciosos, que permitieron detectar genes de virulencia y diferencias genéticas entre cepas. Lo anterior facilita la identificación de tratamientos más eficientes y amigables con el medio ambiente, favoreciendo una producción más sustentable que beneficie al sector primario de las comunidades rurales dependientes de estos cultivos en las zonas costeras del país.

Referencias

- De Souza Valente, C. (2022). Anaesthesia of decapod crustaceans. *Veterinary and Animal Science*, 16, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2022.100252>
- Dong, H. T., Nguyen, V. V., Le, H. D., Sangsuriya, P., Jitrakorn, S., Saksmeprome, V., Senapin, S., y Rodkhum, C. (2015). Naturally concurrent infections of bacterial and viral pathogens in disease outbreaks in cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farms. *Aquaculture*, 448, 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.027>
- Gherna, L., (1994). Culture preservation. In: Gerhardt, P., Murray, R. G. E., Wood, W. A., y Krieg, N. R. (Eds.), *Methods for General and Molecular Microbiology*. American Society for Microbiology, Washington.
- Gomes, G. B., Santos Domingos, J. A., Oliveira, K. K. C., De Paula Mendes, P., Arns Da Silva, V., y Mendes, E. S. (2010). Diagnosis of necrotizing hepatopancreatitis in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, through wet mount, histopathology and PCR techniques. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(5), 816-822. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00424.x>
- Lee, C. T., Chen, I. T., Yang, Y. T., Ko, T. P., Huang, Y. T., Huang, J. Y., Huang, M. F., Lin, S. J., Chen, C. Y., Lin, S. S., Lightner, D. V., Wang, H. C., Wang, A. H., Wang, H. C., Hor, L. I., y Lo, C. F. (2015). The opportunistic marine pathogen *Vibrio parahaemolyticus* becomes virulent by acquiring a plasmid that expresses a deadly toxin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(34), 10798-10803. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503129112>
- Lightner, D. V. (1996). *A handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures for diseases of cultured penaeid shrimp*. World Aquaculture Society. Luisiana.
- Lozano-Olvera, R., Abad-Rosales, S. M., Soto-Rodríguez, S. A., y Aguilar-Rendón, K. G. (2024). Time course of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* by wet mount analysis. *Aquaculture International*, 32, 2313-2329. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01272-8>
- Nunan, L., Lightner, D., Pantoja, C., y Gomez-Jimenez, S. (2014). Detection of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*, 111(1), 81-86. <https://doi.org/10.3354/dao02776>
- Soto-Rodríguez, S.A., Gómez-Gil, B., y Lozano, R. (2010). "Bright-red" Syndrome in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* is caused by *Vibrio harveyi*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 92, 11-19. <https://doi.org/10.3354/dao02274>
- Soto-Rodríguez, S. A., Gómez-Gil, B., Lozano, R., del Rio-Rodríguez, R., Diéguez, A. L., y Romalde, J. L. (2012). Virulence of *Vibrio harveyi* responsible for the "Bright-red" Syndrome in the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal of invertebrate pathology*, 109(3), 307-317. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.01.006>
- Soto-Rodríguez, S. A., Cabanillas-Ramos, J., Alcaraz, U., Gomez-Gil, B. y Romalde, J. L. (2013). Identification and virulence of *Aeromonas dhakensis*, *Pseudomonas mosselii* and *Microbacterium paraoxydans* isolated from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*,

- cultivated in Mexico. *Journal of Applied Microbiology*, 115(3), 654-662. <https://doi.org/10.1111/jam.12280>
- Soto-Rodríguez, S. A., Gomez-Gil, B., Lozano-Olvera, R., Betancourt-Lozano, M. y Morales-Covarrubias, M. S. (2015). Field and experimental evidence of *Vibrio parahaemolyticus* as the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease of cultured shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in northwestern Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(5), 1689-1699. <https://doi.org/10.1128/AEM.03610-14>.
- Soto-Rodríguez, S. A., Lozano-Olvera, R., García-Gasca, M. T., Abad-Rosales, M. S., Gómez-Gil, B., y Ayala-Arellano, J. (2018). Virulence of the fish pathogen *Aeromonas dhakensis*: Genes involved in characterization and histopathology of experimentally infected hybrid tilapia. *Diseases of Aquatic Organisms*, 129(2), 107-116. <https://doi.org/10.3354/dao03247>
- Soto-Rodríguez, S. A., Gómez-Gil, B., Lozano-Olvera, R., Aguilar-Rendón, K. G., y González-Gómez, J. P. (2024a). Identification of new *Vibrio campbellii* strains harboring the pVA1 plasmid isolated from *Penaeus vannamei* postlarvae affected by outbreaks of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Mexico. *Aquaculture*, 579, 740221. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740221>
- Soto-Rodríguez, S. A., Marrujo López, F. I., Aguilar-Rendón, K. G. y Guzmán, R. H. (2024b). Pathogenic bacteria prevalence in cultured Nile tilapia in Southwest Mexico: A real-time PCR analysis. *Journal of Fish Diseases*, e13921. <https://doi.org/10.1111/jfd.13921>
- Tran, L., Nunan, L., Redman, R. M., Mohny, L. L., Pantoja, C. R., Fitzsimmons, K., y Lightner, D. V. (2013). Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 105(1), 45-55. <https://doi.org/10.3354/dao02621>
- WOAH-World Organization Aquatic Health. (25 de agosto 2023). Manual de las Pruebas de Diagnóstico para los Animales Acuáticos. <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-manual-acuatico/>

8. Metal(oid)es en ecosistemas costeros de Sonora: Impactos y riesgos



MARTÍN ENRIQUE JARA MARINI*

LETICIA GARCÍA RICO**

JAQUELINE GARCÍA HERNÁNDEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.08>

Resumen

La contaminación ambiental es una problemática mundial. Las emisiones de contaminantes, como los metales y metaloides, que se dispersan en los ambientes cuando no son adecuadamente tratados y/o confinados, representan un riesgo permanente para la salud de los ecosistemas. El estado de Sonora no escapa a la misma por diferentes compuestos y elementos, como los metal(oid)es. La problemática con estos elementos en los ecosistemas costeros de Sonora se relaciona, principalmente, con las emisiones de actividades agrícolas, acuícolas y urbanas. Este trabajo es una recopilación de estudios que los autores han publicado sobre esta problemática, en los que se han monitoreado/estudiado los niveles de estos elementos en matrices ambientales y se han evaluado los riesgos a la salud por el consumo de algunas especies de origen marino. Los resultados de estos estudios indican que los niveles acumulados en suelos, sedimentos y organismos representan riesgos para la salud tanto de los organismos propios de tales ecosistemas como de las personas que son expuestas a ellos por diferentes vías. Los riesgos son mayores en sectores vulnerables de la población, como los niños y las mujeres

* Doctor en Ciencias. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-6416> ; correspondencia: mjara@ciad.mx

** Doctora en Biotecnología. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1618-2238>

*** Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5251-0526>

embarazadas. Esto es clave para proponer cambios en los patrones de consumo de especies acuáticas, basados no solo en los beneficios nutricios sino también en los riesgos para la salud por la presencia de contaminantes, proveyendo de seguridad alimentaria al disminuirlos. Se requiere evaluar la exposición a metal(oid)es por polvos en regiones rurales, a causa de la vulnerabilidad dadas sus condiciones de vida.

Palabras clave: *contaminación, metales y metaloides, salud de los ecosistemas, riesgos a la salud.*

Introducción

La contaminación ambiental es una problemática mundial. Las diferentes actividades humanas generan emisiones de diversos tipos de agentes tóxicos, que se dispersan en los ambientes cuando no son adecuadamente tratados y/o confinados. También las fuentes de los contaminantes pueden ser naturales (como el vulcanismo y el intemperismo), aunque las antropogénicas son las que más impactos negativos han tenido (Bracamonte-Terán et al., 2023). Los países en desarrollo son los más vulnerables a la contaminación porque sus regulaciones para el tratamiento y confinamiento suelen ser más laxas, y/o las regulaciones vigentes no se aplican adecuadamente. La exposición a los agentes tóxicos es un riesgo permanente para la salud (FAO/WHO, 2011).

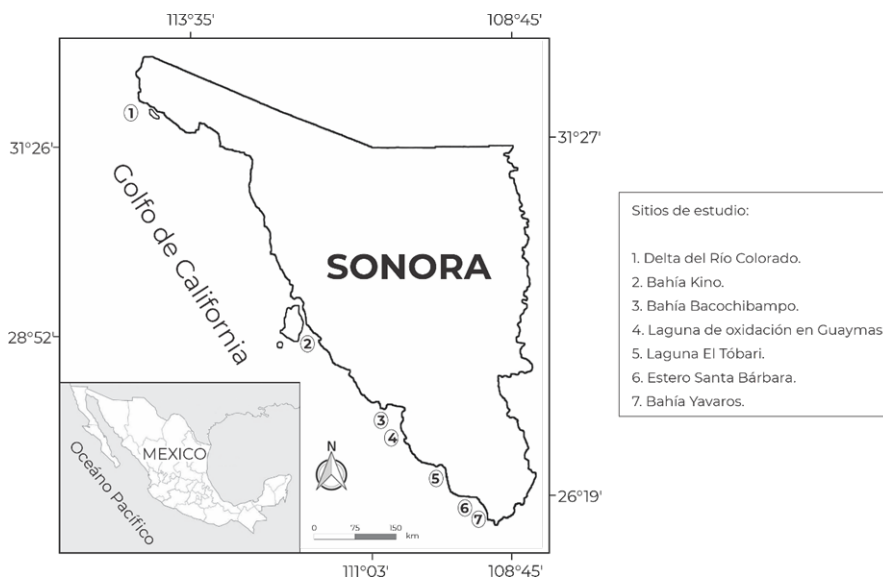
Considerando que la problemática de la contaminación es mundial, el estado de Sonora no escapa a la misma por diferentes compuestos y elementos, como los metal(oid)es. La problemática con estos elementos en los ecosistemas costeros de Sonora se relaciona, principalmente, con las emisiones de actividades agrícolas, acuícolas y urbanas (García-Hernández et al., 2018; Molina-García et al., 2021; Bracamonte-Terán et al., 2023). Este trabajo es una recopilación de estudios que los autores hemos publicado sobre dicha problemática, en los que se han monitoreado/estudiado los niveles de contaminantes metálicos en matrices ambientales y se han evaluado los riesgos para la salud por el consumo de algunas especies de origen marino.

Metodología

Área de estudio

El estado de Sonora se localiza en el noroeste de México, entre las coordenadas $32^{\circ}29'35''\text{N}$ – $115^{\circ}03'10''\text{O}$ y $26^{\circ}18'58''\text{N}$ – $108^{\circ}25'22''\text{O}$. Posee una línea de costa de 1250 km, con una gran variedad de ecosistemas como bahías, lagunas, ciénegas y esteros. En el estado de Sonora existen varios ecosistemas con problemas de contaminación con metal(oid)es, asociados a diversas actividades humanas, por lo que se seleccionaron 10 sitios costeros (Figura 1).

Figura 8.1. Áreas de estudio en la zona costera de Sonora, noroeste de México



Fuente: elaboración propia.

Muestreos, procesamiento y cuantificación de elementos

Se usó un muestreo aleatorio simple para coleccionar muestras representativas de suelos, sedimentos y organismos en sitios costeros de Sonora. Se

colectaron especímenes de moluscos (almejas, balano, caracoles, mejillones y ostiones), isópodos (ligia), crustáceos (camarones, jaibas, langosta y pulpo) y peces (ángel, blanquillos, botete, cabrillas, carpa, chihuil, cochito, curvina, jurel, lenguado, lisa, lobina, mero, mojarra, pámpanos, pargo, pelágicos mayores, pez loro, pez sol, rayas, roncacho, sardina, tiburones y tilapia). Las muestras fueron transportadas al laboratorio en hieleras, disectadas para obtener los tejidos comestibles, secadas por liofilización (133×10^{-3} mBar y -40°C por 72 h) y almacenadas (en refrigeración a 4°C) hasta su posterior análisis.

Las muestras de suelos y sedimentos fueron tamizadas a $<20 \mu\text{m}$ y $<62 \mu\text{m}$, respectivamente, luego 0.3 ± 0.003 g fueron sometidas a una digestión a 140°C por 5 h, usando $\text{HNO}_3:\text{HCl}$ concentrados (proporción 3:1, respectivamente). Las muestras de organismos fueron digeridas vía húmeda (HNO_3 concentrados y H_2O_2 al 30% v/v). La cuantificación de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se y Zn totales en sedimentos, suelos, polvos y organismos fueron realizadas por las técnicas de espectroscopia de absorción atómica, usando flama y generador de vapor e hidruros (Varian, SpectrAA 240 FS), fluorescencia de rayos X (Thermo Scientific, Niton FXLGOLDD) y voltamperometría (Metrohm, VA 797), de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes. Los resultados de las concentraciones fueron reportados tanto en base húmeda (BH) como en base seca (BS).

Riesgos para la salud

Se realizaron muestreos aleatorios simples para seleccionar las casas a muestrear y localizar el mayor número posible de personas en cada una. La ingestión dietética habitual se evaluó con un recordatorio de 24 horas (R-24h) y un cuestionario de frecuencia alimentaria (CFA), los cuales fueron validados y están vinculados a la base de datos de composición alimentaria del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD) para estimar la ingestión de componentes de alimentos.

Posteriormente, se determinó el Riesgo a la Salud (RS) para cada metal(loid)e, usando el modelo desarrollado por la Federación para la Evaluación de Sitios Contaminados de Canadá. Las fórmulas y valores usados para

calcular los riesgos para la salud son detallados en García-Hernández et al. (2018), usando las partes comestibles de los organismos.

Resultados

Las concentraciones de metales en las matrices ambientales que se presentan son una recopilación de publicaciones que los tres investigadores hemos realizado sobre los impactos de metal(oid)es en ecosistemas costeros de Sonora.

Las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metal(oid)es en suelos, sedimentos y polvos (Cuadro 1) son muy variables, con altos niveles de algunos elementos que tienen un mayor potencial tóxico, como As (4.10-54.8), Cd (0.71-3.57), Hg (0.17-2.00), Mn (5.00-2,731), Ni (<LD-20.6) y Pb (<LD-236.7). Las áreas con mayores niveles de metal(oid)es en los sedimentos fueron el delta del Río Colorado y la laguna El Tóbari. Los niveles de acumulación son relativos y generalmente son comparables a los valores en los que se ha reportado algún efecto adverso para la salud (MacDonald et al., 1996).

Cuadro 8.1. Concentraciones de metal(oid)es ($\mu\text{g g}^{-1}$, BS) en sedimentos, suelos y polvos de sitios de las zonas costeras de Sonora (Áreas: áreas de estudio. Ref: referencias.

TEL: Nivel Umbral de Efecto, en $\mu\text{g g}^{-1}$ BS. PEL: Nivel de Efecto Probable, $\mu\text{g g}^{-1}$ BS).

	Sedimentos	Sedimentos	Suelos y polvos	TEL	PEL
As	–	28.3-54.8	4.10-44.0	7.24	41.6
Cd	0.71-1.33	<LD-3.57	–	0.68	4.21
Cr	3.08-17.7	–	–	52.3	160
Cu	2.18-9.66	<LD-44.0	29.6-214.4	18.7	108
Fe	600.0-43.700	7,100 -42,300	1,089-85,107	–	–
Hg	–	0.17-2.00	–	0.13	0.7
Mn	125.4-449.2	217.0-1,424.0	5.00-2,731	–	–
Ni	–	<LD-20.6	–	15.9	42.8
Pb	7.20-11.7	<LD-76.0	<2.50-236.7	30.2	112
Se	–	0.50-1.30	–	–	–
Zn	–	15.2 -128.1	65.9 -3,102	124	271
Áreas ^a	2	1, 3	4		
Ref ^b	A	B, C, D	E		

Nota: Áreas de estudio: 1. Delta del Río Colorado; 2. Bahía Bacoichibampo; 3. Laguna El Tóbari; 4. Costa de Hermosillo.

Fuente: A. Ochoa-Valenzuela et al. (2009); B. García-Hernández et al. (2013a); C. Jara-Marini et al. (2013); D. Vargas-González et al. (2017); E. Bracamonte-Terán et al. (2023).

Otra manera de medir los impactos de las actividades humanas es evaluando el contenido de metal(oid)es en suelos, incluyendo las fracciones finas ($<20\ \mu\text{m}$) consideradas como polvos, ya que son las que se dispersan más rápido y a grandes distancias, además de que son las que pueden ingresar a las vías respiratorias (Bracamonte-Terán et al., 2023). Los niveles de estos elementos en las fracciones finas de suelos colectados en la región costera-agrícola de Hermosillo son mayores a los encontrados en los sedimentos de las otras áreas en todos los elementos estudiados, pero destacan As ($4.10\text{-}44.0\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS), Mn ($5.00\text{-}2,731\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS) y Pb ($<2.50\text{-}236.7\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS).

En cuanto al contenido de metal(oid)es en los organismos marinos (Cuadro 2), los valores de los elementos antes señalados (tanto en BS como BH) son muy variables. Sin embargo, cabe destacar el contenido de algunos elementos considerados potencialmente tóxicos, como As y Cr en los peces ($<\text{LD}\text{-}18.2\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS y $0.37\text{-}78.1\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS, respectivamente), lo que indica que pueden ser usados como biomonitores.

También destaca el intervalo de concentraciones de Cd en isópodos ($16.5\text{-}140.0\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS), que es significativamente mayor a los encontrados en el resto de los organismos estudiados. Esto es indicativo de que los isópodos son organismos acumuladores y tolerantes a este elemento, y que pueden ser usados como biomonitores de la exposición a varios elementos. Además, se destacan las concentraciones mayores de Hg en los moluscos ($0.05\text{-}4.02\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS) y peces ($<\text{LD}\text{-}4.54\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS), respecto a las determinadas en los demás organismos. Asimismo, es notoria la acumulación de Mn en peces ($7.40\text{-}2,651.0\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS), lo que indica que son acumuladores de este elemento y pueden ser usados como biomonitores de la exposición de dicho elemento.

En moluscos e isópodos se determinaron las mayores concentraciones de Pb ($0.74\text{-}10.7\ \mu\text{g g}^{-1}$ y $24.4\text{-}144.0\ \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente), respecto a los otros organismos. Esto indica que ambas especies pueden ser utilizadas como biomonitoras de la exposición a Pb en ambientes costeros marinos.

Finalmente, destacan las concentraciones de Se acumuladas en los moluscos y peces ($3.77\text{-}23.1\ \mu\text{g g}^{-1}$ y $0.48\text{-}18.4\ \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente), lo que es indicativo de que estos organismos pueden ser usados para el monitoreo de la exposición a este elemento. Las implicaciones sobre la acumulación de metal(oid)es en los organismos tienen varias aristas, por lo que el uso

de organismos biomonitores puede ser clave para evaluar los impactos de las actividades humanas en los ecosistemas costeros.

Cuadro 8.2. Concentraciones de metal(oid)es ($\mu\text{g g}^{-1}$, base seca (BS) o base húmeda (BH)) en organismos marinos de sitios de las zonas costeras de Sonora (Áreas: áreas de estudio. Ref: referencias).

	<i>Moluscos</i>	<i>Isópodos</i>	<i>Crustáceos</i>	<i>Peces</i>	<i>NOM-242-SSA1(2009)</i>
As	<LD-0.15 (BH)	–	–	<LD-18.2 (BS)	80 (BH)
Cd	<0.40-4.01 (BH) 0.20-1.35 (BS)	16.5-140.0 (BS)	–	<LD-1.55 (BS)	0.50-2.00 (BH)
Cr	0.39-1.03 (BS)	–	0.40-1.97 (BS)	0.37-78.1 (BS)	–
Cu	1.40-20.2 (BH) 2.18-96.8 (BS)	<LD-325.0 (BS)	0.40-65.2 (BS)	<LD-83.9 (BS)	–
Fe	56.1-1,190.1 (BS)	–	38.0-189.0 (BS)	38.8-2,439.0 (BS)	–
Hg	0.02–0.17 (BH) 0.05-4.02 (BS)	0.20-0.65 (BS)	<0.16-0.17 (BH)	<LD-4.54 (BS) <LD-0.65 (BH)	0.50-1.00 (BH)
Mn	3.20-49.9 (BS)	–	5.37-32.7 (BS)	7.40-2,651.0 (BS)	–
Ni	3.50-5.30 (BS)	–	–	<LD-6.50 (BS)	–
Pb	<LD-0.60 (BH) 0.74-10.7 (BS)	24.4-144.0 (BS)	–	<LD-2.70 (BS)	0.50-1.00 (BH)
Se	0.17-0.28 (BH) 3.77-23.1 (BS)	–	–	0.48-18.4 (BS)	–
Zn	8.00-30.8 (BH) 34.5-1,876.9 (BS)	75.5-326.0 (BS)	52.5-482.7 (BS)	20.0-284.0 (BS)	–
Área ^a	3, 4, 6, 7	5	4 y 7	1, 2, 4 y 7	
Ref ^b	B, E, F, G, H	C	E, H	A, C, E, F, H	

^a Áreas de estudio: (1) Delta del Río Colorado; (2) Costas de El Choyudo y Puerto Peñasco; (3) Golfo de Santa Clara; (4) Laguna El Tóbari; (5) Costas de Puerto Peñasco, Puerto Libertad y Guaymas; (6) Esteros Morúa, Santa Cruz y Santa Bárbara; 7). Bahía Kino.

^b Referencias: (A) García-Hernández et al. (2007); (B) Cadena-Cárdenas et al. (2009); (C) García-Hernández et al. (2013b); (D) García-Hernández et al. (2015); (E) García-Hernández et al. (2018); (F) García-Rico y Tejeda-Valenzuela (2020); (G) García-Molina et al. (2021); (H). Murillo-Castillo et al. (2022).

Discusión

Las concentraciones de As, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en sedimentos de diversos ecosistemas de Sonora (Cuadro 1) fueron mayores a los valores de efecto adverso (Nivel Umbral de Efecto, TEL por sus siglas en inglés; y Nivel de Efecto Probable, PEL por sus siglas en inglés) reportados por MacDonalds et al. (1996). Ecosistemas como el delta del Río Colorado y la laguna El Tóbari son considerados como impactados por metal(oid)es, asociados a actividades agrícolas, acuícolas y descargas urbanas (García-Hernández et al., 2013; Jara-Marini et al., 2013). También, las concentraciones de Cd, Mn y

Pb fueron altas en la Bahía Bacochibampo, aledaña a Guaymas, aunque solo Cd fue mayor al TEL. Esta ciudad es impactada por actividades antropogénicas como las descargas urbanas y la generación de electricidad (García-Rico et al., 2003). En todos los estudios con sedimentos, los ecosistemas estudiados fueron considerados como moderadamente impactados por metal(oid)es resultado de diversas actividades humanas.

En la fracción fina de los suelos colectados en la zona costera de Hermosillo (Bracamonte-Terán et al., 2023), los valores de As y Pb fueron mayores a los valores TEL y PEL (MacDonalds et al., 1996), lo que implica que pueden ocurrir efectos adversos cuando son inhalados por el contenido de estos elementos, aunado a los efectos adversos que las propias partículas pueden provocar en el tracto respiratorio. Estos dos elementos están asociados a enfermedades, como diferentes tipos de cáncer, afectaciones al sistema respiratorio y al sistema cognitivo en niños preescolares (Bracamonte-Terán et al., 2023).

En cuanto a los organismos marinos estudiados, todas las especies estudiadas mostraron tener potencial para ser usados como biomonitores, ya que acumularon cantidades relativamente altas de metal(oid)es. En particular, los peces son viables para este propósito, considerando que en las áreas de estudio existen muchas especies de esos organismos con diferentes características biológicas, que pueden ser estudiados en varios tipos de ecosistemas acuáticos de la región.

Los isópodos mostraron ser acumuladores de Cd, por lo que resultan ser un buen organismo biomonitor de la contaminación por Cd en ambientes costeros. Sin embargo, una limitación es que su distribución no es amplia en todos los ecosistemas costeros, por lo que frecuentemente se tienen que utilizar otros organismos con otras características similares (García-Hernández et al., 2013).

Los moluscos y peces mostraron ser acumuladores de Hg, lo que indica que pueden ser usados para biomonitoreo de la exposición de ese elemento. Sin embargo, es importante destacar que los moluscos son de amplio consumo por la población en general, lo que implica posibles riesgos al consumidor, considerando los valores establecidos en la norma mexicana (NOM 242 SSA1 2009). El Hg es considerado altamente tóxico, dado que en los tejidos de los organismos marinos predominan las formas químicas orgánicas, que

son las especies más móviles y disponibles para interferir en las actividades metabólicas en los diferentes tejidos y, por ende, causar efectos adversos en la salud (García-Hernández et al., 2018). En relación con este elemento, también se encontró que los moluscos y peces son acumuladores de selenio, elemento implicado como antagonista durante la detoxificación de Hg. Esto puede tener un efecto contra la posible toxicidad de las especies orgánicas de Hg, ya que se ha documentado que relaciones molares Hg: Se > 1 implican que se actúa contrarrestando los efectos tóxicos del Hg, lo que disminuye significativamente los riesgos a la salud (Ralston et al., 2016).

Los peces mostraron acumular concentraciones consideradas altas de Mn. La norma mexicana (NOM 242 SSA1 2009) no establece límites de este elemento en organismos marinos. Sin embargo, se ha demostrado que el consumo de organismos contaminados con este elemento tiene implicaciones toxicológicas, ya que es considerado un elemento neurotóxico para infantes en desarrollo, por lo que puede ser significativa la exposición en ese sector de la población por el consumo de peces. Esto es cierto también por el consumo de organismos contaminados con Hg, donde que se ha documentado un alto riesgo para la salud por parte de grupos vulnerables como los niños y las mujeres embarazadas (García-Hernández et al., 2018). La implicación en las determinaciones de los riesgos a la salud por la exposición de metal(oid)es debido al consumo de organismos es que hay una alta probabilidad de que se presenten efectos adversos para la salud a diferentes niveles; desde los leves (como alergias) hasta los graves (como el cáncer) (Ralston et al., 2016; García-Hernández et al., 2018). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO 2011), se recomienda un consumo semanal de pescado de 2-3 veces, basado en las propiedades alimenticias de este alimento (por ej. el contenido de ácidos grasos omega-3). Sin embargo, basado en estudios recientes, se adecuó la recomendación de las especies que se pueden consumir con más frecuencia, bajando el consumo de peces que son depredadores topos en la trama alimenticia porque poseen altos contenidos de contaminantes, como metal(oid)es y pesticidas (Ralston et al., 2016).

Una cuestión ampliamente discutida por varios autores (García-Hernández et al., 2018) es el hecho de que los niveles de metal(oid)es que se detectan en muchos organismos no necesariamente son indicativos del grado de exposición a estos contaminantes, debido a que la acumulación de estos

elementos depende de varios factores. Un organismo acumulador de metal(oid)es tiene tasas de eliminación bajas y esto no implica que son acumuladores de todos estos elementos por factores como la salinidad, talla, y variaciones intraespecie; hay organismos que son acumuladores de Cd, Cr, Se, y Zn, pero no de otros elementos como la plata. Es decir, en los patrones de la acumulación de estos elementos en organismos acuáticos intervienen tanto factores fisiológicos como bioquímicos, así como la geoquímica propia de dichos elementos (García-Hernández et al., 2018; Murillo-Castillo et al., 2022). Entonces, lo que se busca con los estudios de biomonitordeo es encontrar un organismo que cumpla con el requisito de ser acumulador de metal(oid)es, que sea de amplia distribución y abundante en los ambientes, y que ocupe un estrato trófico que permita evaluar la acumulación, pero también la posible transferencia de esos elementos a niveles tróficos mayores (García-Hernández et al., 2018).

Por otro lado, en estudios sobre el consumo de algunas especies marinas en áreas costeras de Sonora se demostró que las concentraciones de algunos metal(oid)es (como Hg, Cr y Pb) encontradas en organismos para consumo humano son de riesgo para la salud de los consumidores (NOM 242 SSA1 2009; García-Hernández et al., 2018; Murillo-Castillo et al., 2022). Este riesgo fue mayor en sectores vulnerables de la población, como son los niños y las mujeres embarazadas (García-Hernández et al., 2018).

Conclusiones

Este es un trabajo que recopila información de publicaciones que los autores han reportado en estudios sobre ecosistemas costeros de Sonora. Las concentraciones de metal(oid)es en las diferentes matrices ambientales indican impactos adversos en los ecosistemas costeros de Sonora. Los niveles de estos elementos en los suelos (incluida la fracción fina) y sedimentos indican que hay riesgos a la salud tanto de los organismos propios de tales ecosistemas como de las personas que son expuestos a ellos por medio de diferentes vías. Los contenidos de estos contaminantes se reflejaron en los niveles encontrados en los organismos, que los acumulan en cantidades que representan riesgos ecológicos y para la salud de los consumidores; tales riesgos

son mayores en sectores vulnerables de la población, como los niños y las mujeres embarazadas. Esto es clave para proponer cambios en los patrones de consumo de especies acuáticas basados no solo en los beneficios nutricios sino también en los riesgos para la salud debido a la presencia de contaminantes, por lo que se debe buscar la seguridad alimentaria al disminuirlos. También es necesario evaluar los riesgos ocasionados por la exposición de elementos como Mn y Pb, y por la toxicidad que implica su exposición. Además, se debe evaluar la exposición a metal(oid)es por polvos en regiones rurales, en las que esta vía puede representar altos niveles de exposición y, por lo tanto, ocasionar riesgos a la salud en esos sectores de la población.

Referencias

- Bracamonte-Terán, J. A., D., Meza-Figueroa, L., García-Rico, B., Schiavo, M. M., Meza-Montenegro y A. I. Valenzuela-Quintanar. (2023). Agricultural abandoned lands as emission sources of dust containing metals and pesticides in the Sonora-Arizona Desert. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1496. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12086-9>
- Cadena-Cárdenas, I., L., Méndez-Rodríguez, T., Zenteno-Savín, J., García-Hernández, y B. Acosta-Vargas. (2009). Heavy metal levels in marine mollusks from areas with, or without, mining activities along the Gulf of California, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 57, 96-102. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9236-0>
- FAO/WHO. (2011). Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. Fisheries and Aquaculture Report No. 978. <http://www.fao.org/docrep/014/ba0136e/ba0136e00.pdf>
- García-Hernández, J., L., Cadena-Cárdenas, M., Betancourt-Lozano, L. M., García- de la Parra, L., García-Rico, y F. Márquez-Farías. (2007). Total mercury content found in edible tissues of top predator fish from the Gulf of California, Mexico. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 89, 507-522. <https://doi.org/10.1080/02772240601165594>
- García-Hernández, J., E. P., Glenn, y K. Flessa. (2013a). Identification of chemicals of potential concern (COPECs) in anthropogenic wetlands of the Colorado River delta. *Ecological Engineering*, 59, 52-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.045>
- García-Hernández, J., L. A., Hurtado, G., Leyva-García, A., Guido-Moreno, D., Aguilera-Márquez, V., Mazzei y M. Ferrante. (2013b). Isopods of the genus *Ligia* as potential biomonitors of trace metals from the Gulf of California and the Pacific coast of the Baja California peninsula. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 177-185, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.002>

- García-Hernández, J., M. I., Ortega-Vélez, A. D., Contreras-Paniagua, D., Aguilera-Márquez, G., Leyva-García y J. Torre. (2018). Mercury concentrations in seafood and the associated risk in women with high fish consumption from coastal villages of Sonora, Mexico. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 367- 377. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.029>
- García-Rico L., y L. Tejeda-Valenzuela. (2020). Metal concentrations in oysters *Crassostrea gigas* cultured in the Gulf of California and risk assessment to human health. *Exposure and Health*, 12, 33-39. <https://doi.org/10.1007/s12403-018-0281-2>
- Jara-Marini M. E., J. N., Tapia-Alcaraz, J. A., Dumer-Gutiérrez, L., García-Rico, J., García-Hernández y F. Páez-Osuna. (2013). Distribution and accumulation of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in the surface sediments of El Tobari Lagoon, central-East Gulf of California: An ecosystem associated with agriculture and aquaculture activities. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48, 1842-1851. <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2013.823341>
- MacDonald D. D., Carr R. S., Calder F. D., Long E. R., Ingersoll C. G. (1996). Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5, 253-278.
- Molina-García A., García-Hernández J., Soto-Jiménez M. F., Páez-Osuna F., Jara-Marini M. E. (2021). Mercury and selenium biomagnification in a coastal food web from the Gulf of California influenced by agriculture and shrimp aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*. 28:56175-56187. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14524-y>
- Murillo-Castillo, K. D., T., Quizán-Plata, J. C., Peralta-Altamirano, M. A. G., Corella-Madueño, y M. E. Jara-Marini. (2022). Estimation of metal concentrations in marine biota and associated health risk assessment for inhabitants of a coastal region in Northwestern Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 466-482. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10083-y>
- NOM 242-SSA1. (2009). Norma Oficial Mexicana sobre productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. 120 p.
- Ochoa-Valenzuela, L. E., A., Gómez-Álvarez, L., García-Rico, y A. I. Villalba-Atondo. (2009). Distribution of heavy metals in surface sediments of the Bacochibampo Bay, Sonora, Mexico. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 21, 211-218. <https://doi.org/10.3184/095422909X12548393083284>
- Ralston, N. V., C. R., Ralston, y L. J. Raymond. (2016). Selenium health benefit values: updated criteria for mercury risk assessments. *Biological Trace Element Research*, 171(2), 262-269. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0516-z>

Tema 3

SISTEMAS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES

9. Manejo integral para la producción de maíz sustentable en el Alto Mezquital, Hidalgo



ROSINA CABRERA RUIZ*

VÍCTOR MANUEL GONZÁLEZ-MENDOZA**

JUAN PABLO PÉREZ-CAMARILLO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.09>

Resumen

En el Alto Mezquital de Hidalgo, los productores que establecen el cultivo de maíz en condiciones de temporal y de riego se enfrentan a la presencia de importantes problemas fitosanitarios. Dentro de estos problemas destacan la incidencia de *Spodoptera frugiperda* y la pudrición de la mazorca causada, principalmente, por el hongo fitopatógeno *Fusarium* spp. Esto representa una amenaza para la producción porque reduce los rendimientos, el valor nutricional del grano y puede inducir el desarrollo de micotoxinas, que suponen un riesgo para la salud tanto animal como humana. Es importante destacar que los productores de la región utilizan plaguicidas para minimizar el daño causado por plagas y enfermedades en el cultivo de maíz. En este contexto, es imprescindible la búsqueda de estrategias sustentables para abordar los problemas productivos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la aplicación de un consorcio de bacterias benéficas nativas para el manejo de plagas en maíz, así como generar un plan de manejo integral

* Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Investigadora por México SECIHTI adscrita a la Subsede Hidalgo del CIAD, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9653-9806> ; correspondencia: rosina.cabrera@ciad.mx

** Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0082-9954>

*** Maestro en Ciencias con Especialidad en Edafología por el Colegio de Posgraduados, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6656-9035>

dirigido a la producción de subsistencia en el Alto Mezquital, Hidalgo, con el fin de impactar en la disminución progresiva del uso de plaguicidas tóxicos. La evaluación de las bacterias nativas fue realizada directamente en campo mediante el establecimiento de una parcela experimental en el Ejido La Florida, municipio de Cardonal. La estrategia evaluada permitió controlar el daño por *S. frugiperda* en la etapa temprana del cultivo de maíz en un 50% y mantener la pudrición de la mazorca en un 7%, mientras que el inóculo con bacterias nativas permitió incrementar la producción de grano un 19.5%. Los resultados permitieron diseñar un plan de manejo integral para el cultivo de maíz. El conocimiento transferido mediante el modelo de escuela de campo permite desarrollar capacidades y proporcionar acompañamiento técnico a los productores de subsistencia del Alto Mezquital.

Palabras clave: *agricultura, biocontrol, fitopatógenos.*

Introducción

La agricultura intensiva, también conocida como convencional o industrial, está enfocada en la máxima producción y los máximos rendimientos de una especie en particular, localizada en un área de cultivo limitada (monocultivo). Este tipo de agricultura se caracteriza por el alto consumo de insumos agrícolas. Por ejemplo, los plaguicidas son utilizados de manera desmedida para el control de plagas y enfermedades con el objetivo de garantizar el manejo del cultivo. Las prácticas agrícolas intensivas surgieron durante la revolución verde, entre 1940 y 1970, como un modelo para incrementar la producción de alimentos a nivel mundial. Si bien las actividades agrícolas intensivas han permitido la producción de alimento, estas han provocado un desequilibrio en los sistemas de producción, evidenciando una disminución de la diversidad microbiana benéfica en el suelo (Lee et al., 2020). En contraste con las prácticas agrícolas intensivas, la agricultura climáticamente inteligente, la intensificación sustentable y la agroecología, han surgido como modelos de producción sustentables (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2011).

La milpa (del náhuatl *milpan*, *milli* “parcela sembrada” y *pan* “encima de”) es un ejemplo de producción sustentable que consiste en un sistema de policultivo, donde los maíces nativos crecen asociados a especies como el frijol, la calabaza, el tomate, el chile, árboles frutales y/o plantas silvestres, los cuales son cultivados con la mínima labranza del suelo; de esta manera, la milpa constituye un espacio dinámico de recursos genéticos (Aguirre-von-Wobeser et al., 2018; Cabrera et al., 2020). Los productores de subsistencia que practican el modelo de la milpa mantienen esta diversidad inter e intra-específica como estrategias para enfrentar los cambios ambientales y las necesidades económicas actuales. Las características de este ecosistema agrícola permiten que sea considerado una alternativa para el descubrimiento de nuevas cepas bacterianas con capacidad metabólicas, benéficas para el establecimiento de estrategias sustentables como el control biológico de fitopatógenos, lo cual es una alternativa viable para la disminución progresiva del uso de agrotóxicos que provocan la contaminación de los ecosistemas.

El Valle del Mezquital en Hidalgo se considera una región de alto potencial productivo, por lo que se le ha asignado el nombre de “El Granero del estado de Hidalgo”. En esta región se practica tanto la agricultura de riego como la de temporal. Particularmente, el Alto Mezquital representa la subregión del Valle del Mezquital en donde la agricultura de temporal predomina y se caracteriza por ser practicada por pequeños productores de subsistencia. Los productores que establecen el cultivo de maíz se enfrentan a la presencia de importantes problemas en su producción, como la incidencia de pudrición del maíz ocasionada por *Fusarium* (Pérez-Camarillo et al., 2018; Cabrera et al., 2020). El problema de pudrición puede ocurrir en diferentes etapas: (1) en la planta, cuando la raíz presenta algún daño físico; (2) cuando el tallo es perforado por un insecto barrenador (*Diatraea* spp.); (3) cuando el grano es dañado por el gusano del maíz (*Helicoverpa zea*) o por el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y, (4) cuando la mazorca tiene problemas de cobertura. Para minimizar el daño de pudrición, los productores utilizan semillas tratadas con fungicidas. Además, estos plaguicidas se aplican durante el cultivo para controlar las plagas del suelo, mitigando así la pudrición de las raíces; por ejemplo, uno de ellos es el insecticida diclorodifeniltricloroetano (DDT), que ocasiona un impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente (Kabasenche et al., 2014).

En este contexto, actualmente existe la imperante necesidad de generar estrategias para el manejo sustentable del cultivo de maíz, por lo que es imprescindible buscar alternativas agrícolas que aborden los problemas productivos, de acuerdo con las condiciones socioculturales y económicas de cada región. En este sentido, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar una estrategia basada en el uso de bacterias nativas de suelos de milpa para el manejo de plagas en maíz, así como generar un plan de manejo integral dirigido a la producción de subsistencia de maíz en el Alto Mezquital, Hidalgo, que impacte en la disminución progresiva del uso de plaguicidas tóxicos.

Métodos

Descripción del territorio

El Valle del Mezquital es la principal zona productiva de Hidalgo. En esta región se presentan problemas fitosanitarios, entre los que destaca la pudrición de la raíz, el tallo y la mazorca ocasionada por *Fusarium* spp. Además, se presenta la incidencia del gusano cogollero. El estudio se realizó en el municipio de Cardonal, dentro de la subregión Alto Mezquital en el Valle del Mezquital, que se caracteriza por una agricultura de subsistencia y temporal.

Cepas bacterianas

Para la conformación del consorcio microbiano se seleccionaron bacterias nativas de los suelos destinados al cultivo de maíz de la región, las cuales presentan la capacidad de antagonizar al hongo fitopatógeno *Fusarium* (Palafox-Félix, 2019). Para esto, la selección se realizó a partir de una colección microbiana obtenida, previamente, de suelos destinados al cultivo de milpa del Alto Mezquital, la cual se encuentra depositada en el Cepario de Aislados Ambientales del CIAD-Hidalgo (Palafox-Félix, 2019). De acuerdo con las condiciones de crecimiento, las bacterias fueron producidas en cultivo líquido, utilizando un medio nutritivo de pH 7.0 a 25 ± 2 °C y 180 r.p.m.

Evaluación en campo

Se realizaron evaluaciones en campo para determinar la capacidad de control de fitopatógenos por parte del consorcio bacteriano. La selección de los tratamientos a evaluar se realizó a partir de resultados de ensayos realizados a nivel de laboratorio, donde *Bacillus pumilus* BX3 y *B. pumilus* BX3 + *Acinetobacter* spp. BX4, mostraron resultados positivos para el desarrollo de las plantas de maíz (datos no publicados). Para esto, se contempló como unidad experimental una parcela localizada en el Ejido La Florida, municipio de Cardonal, en el Alto Mezquital. Los tratamientos utilizados para la evaluación en campo fueron: tratamiento 1: cepa Bx3 (*Bacillus pumilus*) y tratamiento 2: cepa Bx3 (*Bacillus pumilus*) + cepa Bx4 (*Acinetobacter* spp.). La inoculación de las bacterias se realizó mediante aspersión en la base de la planta de maíz y sobre el follaje (10^5 Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/mL). Antes de la aplicación de los tratamientos, se inoculó una suspensión de esporas de 10^5 UFC/mL de *Bacillus thuringiensis* (Bt) en el cogollo de la planta de maíz para contrarrestar el daño ocasionado por el gusano cogollero. En el diseño experimental se estableció un cultivo control que correspondió a plantas sin inóculo bacteriano. Al finalizar la etapa de cultivo (cosecha), se evaluó el efecto de los tratamientos sobre la aparición de síntomas de la enfermedad y el rendimiento de la producción.

Para determinar el rendimiento del grano de maíz ajustado al 14% de humedad en la parcela se consideraron al azar tres sitios de muestreo o repeticiones. Cada sitio consistió en un segmento de surco de 10 m de largo y se tomaron al azar cinco mazorcas, sobre las cuales se realizó la determinación mediante la siguiente ecuación 1 (Pérez-Camarillo et al., 2021):

$$R = (X) (T)(FC14)(FDG) \left(\frac{100}{D} \right)$$

Donde: X = peso promedio de cinco mazorcas (kg), T = número de total de mazorcas en el tramo de 10 metros, PHG = porcentaje de humedad del grano al momento del muestreo, FC14 = factor de conversión para estandarizar el rendimiento al 14% de humedad, $FC14 = (100 - PHG)/86$, P5Mz = peso de las cinco mazorcas (Grano + olote), PG5Mz = peso del

grano sin olote de las cinco mazorcas, $FDG = \text{factor de desgranado o relación grano - olote}$, $FDG = PG5Mz/P5Mz$, $D = \text{ancho de surco (m)}$, $1000/D = \text{factor de conversión a kg/ha}$, $R = \text{rendimiento de grano (kg/ha) estandarizado al 14\% de humedad}$.

Mecanismo de transferencia del conocimiento

Mediante un diagnóstico participativo con sesiones comunitarias y entrevistas realizadas directamente a los productores se identificaron las características productivas del área de estudio (FAO, s.f.). Se generó una estrategia para el manejo integral del cultivo de maíz en el Alto Mezquital, que podrá adaptarse a otras comunidades dentro de la región. La transferencia del conocimiento generado se realizó mediante el modelo de escuela de campo (ECA) para desarrollar capacidades y proporcionar un acompañamiento técnico a los productores (FAO, 2011).

Resultados

Diálogo de saberes con los productores

Las actividades con los productores de maíz se iniciaron con reuniones informativas con los representantes de grupos. El diagnóstico rápido participativo generó información sobre las características de la producción agrícola del área de estudio. En el municipio de Cardonal, la población casi en su totalidad es indígena ptomí, hablantes de la lengua hñähñu. La región tiene condiciones de vida que han sido históricamente de alta marginación y de rezago social medio, sobre todo, por la particular geografía que dificulta la productividad agrícola (suelos calcáreos con pH alcalino).

En la región de estudio se practica una agricultura de temporal, donde el cultivo de maíz, bajo el sistema de milpa, es una de las principales actividades productivas (Figura 9.1). La precipitación pluvial, que es escasa, es el elemento determinante que marca el inicio del ciclo agrícola. Esta región cuenta con 4,925 a 7,461 unidades de producción con una superficie prome-

dio de 3.9 ha por productor. Se practica la agricultura de subsistencia para el consumo familiar y la alimentación para el ganado, se comercializa maguey y sus derivados como pulque, penca, fibra, aguamiel. Sin embargo, los ingresos que se perciben son bajos, lo que limita la adopción de innovaciones en sus parcelas.

Figura 9.1. Parcela productiva característica del Alto Mezquital, Hidalgo, que corresponde a un sistema simplificado de la milpa. El cultivo de maíz nativo puede encontrarse asociado al frijol, haba y maguey, entre otros

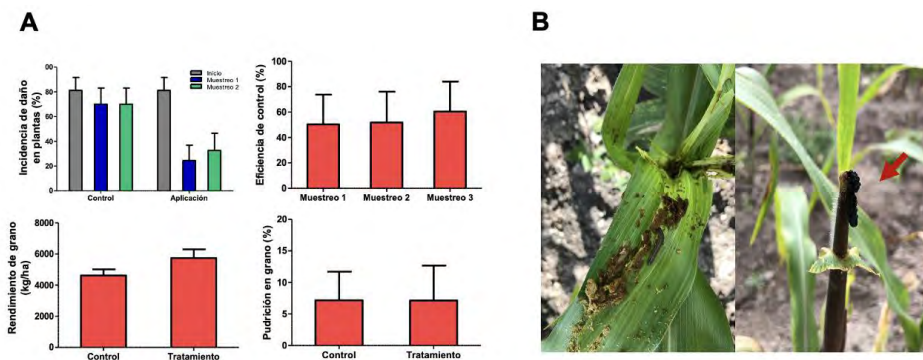


Fuente: fotografía inédita tomada por Rosina Cabrera.

Evaluación de las bacterias benéficas en campo

De acuerdo con el diagnóstico realizado directamente en la parcela, en la primera etapa del cultivo las plantas presentaron daños considerables por el gusano cogollero. Por lo que se realizó una primera aplicación de *Bacillus thuringiensis* (Bt), utilizando una suspensión de esporas aplicada directamente en el cogollo de la planta. Posteriormente (un mes después de la aplicación de Bt), se realizaron las siguientes aplicaciones de los tratamientos con las cepas BX3 y BX4. En la Figura 9.2 se presentan los resultados obtenidos.

Figura 9.2. Impacto de la aplicación de bacterias benéficas nativas del suelo de milpa en el cultivo de maíz. A: Descripción de la incidencia de daño ocasionado por el gusano cogollero, la eficiencia de control, el rendimiento de grano y la incidencia de pudrición de grano. B: Plantas de cultivo con presencia de daño por el gusano cogollero (panel izquierdo) y cadáver de gusano localizado en el cultivo después de la aplicación (panel derecho)



Fotografía tomada por Rosina Cabrera.

Fuente: elaboración propia.

La incidencia de daño en el cultivo ocasionado por el gusano cogollero antes de la aplicación fue de 81%. En la planta de maíz, el gusano cogollero se alimenta del follaje y, como larva, penetra el cogollo de la planta, por lo tanto, la alta incidencia encontrada representa un alto riesgo de pérdida del cultivo desde etapas fenológicas tempranas del maíz. A los 20 días posteriores a la aplicación de Bt, el daño en las plantas tratadas disminuyó 24.4%, mientras que en las plantas control la incidencia fue de 40%. Si se comparan

las plantas tratadas con las no tratadas, estos datos representan una eficiencia de control promedio de 16.9%.

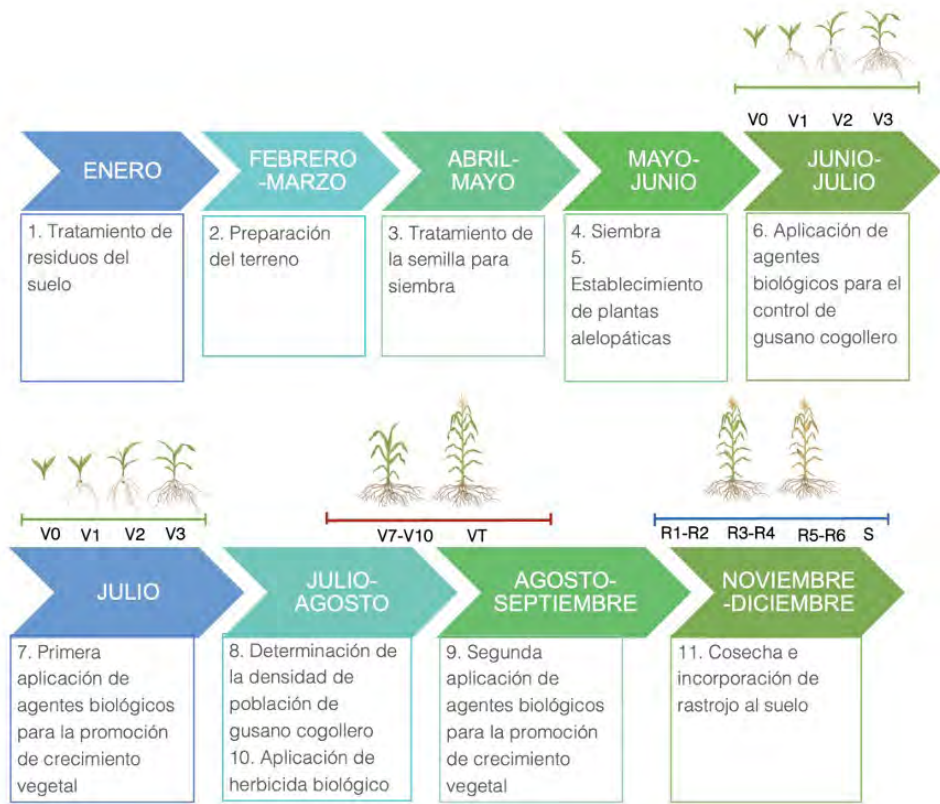
Mientras que la eficiencia de control del tratamiento con respecto al daño observado antes de la aplicación corresponde a un 50.5%. Transcurrido el periodo de un mes después de la aplicación de los tratamientos con las cepas BX3 y BX4, se realizó una segunda evaluación en campo.

Los resultados mostraron que las plantas inoculadas presentaron un porcentaje de daño por *Fusarium* de 35 y 32.5% (plantas cloróticas), respectivamente. En el cultivo control el daño fue de 70% (plantas cloróticas). La eficiencia de la aplicación fue de 46.5 y 50.6% para los tratamientos 1 y 2, respectivamente. Estos resultados indican una recuperación de aproximadamente 50% del cultivo dañado. A la finalización de la evaluación de la estrategia de control biológico, el rendimiento de grano obtenido fue de $5\,742 \pm 554$ kg/ha en el cultivo con tratamiento y de $4\,620 \pm 397$ kg/ha en el cultivo control, lo cual representa un incremento del 19.5% en la producción. La pudrición de la mazorca también fue evaluada en la etapa de finalización, encontrando que tanto las plantas control como las plantas inoculadas presentaron 7% de daño en la mazorca.

Plan de manejo integral para el cultivo de maíz

En el plan de manejo integral se consideraron las prácticas agrícolas de los productores en conjunto con la estrategia de control biológico y otras prácticas agroecológicas (Figura 3). Este plan deberá ser evaluado en los siguientes ciclos de cultivo agrícola para la apropiación del conocimiento por parte de los productores.

Figura 9.3. Plan de manejo integral para el cultivo de maíz en el Alto Mezquital, Hidalgo



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen las etapas a considerar durante el ciclo de cultivo.

Tratamiento de residuos y preparación del terreno

Fusarium se desarrolla saprófitamente sobre el rastrojo que permanece en el suelo después de la cosecha, donde produce macroconidios que son diseminados por aspersión en episodios de lluvia. Cuando existen temperaturas cálidas y alta humedad, el hongo forma peritecios con ascosporas en su interior que son diseminadas por el aire. Las macroconidias y las ascosporas se depositan sobre las espigas florecientes e ingresan a la planta a través de

las aberturas naturales, como las estomas, donde germinan e inician el proceso de infección. Para evitar este proceso de infección, se propone realizar un tratamiento inicial de los suelos con la cepa Bx3 y Bx4 (10^5 UFC/mL). Para la preparación del terreno se realizarán las prácticas comunes de los productores (roturación o barbecho, rastreo, aplicación de composta, surcado y labores culturales).

Siembra

La siembra del cultivo será realizada con las prácticas agrícolas desarrolladas de forma tradicional por los productores.

Establecimiento de plantas alelopáticas

Se incorporarán plantas alelopáticas alrededor de la parcela, tales como orégano (*Origanum vulgare*), ruda (*Ruda graveolens*) y/o ebo común (*Vicia sativa*).

Aplicación de agentes biológicos para el control del gusano cogollero

Se realizará una aplicación con esporas de Bt (10^7 UFC/mL) mediante aspersión directamente en el cogollo de la planta en los estados fenológicos V1-V3. Como refuerzo, se realizará una segunda aplicación sobre la base de la planta de maíz en la etapa fenológica VT.

Aplicación de bacterias para el control biológico contra Fusarium

Se realizará una primera aplicación con *B. pumilus* Bx3 y *Acinetobacter* Bx4 (10^5 UFC/mL de cada una) sobre la base de la planta de maíz en la etapa fenológica V3.

Determinación de la densidad de población del gusano cogollero

Para determinar la densidad de población del gusano cogollero se instalarán trampas de feromonas en las parcelas. En función de la densidad de pobla-

ción de insectos, se decidió la aplicación de una segunda dosis de Bt, o de algún agente químico de bajo impacto, sólo en el caso de ser necesario.

Incorporación de rastrojo de cosecha al suelo

Como parte de las prácticas agroecológicas, se propone la reincorporación al suelo de los residuos de la cosecha. Esta práctica permitirá contribuir al mantenimiento de la humedad del suelo y limitar el crecimiento de plantas arvenses.

Estrategia de acompañamiento técnico

La transferencia del conocimiento se realizó mediante el modelo de ECA en parcelas demostrativas. Durante la instalación de las ECA se les brindó a los productores participantes: (1) capacitación sobre el plan de manejo integral del cultivo de maíz; (2) aplicaciones de consorcios microbianos para el manejo y control de plagas y enfermedades; (3) incorporación de especies vegetales nativas para el control de arvenses; (4) aplicación de prácticas agroecológicas para el manejo del cultivo y la recuperación de suelos agrícolas. Además, se llevaron a cabo dos talleres para productores de maíz de la región. Los talleres permitieron un intercambio de saberes entre los participantes sobre los efectos que conlleva el uso de plaguicidas en la salud humana y la contaminación del medio ambiente.

Asimismo, se comunicaron las alternativas más sustentables, basadas en el control biológico mediante el uso de microorganismos benéficos nativos del suelo para la sustitución gradual de plaguicidas en la región (Figura 9.4; CIAD, 14 de julio de 2023).

Discusión

La inoculación de plantas de maíz con cepas bacterianas nativas de suelos de milpa del Alto Mezquital, Hidalgo, permitió incrementar la producción de grano un 19.5%. Asimismo, la incidencia de pudrición en la mazorca se mantuvo a la finalización del ciclo de cultivo en 7%. La estrategia evaluada

Figura 9.4. Diálogo de saberes y acompañamiento técnico con los productores de maíz de subsistencia del Alto Mezquital para la adopción del plan de manejo integral del cultivo de maíz mediante el modelo de ECA en parcelas demostrativas



Fuente: fotografías inéditas tomadas por Rosina Cabrera.

en el presente estudio permitió controlar el daño por gusano cogollero en la etapa temprana del cultivo de maíz un 50%. De acuerdo con información expresada por los productores de la región, históricamente la incidencia de plagas en el cultivo ha cambiado, destacando el gusano cogollero y la diabrotica. En el ciclo evaluado, se detectó la presencia de *S. frugiperda* en estos estados del cultivo. Este insecto se alimenta del follaje del maíz y, como larva, penetra el cogollo de las plantas, y es posible detectar su presencia al observar hojas perforadas. Las heridas ocasionadas en la planta son un medio para la proliferación de esporas de hongos fitopatógenos, tales como *Fusarium*, ocasionando la pudrición del grano (Ekenwosu et al., 2021; Harte et al., 2024). Por lo tanto, la disminución de la incidencia de daño ocasionado por el gusano cogollero en la etapa temprana del cultivo sugiere que

la aplicación de Bt contribuyó a disminuir los problemas de pudrición en la mazorca. Asimismo, la aplicación de las bacterias nativas de suelos (*B. pumilus* BX3 y *Acinetobacter* spp. BX4) también contribuyó a prevenir el problema de pudrición, así como al manejo del cultivo, donde se observó una recuperación de las plantas de maíz en la etapa de finalización e, incluso, un incremento de la producción. La generación de conocimiento permitió diseñar una estrategia sustentable basada en el control biológico, que podrá impactar en la disminución progresiva de la aplicación de plaguicidas en la región.

Cabe destacar que la agroecología es un concepto amplio que va más allá de los agroecosistemas por sí mismos. De acuerdo con la FAO, esta se basa en procesos territoriales para dar soluciones contextualizadas a los problemas locales y en las que es fundamental el intercambio de conocimientos entre los investigadores-técnicos y los productores. El trabajo realizado con los pequeños productores de subsistencia del Alto Mezquital se encuentra enmarcado en este esquema agroecológico para la producción.

Conclusiones

La generación de conocimiento permitió desarrollar una estrategia sustentable basada en el control biológico que podrá impactar en la disminución progresiva de plaguicidas en el cultivo de maíz. La transferencia del conocimiento mediante el modelo de ECA está permitiendo desarrollar capacidades y proporcionar un acompañamiento técnico a los productores. Este modelo se plantea como un mecanismo para la adaptación y apropiación del plan de manejo integral del cultivo de maíz por parte de los productores del Alto Mezquital, Hidalgo. Asimismo, permite concientizar a los productores acerca de la importancia de la adopción de estrategias sustentables y agroecológicas, alternas al control químico, tales como el control biológico, que se adapte a las condiciones de la región, a las necesidades de los productores y al cultivo. Uno de los aspectos fundamentales de la vinculación entre productores e investigadores es articular el conocimiento científico con el conocimiento empírico, generando un diálogo de saberes para la definición de las brechas tecnológicas y productivas del cultivo del maíz en la región.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) el apoyo financiero otorgado a través del proyecto 316145.

Referencias

- Aguirre-Von-Wobeser, E., Rocha-Estrada, J., Shapiro, L. R., y M. de la Torre. (2018). Enrichment of Verrucomicrobia, Actinobacteria and Burkholderiales drives selection of bacterial community from soil by maize roots in a traditional milpa agroecosystem, PLoS ONE. 13(12), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208852>.
- Cabrera, R., García-López, H., Aguirre-von-Wobeser, E., Orozco-Avitia, J. A., y A. H. Gutiérrez-Saldaña. (2020). Amycolatopsis BX17: An actinobacterial strain isolated from soil of a traditional milpa agroecosystem with potential biocontrol against Fusarium graminearum. Biological Control, (147). <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104285>.
- CIAD. (14 de julio de 2023). Alternativas para la sustitución de plaguicidas y glifosato en el Alto Mezquital. [Descripción audiovisual]. Facebook. <https://www.facebook.com/ciad.CONAHCYT/videos/203693645969911>
- Ekenwosu J. U., Okorie P. U., y C. Ikpeama. (2021). A review of biopesticide products as ecological alternative against fall armyworm (Spodoptera frugiperda) in Africa. Open Journal of Bioscience Research, 2, 2, <https://doi.org/10.52417/ojbr.v2i2.220>.
- Harte, S. J., Bray, D. P., Nash-Woolley, V. Stevenson, P. C., y G. M. Fernández-Grandon. (2024). Antagonistic and additive effect when combining biopesticides against the fall armyworm, Spodoptera frugiperda. Scientific Reports, 14, 6029 <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56599-w>.
- Kabasenche, W. P., y M. K., Skinner. (2014). DDT, epigenetic harm, and transgenerational environmental justice. Environmental Health, 13, 62. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-62>.
- Lee, S. A., Kim, J. M., Kim, Y., Joa, J-H, Kang, S-S., Ahn, J-H, Kim, M, Song, J., y H-Y Weon. (2020). Different types of agricultural land use drive distinct soil bacterial communities. Scientific Reports, 10, 17418 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74193-8>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (s.f.). El Diagnóstico Participativo. <https://www.fao.org/4/x9996s/x9996s02.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2011). A policy-maker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. <https://www.fao.org/3/i2215e/i2215e00.pdf>.
- Palafox-Félix, S. (2019). Caracterización de bacterias del género Bacillus aisladas de

suelos de milpa del Alto Mezquital, Hidalgo, con capacidad antagónica contra *Fusarium* [Tesis de licenciatura, Universidad de Sonora]. <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/2111>

Pérez-Camarillo, J. P. (2001). Metodología para la evaluación de cosecha de maíz en parcelas comerciales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Pérez-Camarillo, J. P., Rivas-Valencia, P., Martínez-Ruiz, E., Cano-Salgado, A., y K. Olvera-Olvera. (2018). Identificación y distribución espacial de *Fusarium* spp. en maíz del Valle de Mezquital, Hidalgo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

10. Red de conocimiento sobre tecnologías acuícolas sostenibles. Un análisis a partir del cultivo de camarón en el norte de Sinaloa



JORGE INÉS LEÓN BALDERRAMA*

JOSÉ CRISÓFORO CARRAZCO ESCALANTE**

YASSER ENRIQUE MONSIVAIS NERIA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.10>

Resumen

El presente capítulo analiza la configuración y dinámica de la red de conocimiento sobre tecnologías acuícolas sostenibles (TAS) en el cultivo de camarón en el municipio de Ahome, Sinaloa. La acuicultura, que recientemente superó a la pesca de captura como principal fuente de animales acuáticos, enfrenta importantes retos derivados de sus impactos ambientales, sociales y sanitarios. En este contexto, las TAS —incluidas las innovaciones en mejoramiento genético, salud y control de enfermedades, nutrición y alimentación, así como sistemas productivos de bajo impacto— se reconocen como estrategias fundamentales para avanzar hacia una acuicultura más sostenible. A través de la aplicación de una encuesta a una muestra de 58 granjas camaronícolas y el análisis de redes sociales se identificaron 115 actores y 493 vínculos que constituyen la red regional. Los resultados evidencian una estructura centralizada en la red, ya que existe una gran concentración de los flujos de conocimiento en el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa (CESASIN) y la asociación civil Acuacultores de Ahome; sin embar-

* Doctor en Ciencias Sociales. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5550-6162> ; correspondencia: jleon@ciad.mx

** Doctor en Ciencias. Profesor-investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9979-4079>

*** Doctorante en Desarrollo Regional en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5777-1121>.

go, las universidades y centros públicos de investigación (UYCPI), como CIAD y CIBNOR, destacan por su creciente importancia en la transferencia de conocimiento especializado y en la difusión de tecnologías emergentes, en particular la genómica, el diagnóstico de enfermedades y sistemas productivos con menor huella ambiental. El análisis evidencia que el tamaño y la antigüedad de las granjas guardan relación con los nodos más centrales de la red, lo que se traduce en ventajas para poder acceder a las innovaciones, por el contrario, las pequeñas granjas mantienen escasos vínculos y poco acceso a información estratégica. Se concluye que fortalecer la conectividad, diversificar los enlaces y consolidar el papel de asociaciones y UYCPI es esencial para ampliar la difusión de las TAS y potenciar la sostenibilidad de la camaricultura en el norte de Sinaloa.

Palabras clave: *tecnologías acuícolas sostenibles, redes de conocimiento, camaricultura.*

Introducción

La acuicultura ha cobrado cada vez una mayor importancia en el suministro mundial de alimentos y ha constituido un componente clave de la seguridad alimentaria (Gephart et al., 2021) y del bienestar de poblaciones rurales como generadora de empleos (Ray et al., 2021). La actividad ha crecido aceleradamente y se ha intensificado en todo el mundo en las últimas dos décadas. En 2022, y por primera vez en la historia, la acuicultura superó a la pesca de captura como principal productora de animales acuáticos. La producción acuícola mundial alcanzó la cifra sin precedentes de 130.9 millones de toneladas, de las cuales 94,4 millones de toneladas corresponden a animales acuáticos, es decir, el 51% de la producción total de animales acuáticos (FAO 2024). El auge de la acuicultura ha ocurrido especialmente en Asia, donde, en 2020, concentró el 70% de la producción. En el caso del cultivo de camarón, la industria se concentra en dos regiones principales, Asia y América Latina (Garlock et al., 2020; Villarreal, 2023).

El crecimiento acelerado de la acuicultura observado en las últimas décadas no ha estado exento de repercusiones ambientales, sociales y eco-

nómicas negativas (Naylor, 2021). La expansión del cultivo de camarón ha producido externalidades ambientales negativas como la destrucción de los manglares (Vázquez-Vera, 2022), la contaminación de la tierra y los recursos hídricos locales (Sonone et al., 2020), y el endeudamiento y el acceso reducido a la tierra para los pequeños productores (Boyd et al., 2021). Los impactos negativos se extienden más allá de los lugares de producción, ya que los sistemas de producción intensiva dependen de la harina y los aceites de pescado utilizados en los alimentos para especies de cultivo (Malcorps et al., 2019). Con frecuencia, el sector se ha enfrentado a brotes de enfermedades que han ocasionado caídas significativas en la producción, como el virus de la mancha blanca, el síndrome de muerte temprana, el síndrome de Taura y la vibriosis, como las principales. En 2013, la producción de camarón de cultivo disminuyó más de 50% debido a las altas tasas de mortalidad ocasionadas por el síndrome de la muerte temprana en particular. Los productores, en su mayoría pequeños agricultores, luchan constantemente por adaptarse a nuevas condiciones de enfermedades. Al tiempo que responden a las demandas de calidad de los consumidores, son presionados por el gobierno local para cumplir con los requerimientos de sanidad e inocuidad acuícola, y compiten con el mercado de importación de camarón de países con mayor desarrollo (Joffre, Poortvliet y Klerkx, 2019).

Si bien se han logrado avances en la transición a sistemas más sostenibles, como, por ejemplo, la adopción de estándares de calidad para el desempeño ambiental y social por parte de los productores (Rector et al., 2023), sigue siendo un desafío desarrollar un sector más sostenible, eficiente y socialmente inclusivo. Particularmente, han ganado terreno los llamados a poner mayor esfuerzo en la implementación de una estrategia de “intensificación sostenible” del sector acuícola (Campanati et al., 2022; Boyd et al., 2020).

La innovación y el avance tecnológico han sido contemplados por diversos organismos como motores clave de la transición hacia la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios, especialmente en el caso de la acuicultura (Henriksson et al., 2021). De acuerdo a especialistas (Waite et al., 2014; Boyd et al., 2020; Yue y Shen, 2022; Villarreal, 2023; Bohara et al., 2024), las tecnologías novedosas y emergentes que pueden contribuir a mejorar la sostenibilidad de la acuicultura (TAS, tecnologías acuícolas sostenibles) se

ubican en cuatro áreas interrelacionadas: (i) crianza y mejoramiento genético; (ii) salud y control de la mortalidad; (iii) nutrición, alimentos y manejo de la alimentación; y, (iv) sistemas acuícolas mejorados y de bajo impacto.

Sin embargo, la difusión de las TAS entre los productores es un proceso que sigue enfrentando serias dificultades y es incipiente. Especialmente los productores pequeños enfrentan una serie de barreras de tipo económico, social, cultural y de información (Ulhaq et al., 2022). Aunque la adopción de las TAS está experimentando un crecimiento en países desarrollados, es aún muy limitada en regiones productoras como el noroeste mexicano, donde se observa que muchos de los acuicultores y extensionistas carecen de información sobre estas tecnologías.

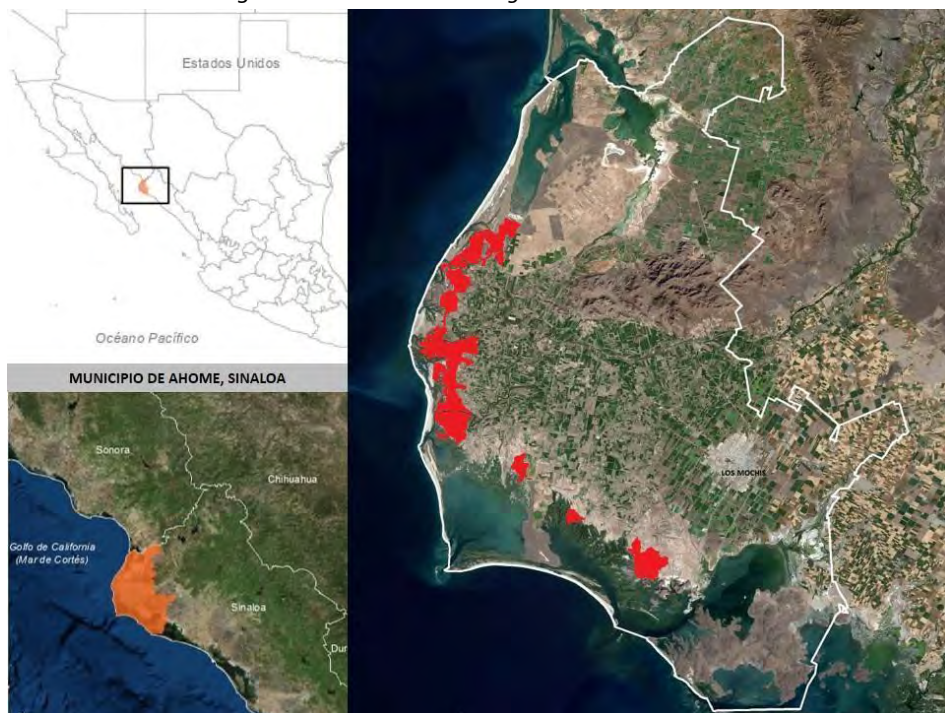
La difusión de las innovaciones se ha estudiado desde múltiples perspectivas y niveles de análisis (Kumar et al., 2018; Ulhaq et al., 2022). Este estudio se basa en la concepción de redes de conocimiento (RC) basadas, a su vez, en la teoría de redes sociales. El enfoque de RC sostiene que las características de las relaciones sociales y las redes que constituyen influyen en las formas mediante las cuales los individuos y los colectivos acceden, transfieren, absorben y aplican el conocimiento (Phelps, 2012). De acuerdo con este enfoque, una RC es un conjunto de actores y relaciones que se centran en un dominio específico de conocimiento (acuacultura, por ejemplo). Las relaciones de los miembros dentro de las RC consisten en comunicación y su recurso es información, conocimiento o experiencia (Mueller, 2006). Bajo esta perspectiva, las interacciones que son objeto de análisis de las RC son los flujos de conocimiento entre los actores, basados en la comunicación. Mueller (2006) sistematiza las propiedades de las RC según sus (1) características estructurales, (2) la naturaleza de los enlaces y (3) el contenido transaccional.

Este capítulo tiene por objetivo conocer cómo se estructura y compone la RC sobre tecnologías acuícolas sostenibles (RC-TAS) en el norte de Sinaloa e identificar sus principales características a partir del cultivo de camarón en el municipio de Ahome, donde destaca el papel de las universidades y centros públicos de investigación (UYCPIS).

Métodos

Ahome es uno de los 20 municipios del estado de Sinaloa, el tercero en importancia económica y puente comercial con el noroeste del país. Está situado en la llanura costera del Pacífico, a la entrada del Golfo de California y en el corazón de una rica región agrícola, el Valle del Fuerte. Es el municipio de mayor aportación a la producción de camarón de cultivo en la entidad, gracias a la vocación para esta actividad, pues cuenta con 120 km de litoral, con bahías, islas, esteros y lagunas (Figura 10.1).

Figura 10.1. Ubicación de la región acuícola de Ahome



Fuente: elaboración propia.

La región cuenta con 11 000 has. disponibles para la producción acuícola, de las cuales se aprovechan alrededor de 8 700, contando con 85 granjas. Administrativamente, en Sinaloa se han establecido 12 regiones acuícolas,

pero Ahome ocupa una posición líder en la producción estatal y nacional de camarón.

La investigación se basa en una encuesta aplicada a una muestra de 58 granjas locales. La encuesta fue aplicada a personal directivo, como propietarios o gerentes. El cuestionario utilizado se diseñó para obtener datos sobre las características de las granjas, como tamaño, antigüedad y sector. Con el fin de contar con datos relacionales, se pidió a los informantes que enumeraran las personas, organizaciones o instituciones que contactan como proveedores de información o asesoramiento sobre avances tecnológicos o técnicos, centrándose en las áreas de mejoramiento genético, control de la mortalidad, nutrición y alimentación animal y sistemas acuícolas de bajo impacto ambiental. Se pidió también informar el sector y la ubicación del contacto. Finalmente, en relación con cada proveedor identificado, se pidió valorar la importancia del contacto, de acuerdo con la frecuencia de los contactos y su aporte a la solución de problemas.

El análisis de la información fue realizado a través de Análisis de Redes Sociales (ARS) y fue apoyado mediante la utilización de los programas Ucinet 6.0 y NetDraw. Este enfoque permite analizar las interacciones entre individuos mediante la configuración de sus estructuras.

Variables y procedimiento de análisis

En este apartado se muestran los principales aspectos y métricas que permiten obtener un análisis descriptivo de identificación de las principales características de la red estudiada (tabla 10.1). Para la obtención de un grafo e indicadores del ARS fue necesario, primero, representar los datos relacionales obtenidos de manera sistematizada para un tratamiento matemático. Para ello, un paso previo fue la elaboración de una matriz de adyacencia. Ésta es una matriz de dimensión $N \times N$, siendo N el número de nodos, y donde aparece un 1 si existe la conexión entre un par de nodos y un 0 en caso contrario. Con una formulación matemática: $A_{ij} = 1$ si existe un enlace que apunta desde el nodo j al nodo i ; $A_{ij} = 0$ si los nodos i y j no están conectados entre sí.

Tabla 10.1. *Parámetros e indicadores del ARS empleados en el estudio y su forma de cálculo*

<i>Parámetro o métrica ARS</i>	<i>Procedimiento para su obtención</i>
<i>Medidas globales de la red</i>	
Tamaño, composición	Se mide por el número total de nodos de identificados, incluye los nodos receptores de información/comunicación, como los emisores.
Topología	Análisis visual del grafo de la red, cualitativo
Grado medio	El grado medio (k) representa el número medio de conexiones que tienen los nodos de un grafo. Se calcula como la suma de los grados de todos los nodos, dividida por el número de nodos. $\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{2L}{N}$
Densidad	La densidad es un indicador que se obtiene del coeficiente entre el número de relaciones existentes y el número de relaciones posibles. Densidad= No. relaciones existentes/ No. relaciones posibles Dónde: Número de relaciones posibles= (N-1)*(N-1) N= número de nodos
<i>Medidas locales de la red</i>	
Centralidad de grado	Este índice se calculó mediante la sumatoria del número de relaciones directas X_{ji} que tiene cada actor en la red. $C. \text{Grado} = \sum_j X_{ji}$
Centralidad de intermediación	Se calcula en base a la distancia más corta entre i y k , en la que reside un actor j , se aplica a siguiente formula: $C. \text{Intermediación} = \sum \frac{g_{jk}(n_i)}{x_{jk}}$ Donde, g_{ik} es el número de la distancia geodésica entre j y k y $g_{ik}(n_i)$ es el número de distancia geodésica al actor i.
Centralidad Bonacich	Se calculó en función de la centralidad de aquellos actores conectados a otro. El índice de BONACICH de un actor se calcula mediante la siguiente fórmula: $C. \text{Bonacich} = \sum_{ij} A_{ij} (\alpha + \beta c_j)$
Fuerza de enlaces	Valor promedio de las valoraciones proporcionadas por los informantes a los reactivos Liker (1: nula...5: muy alta) para <i>frecuencia</i> de los contactos e <i>importancia</i> de la información proporcionada.
Heterogeneidad de enlaces	No. de los distintos giros con los que el nodo tiene contacto (máximo igual a 7).
Contenido transaccional	Análisis cualitativo con base a la información proporcionada por los informantes.

Fuente: elaboración propia, basada en Borgatti et al. (2024) y Wasserman y Faust (1994).

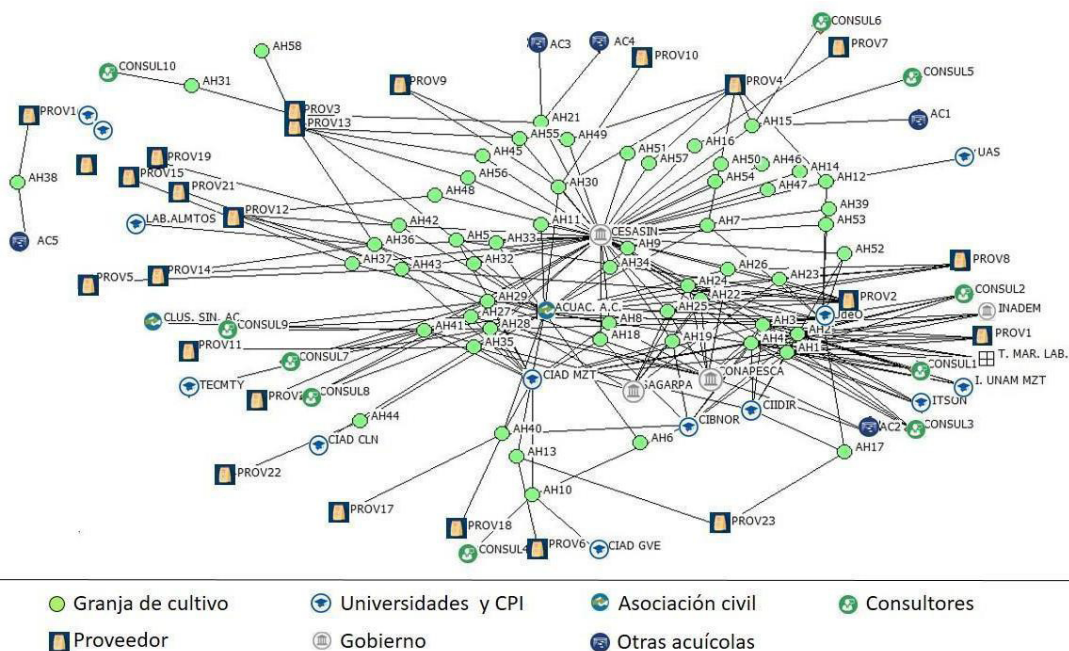
Resultados

Características globales de la RC

A partir de los datos proporcionados por las granjas de cultivo participantes en la encuesta, fue posible conocer características globales de la red. En lo que respecta al tamaño y la composición, se encontró que ésta se integra por 115 nodos y 493 enlaces. Los nodos identificados se componen de 58 granjas, 23 proveedores (alimentos, crías, etc.), 15 UYCPIS, 10 consultorías, 4 organismos gubernamentales, 4 procesadoras y 2 asociaciones civiles. El grado medio en la red fue igual a 4.3, lo que significa que cada nodo tiene 4.3 lazos directos en promedio. La densidad de la red fue de 0.038, lo cual representa un valor bajo de los enlaces existentes respecto a los posibles. Globalmente la red presenta una topología tipo estrella, según puede ser observado en el grafo o sociograma (Figura 10.2). La configuración o estructura de la red visualizada mediante el grafo denota una alta centralización en dos nodos que actúan como fuentes de información o conocimiento de las TAS, lo que representa una concentración de la influencia, relevancia y el liderazgo de estos nodos en el patrón general que tiene la estructuración de los flujos de conocimiento relacionados con la difusión de las mencionadas tecnologías. Casi todos los nodos (empresas) tienen vínculos de transferencia de conocimiento principalmente con 2 nodos centrales: el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa (CESASIN) y la asociación civil Acuicultores de Ahome (ACUAC AC). En una posición secundaria, como nodo central en la red, están algunos UYCPIS y proveedores de insumos. Destaca también la poca integración y posición marginal de más de la mitad de las empresas acuícolas, que tienen entre 1 y 2 enlaces en la red.

Se encontró que la red se extiende más allá de su contexto local y regional, pues incorpora actores ubicados en otras entidades y países. En el caso de los proveedores de alimentos, los 3 más importantes se ubican en Sonora. En el caso de los consultores, 4 se ubican en el extranjero y varios UYCPIS están ubicados en Sonora y uno en los E.U.A.

Figura 10.2. Grafo de la RC-TAS del cultivo de camarón en Ahome



Fuente: elaboración propia.

La relevancia de los distintos actores en la red y las características de los enlaces

Se calcularon indicadores tradicionalmente utilizados en el ARS, como los de posición en la red (centralidad de grado, Bonacich y de intermediación) y las características de los vínculos (fuerza y heterogeneidad). En la tabla 10.2 se muestran los indicadores de centralidad de las granjas por antigüedad, tamaño y sector. Las granjas de antigüedad media tienen centralidades más altas, lo cual indica que este grupo de empresas tiene en promedio un mayor número de contactos mediante los cuales reciben un flujo de información sobre las TAS. Estos contactos se realizan con nodos que poseen pocos vínculos, lo que les confiere poder (C. Bonacich). Los resultados arrojan que las granjas más grandes (+250 empleados) tienen una centralidad más alta que las medianas y las pequeñas.

Mientras que las granjas del sector privado presentan mayor centralidad de grado y de Bonacich, las del sector social obtuvieron valores más altos en la centralidad de intermediación.

Tabla 10.2. *Centralidad de las granjas participantes (valores promedio)*

	<i>Centralidad</i>		
	<i>Grado</i>	<i>Bonacich</i>	<i>Intermediación</i>
Valor promedio	4.3	1145.4	108.7
Antigüedad			
De 1 a 10 años	2.9	906.7	72.7
De 11 a 15 años	5.5	1410.9	130.5
Más de 15 años	3.7	998.5	145.6
No. Empleados			
De 1 a 50	3.5	1025.9	105.4
De 51 a 250	3.6	1032.7	72.6
Más de 250	10.0	2163.0	224.7
Sector social			
Privado	4.3	1178.8	105.4
Social	3.5	936.7	128.9

Fuente: elaboración propia.

La fuerza de los vínculos que establecen las granjas con las fuentes de conocimiento fue evaluada por los mismos informantes, resultando que la mayoría de ellas (98.3%) perciben estos lazos como muy fuertes o medianamente fuertes (tabla 10.3). En lo que respecta a la heterogeneidad de los enlaces, sólo el 15.5% de las granjas posee un conjunto de enlaces altamente heterogéneo, mientras que casi la mitad tiene un conjunto de enlaces escasamente heterogéneo o diverso.

Tabla 10.3. *Fuerza y heterogeneidad de los vínculos sostenidos por las granjas*

<i>Fuerza</i>			<i>Heterogeneidad</i>		
<i>Nivel</i>	<i>N.º granjas</i>	<i>%</i>	<i>Nivel</i>	<i>N.º granjas</i>	<i>%</i>
Alto	36	62.1	Alto	9	15.5
Medio	21	36.2	Medio	22	37.9
Bajo	1	1.7	Bajo	27	46.6

Nota: Fuerza. alta: 4.5-5.0; media: 2.5-4.49; baja: < 2.5. Heterogeneidad. alta: 5 y 6; media: 3 y 4; baja: 1 y 2.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las fuentes de conocimiento identificadas en la RC-TAS, destaca la centralidad que tienen el CESASIN y ACUAC AC, así como los

uycpi, entre ellos, principalmente el CIAD-Mazatlán, la Univ. de Occidente, CIBNOR y CIIDIR, así como otros organismos de gobierno (CONAPESCA y SADER) y un grupo de proveedores de alimentos y postlarvas, de acuerdo con sus indicadores de centralidad (Tabla 10.4).

Cabe señalar que, entre las organizaciones gubernamentales, no se identifica la presencia del IMIPAS (Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables), lo cual resulta significativo dadas sus atribuciones en el país como centro de investigación para el sector acuícola y pesquero.

Tabla 10.4. *Principales fuentes de conocimiento de la red. Indicadores de centralidad y fuerza de los vínculos*

<i>Nodo fuente de conocimiento</i>	<i>Centralidad</i>			<i>Fuerza de los lazos</i>
	<i>Grado</i>	<i>Bonacich</i>	<i>Intermediación</i>	
CESASIN	48	6 707.91	3 756.49	4.7
ACUAC AC	26	3 804.08	1 177.28	4.6
CIAD MZT	16	2 965.37	587.81	4.0
CONAPESCA	12	2 727.21	100.17	3.8
UdeO	12	1 825.24	154.72	3.8
CIBNOR	8	1 614.66	133.24	3.1
SAGARPA	7	1 302.84	25.62	5.0
CIIDIR-IPN	7	1 532.41	90.7	3.3
PROV2	7	1 286.95	29.59	3.9
PROV4	6	631.21	37.5	4.7

Fuente: elaboración propia.

El contenido transaccional: ¿qué tipo de conocimientos proveen las fuentes de la red?

El CESASIN es el nodo fuente de conocimiento más importante de la red; se especializa en la información de sanidad y control de la mortalidad, inocuidad y calidad. El conocimiento que transfiere es estandarizado y homogéneo para todos los productores, con una visión tradicional del extensionismo. Es llevado a cabo por personal técnico.

Acuicultores de Ahome A.C. es una asociación en la que los productores más exitosos y de mayor experiencia buscan ser fuente de información para sus pares. Organiza cursos y talleres de capacitación sobre mejores

prácticas para difundir información sobre tecnologías consolidadas, pero también sobre las nuevas alternativas tecnológicas disponibles. Generalmente, la asociación sirve de intermediaria para que el conocimiento de áreas como el mejoramiento genético, alimentos, salud y sistemas productivos “verdes” se difunda de manera colectiva a los productores.

Los proveedores aportan conocimiento en las áreas de alimentos, crías y productos terapéuticos, ligado directamente al tipo de insumos que proveen en la cadena acuícola. Obviamente, la información versa sobre las ventajas de las tecnologías “cristalizadas” en sus productos.

Los UYCPIS juegan un papel muy importante en la RC, ya que proveen información sobre TAS en 4 áreas clave de la acuicultura que se encuentran interrelacionadas: mejoramiento genético, salud, alimentación y medio ambiente. En la tabla 10. 5 se trabajó en una clasificación más detallada de las TAS más avanzadas y prometedoras, sus impactos positivos en la sostenibilidad y las fuentes de conocimiento específicas para cada tecnología. Se puede apreciar cómo el CIAD y otras instituciones académicas transfieren conocimiento sobre tecnologías ligadas a los avances tecnológicos más actuales en el sector. Estas instituciones aportan conocimiento más complejo, basado en las capacidades avanzadas de investigación y desarrollo (I+D), en laboratorios de biología molecular, microbiología, y otras áreas emergentes. Se trata de conocimiento y tecnologías recientes que requieren capacidades locales de I+D para adaptarlas a las condiciones locales. La transferencia de este conocimiento es llevada a cabo por personal altamente calificado y especializado, y requiere de una infraestructura de I+D actualizada y muy especializada.

Discusión y conclusiones

La visualización de la RC-TAS de Ahome mediante el grafo de la figura 10.2 permitió observar la característica forma de estrella y un alto nivel de centralización de la red, al ser el Cosesin una fuente importante y preponderante de asesoramiento técnico para los acuicultores locales. Este rasgo global de la red tiene implicaciones importantes como lo señalan algunos autores (Pheps, 2012, por ejemplo), quienes advierten que las formas muy

Tabla 10.5. Conocimiento sobre TAS y la fuente local de conocimiento

Tecnología acuícola	Efecto en la sostenibilidad acuícola	Fuente o proveedor en la RC
I. CRÍANZA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL CAMARÓN		
Tecnologías de selección genética		
• Poslarvas libres de patógenos • Especímenes de mayor tasa de crecimiento y conversión alimenticia	§ Reducción de las tasas de enfermedad y mortandad	Empresas regionales proveedoras de poslarvas (Rosario y Culiacán) Proveedores locales
	§ Uso más eficiente de recursos (mayor producción por unidad de tierra, agua, y trabajador)	
	§ Se requieren menos alimentos	
Tecnologías de selección genómica		
• Tecnologías de marcadores de ADN • Mapeo del genoma • Secuenciación del genoma Genómica funcional	§ Selección más precisa de reproductores resistentes a enfermedades específicas;	CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR, CIDIR, ICMYL-UNAM, ITSON, CIAD-Cul, Consultor ecuatoriano
	§ Resistencia a enfermedades acorde a condiciones locales	
	§ Mayor diversidad genética;	
	§ Se reduce uso de antibióticos y otros químicos	
II. SALUD Y CONTROL DE LA MORTALIDAD		
Tecnologías de diagnóstico		
• Marcadores moleculares • La integración de tec. de vanguardia como secuenciación, biosensores, CRISPR, drones, IA • Tecnologías de ADN/ARN ambiental	§ Detección rápida de enfermedades y monitoreo en tiempo real, conduce a una mayor eficiencia y sostenibilidad.	CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR-Son; CIDIR, ICMYL-UNAM; CIAD-Cul; Gpo. Consultor Ecuatoriano, Lab. Biotec. de USA (Gene Reach)
	§ El eDNA y eRNA son técnicas innovadoras para detectar el ADN y el ARN de muestras de aire, agua y suelo	
Alternativas a la terapia con antibióticos		
• Innovaciones de la nanotec. y la biotec., como uso de nanomateriales, fagos, vacunas basadas en biopelículas, fitobióticos, extractos de algas, prebióticos, probióticos y simbióticos	§ Manejo más sustentable de las enfermedades	CIAD-Mzt; One Lab Consultores
	§ Reduce contaminación química	
	§ Combate resistencia a antibióticos	
	§ Múltiples beneficios para la salud, incluido un mejor crecimiento y alivio del estrés oxidativo	
Genómica microbiana		
• La secuenciación de microorganismos patógenos	§ Diagnóstico, tratamiento y control de las enfermedades infecciosas.	CIAD-Mzt;
III. NUTRICIÓN, ALIMENTOS Y MANEJO DE LA ALIMENTACIÓN		
§ Desarrollo de sustitutos de harinas y aceites de pescado, como microalgas, insectos, subproductos y co-productos. § Alimento adicionado con inmuno-estimulantes § Alimentos Nutracéuticos § Desarrollo de alimentos de alto contenido de proteína § Tecnologías de peletización	§ Reducción de la dependencia de las fuentes de proteínas y lípidos de peces marinos.	Multinacionales de alimentos sede en Obregón; Proveedores de Culiacán. Proveedores; CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR-Son; UAS;
	§ I+D en digestión animal y requerimiento de nutrientes, alimentos que generan menos excreciones y potencian el crecimiento	
	§ El uso de inmunoestimulantes y nutracéuticos reduce la mortandad y la contaminación química.	
	§ Menos contaminación por residuos	
IV. SISTEMAS ACUÍCOLAS MEJORADOS Y DE BAJO IMPACTO		
§ Sistemas de recirculación de agua § Tecnología Biofloc, Bioaquafloc, IPRS, etc. § Sistemas integrados de acuicultura § Tratamiento de aguas	§ Menor uso de tierra y agua, mediante el reciclamiento y la intensificación	CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR; ICMYL-UNAM; ITSON; CIAD-Gua; UAS; One Lab Consultores; Académico U. de Auburn; Texas A&M AgriLife Lab.
	§ Reducen la contaminación por nutrientes, desechos y químicos, mediante el tratamiento, la conversión u dilución de los desperdicios,	
	§ Reducen la mortandad	

Fuente: elaboración propia con información de la encuesta, y con base en Waite *et al.* (2014), Boyd *et al.* (2020), Yue y Shen (2022), Villarreal (2023) y Bohara *et al.* (2024).

centralizadas de redes, con patrones jerárquicos, tienden a obstaculizar la transferencia de conocimientos y el aprendizaje tecnológico. En el caso del norte de Sinaloa, esta condición se ve atenuada por el importante rol que han venido jugando desde hace algunos años la Asociación de Acuicultores de Ahome, por un lado, y la posición cada vez más central que tienen algunas UYCPIS, así como algunos proveedores de insumos (alimentos y poslarvas). En términos de la difusión de las TAS, esto tiene la ventaja de reducir la dependencia de los productores con respecto al organismo gubernamental de salubridad mencionado.

Otras características globales de la red analizada fueron el grado medio y la densidad. Ambas métricas están estrechamente relacionadas. En el caso de la RC-TAS de Ahome se pudieron observar niveles relativamente bajos, tanto del grado medio como de la densidad de la red. De acuerdo con Müller y Peres (2019), una mayor densidad de la red se asocia con un flujo más intenso y nutrido de conocimiento sobre las nuevas tecnologías, lo cual potencia las probabilidades de su adopción, en tanto que los nodos aislados que están en el margen de la red estarían en desventaja para acceder a información sobre las nuevas tecnologías.

El posicionamiento de los actores individuales tiene también importantes implicaciones en términos de innovación y adopción tecnológica. Estudios previos en el área agrícola sugieren que la posición de los productores dentro de la red social, si tienen muchos vínculos o son centrales, está asociada con las probabilidades de recibir información crítica sobre nuevas tecnologías y de adoptarlas (Geleta et al., 2023).

Los resultados indican una relación entre el tamaño, la edad y el sector de la granja y una posición central en la red. Este hallazgo es consistente con Wood y otros (2019), quienes encuentran que uno de los factores que pueden influir en la posición central es el tamaño y la dotación de recursos, que permite tener un mayor acceso a los recursos de conocimiento y las relaciones de apoyo a la investigación para desarrollar competencias en ciertas áreas tecnológicas emergentes, como la biología molecular y la nano-biotecnología.

Finalmente, los resultados han permitido visibilizar el papel estratégico que juegan las UYCPIS como nodos que constituyen fuentes de información y conocimiento sobre las innovaciones y tecnologías novedosas con mayor

potencial para contribuir a la sostenibilidad de la acuicultura. Estos actores, distintos a los organismos gubernamentales y asociaciones de productores que realizan labores de extensionismo para la transferencia de tecnologías más consolidadas, generan flujos de conocimiento de contenido distinto, como se ha visto. El CIAD-Mazatlán destaca entre las UYCPIS que están jugando un papel relevante en la difusión de tecnologías acuícolas nuevas y emergentes que tienen efectos positivos en la sostenibilidad del sector; como las tecnologías de selección genética de reproductores basadas en la genómica (en mejoramiento genético); las tecnologías de salud y control de enfermedades avanzadas (identificación de patógenos con tecnologías basadas en marcadores, secuenciación y mapeo del genoma, etc.); el desarrollo de alternativas a los antibióticos químicos y genómica microbiana; las tecnologías de alimentos (nuevos ingredientes) y, finalmente; las tecnologías para el desarrollo de sistemas acuícolas de bajo impacto ambiental, conservación y remediación ambiental. Los impactos de estas TAS tienen que ver con la reducción de la mortalidad —que ha sido la principal amenaza a la sostenibilidad del sector (Kumar et al., 2023), el uso eficiente de recursos naturales, la conservación de ecosistemas costeros, la detección oportuna y precisa de patógenos en el producto, el agua y el suelo, el manejo sustentable de enfermedades del camarón, la reducción de la dependencia de proteínas y lípidos de peces marinos, una menor contaminación por aguas residuales, entre otros.

Referencias

- Bohara, K., Joshi, P., Acharya, K. P., y Ramena, G. (2024). Emerging technologies revolutionising disease diagnosis and monitoring in aquatic animal health. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 836-854. <https://doi.org/10.1111/raq.12870>.
- Borgatti, S. P., Agneessens, F., Johnson, J. C., y Everett, M.G. (2024). *Analyzing social networks*. SAGE Publications Ltd; Edición 3^{ra}.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., y Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>.
- Boyd, C. E., Davis, R. P., y McNevin, A. A. (2021). Comparison of resource use for farmed

- shrimp in Ecuador, India, Indonesia, Thailand, and Vietnam. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 1(1), 3-15. <https://doi.org/10.1002/aff2.23>.
- Campanati, C., Willer, D., Schubert, J., y Aldridge, D. C. (2022). Sustainable intensification of aquaculture through nutrient recycling and circular economies: more fish, less waste, blue growth. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2), 143-169. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.
- FAO. (2024). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0690e>.
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Martin, S., y Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107-116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>.
- Gephart, J. A., Golden, C. D., Asche, F., Belton, B., Brugere, C., Froehlich, H. E., y Allison, E. H. (2020). Scenarios for global aquaculture and its role in human nutrition. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29(1), 122-138. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1782342>.
- Henriksson, P. J. G., Troell, M., Banks, L. K., Belton, B., Beveridge, M. C. M., Klinger, D. H., y Tran, N. (2021). Interventions for improving the productivity and environmental performance of global aquaculture for future food security. *One Earth*, 4(9), 1220-1232. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.009>.
- Joffre, O. M., Poortvliet, P. M., y Klerkx, L. (2019). To cluster or not to cluster farmers? Influences on network interactions, risk perceptions, and adoption of aquaculture practices. *Agricultural Systems*, 173, 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.011>.
- Kumar, G., Engle, C., y Tucker, C. (2018). Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the world aquaculture society*, 49(3), 447-476. <https://doi.org/10.1111/jwas.12514>.
- Kumar, S., Verma, A. K., Singh, S. P., y Awasthi, A. (2023). Immunostimulants for shrimp aquaculture: paving pathway towards shrimp sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 25325-25343.
- Malcorps, W., Kok, B., van 't Land, M., Fritz, M., van Doren, D., Servin, K., y Davies, S. J. (2019). The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients in shrimp feeds. *Sustainability*, 11(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/su11041212>.
- Müller-Prothmann, T. (2006): *Leveraging Knowledge Communication for Innovation*. Frankfurt, Peter Lang, ISBN: 0820498890.
- Muller, E., y Peres, R. (2019). The effect of social network structure on innovation performance: A review and directions for research. *International Journal of Research in Marketing*, 36(1), 3-19. DOI: 10.1016/j.ijresmar.2018.05.003.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., y Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>.
- Phelps, C., Heidl, R., y Wadhwa, A. (2012). Knowledge, networks, and knowledge net-

- works: A review and research agenda. *Journal of Management*, 38(4), 1115-1166. <https://doi.org/10.1177/0149206311432640>
- Ray, S., Mondal, P., Paul, A. K., Iqbal, S., Atique, U., Islam, M. S., y Begum, S. (2021). Role of shrimp farming in socio-economic elevation and professional satisfaction in coastal communities. *Aquaculture Reports*, 20, 100708. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100708>.
- Rector, M. E., Filgueira, R., Bailey, M., Walker, T. R., y Grant, J. (2023). Sustainability outcomes of aquaculture eco-certification: challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture*, 15(2), 840-852. <https://doi.org/10.1111/raq.12763>.
- Sonone, S., Jadhav, S., Sankhla, M.S., y Kumar, R. (2020). Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through the food Chain. *Lett. Appl. NanoBioScience*, 10(2), 2148-2166. <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>.
- Ulhaq, I., Pham, N. T. A., Le, V., Pham, H. C., y Le, T. C. (2022). Factors influencing intention to adopt ICT among intensive shrimp farmers. *Aquaculture*, 547, 737407. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737407>
- Vázquez-Vera, L., y Chávez-Carreño, P. Eds. (2022). *Diagnóstico de la acuicultura en México*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. México. ISBN: 978-607-99061-5-3.
- Villarreal, H. (2023). Shrimp farming advances, challenges, and opportunities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(5). <https://doi.org/10.1111/jwas.13027>
- Waite, R., Beveridge, M., Brummett, R., Castine, S., Chaiyawannakarn, N., Kaushik, S., Mungkung, R., Nawapakpilai, S. y Phillips, M. (2014). *Improving productivity and environmental performance of aquaculture*. WRI- Working Paper. Washington, DC, USA: World Resources Institute.
- Wasserman, S., y Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications* (Vol. 8). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>.
- Yue, K., y Shen, Y. (2022). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>.

11. El Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México (LNCRTM): su incidencia social y aportación para la atención de la soberanía y seguridad alimentaria y nutricional a través de la acuicultura de tilapia en micro y pequeña escala y su cadena de valor



MARÍA SOLEDAD DELGADILLO TIBURCIO*

CARMEN PANIAGUA CHÁVEZ**

ALBERTO ASIÁIN HOYOS***

FRANCISCO JAVIER MARTÍNEZ CORDERO****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.11>

Resumen

El Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México (LNCRTM) representa una iniciativa estratégica para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria, nutricional y el desarrollo rural sostenible en México a través del impulso a la acuicultura de tilapia en micro y pequeña escala. Surgido de la colaboración entre el WorldFish y científicos nacionales, el LNCRTM ha consolidado un modelo de gobernanza pentahélice que articula la academia, el gobierno, el sector productivo, el medio ambiente y organismos internacionales. Su operación se estructura en ocho áreas temáticas y cinco líneas transversales, abordando aspectos clave como la sanidad acuícola, la genética, los sistemas productivos, la alimentación, la transformación de productos y el desarrollo regional. A lo largo de una década ha capacitado a cientos de productores acuícolas de recursos limitados (AREL) y MIPYME,

* Licenciada en Biología. Colaboradora en investigación en el Colegio de Postgraduados, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2371-6813>

** Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora titular Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2371-6813>

*** Doctor en Filosofía. Profesor-investigador titular en el Colegio de Postgraduados, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8520-6734>

**** Doctor en Economía agrícola y Recursos Naturales. Profesor-investigador titular Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8520-6734> ; correspondencia: cordero@ciad.mx

elaborado manuales técnicos con pertinencia cultural, promovido tecnologías apropiadas y participado activamente en la formulación de políticas públicas y en foros internacionales. El impacto del LNCRTM se refleja en la profesionalización del sector, el fortalecimiento de capacidades locales y su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 1 y 2). Sin embargo, persisten retos estructurales como la limitada participación gubernamental, la necesidad de financiamiento accesible, la reactivación de mecanismos organizativos como los Comités Sistema Producto y el relevo generacional en el campo. El LNCRTM se proyecta como una plataforma nacional para la transferencia de innovación, la integración de cadenas de valor sostenibles y el fomento de la soberanía alimentaria a través del consumo de tilapia cultivada localmente.

Palabras clave: *tilapia, acuicultura rural, seguridad alimentaria, desarrollo sostenible.*

Introducción

El consumo de pescado es ampliamente recomendado por su alto valor nutricional (Chávez Villasana, 2021). La tilapia en particular aporta una gran cantidad de nutrientes y entre 15 y 17 gramos de proteína por cada 100 gramos de peso corporal, si bien este porcentaje varía levemente dependiendo de la dieta del pez y si proviene de sistemas controlados o del medio ambiente (Islam et al., 2021).

En el mundo, la tilapia es la segunda especie más producida en volumen (FAO, 2022), solo detrás de la carpa. Para especies de agua dulce en Latinoamérica, es la especie principal y se existen sistemas de producción como jaulas, estanques rústicos (excavados en tierra), tanques de geomembrana, tanques de concreto y otras variedades, en todos los países de esta región. En México, la introducción de la tilapia se llevó a cabo en la década de los 60 por el gobierno federal. Fue un plan originalmente concebido por el gobierno para aprovechar grandes presas y reservorios construidos en la década de los 30 para el control de inundaciones, la irrigación y la generación de electricidad. El objetivo era aprovechar estos cuerpos de agua artificiales

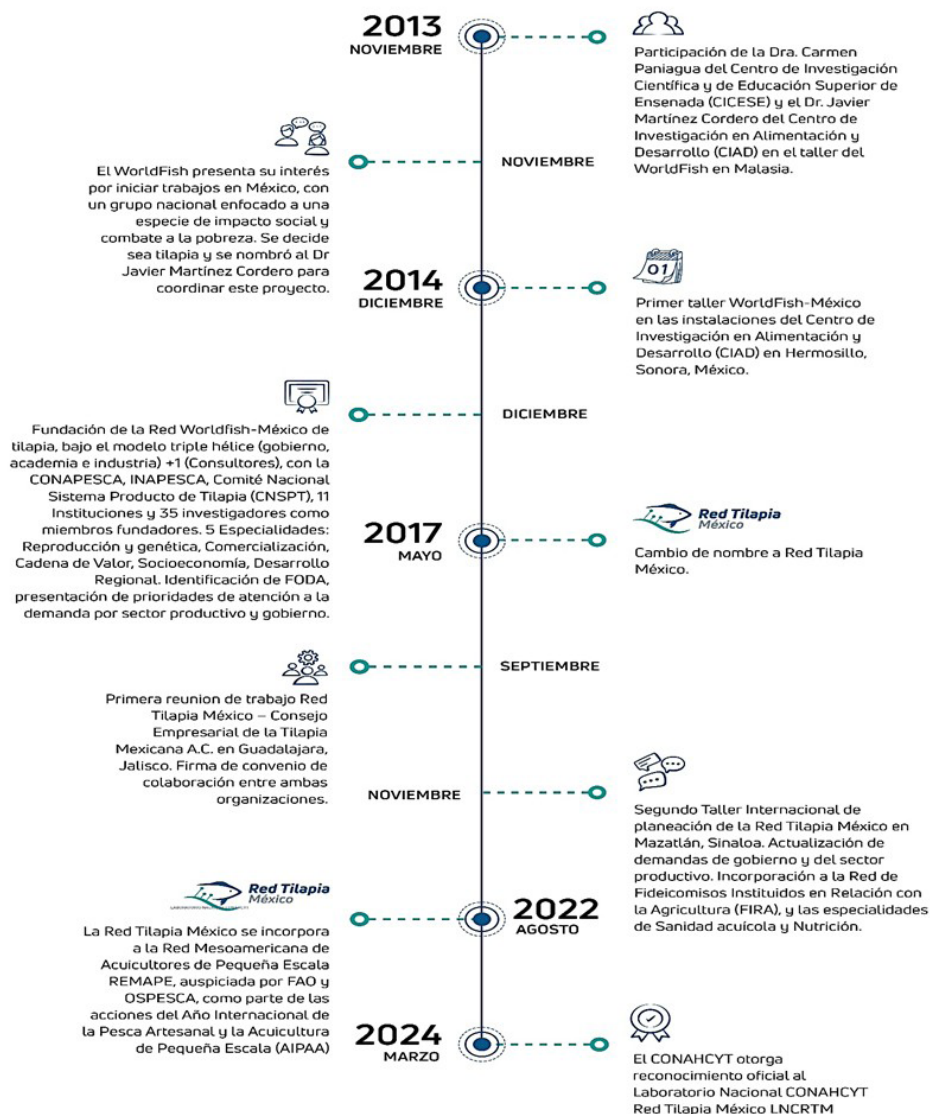
y promover la pesquería artesanal a partir de programas de resiembra, lo cual, posteriormente, se diversifica para impulsar la acuicultura de tilapia en todo el país. Es así como su reproducción controlada en la estación de Temazcal, Oaxaca, fue el origen del cultivo (Martínez-Cordero et al., 2021).

En México, la producción nacional de tilapia alcanzó un máximo histórico de 186 000 toneladas en 2016, proveniente de sistemas controlados y pesquería acuicultural. Al último registro en 2022, la producción ha bajado a 59 000 toneladas, con Chiapas, Nayarit y Veracruz como productores líderes (SADER, 2023). Los impactos socioeconómicos del cultivo de tilapia en la escala micro, pequeña y mediana (MIPYME) y de autoconsumo —llamados por la FAO acuicultores de recursos limitados AREL (FAO, 2013), en los territorios rurales son muy importantes tanto en relación con la Seguridad Alimentaria y Nutricional, como en la pobreza multidimensional (Martínez-Cordero y Sánchez Zazueta, 2021). Por ello, apoyar el desarrollo sostenible de los productores de tilapia en el país y, en particular los MIPYME, y de autoconsumo es una política pública de interés para los gobiernos de la región.

WorldFish (WF) es una organización líder mundial en la acuicultura, con base en Malasia, y es responsable del programa pescado del Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (CGIAR, por sus siglas en inglés). Para el caso particular de la tilapia, y centrada en su excepcional variedad genética GIFT, por varias décadas ha generado modelos nacionales exitosos de desarrollo acuícola en Asia y recientemente en África, donde el programa genético es solo un componente de un esquema multidisciplinario de extensionismo y transferencia de tecnología e innovación a pequeños productores rurales. Su trabajo se enfoca en la socioeconomía, y fue diseñado para los sistemas alimentarios, de salud y medio ambiente (incluyendo clima), lo cual va acorde con su mandato institucional: *“Poner fin al hambre y avanzar el desarrollo sostenible hacia el 2030, a través de la ciencia e innovación, transformando los sistemas alimentarios, de tierra y agua en alimentos acuáticos para un planeta y ser humano más saludable”* (WorldFish, 2023).

En un simposio en Malasia en 2013, el WF manifiesta a los Dres. Carmen Paniagua y Javier Martínez Cordero su interés por trabajar en México con la tilapia, bajo un esquema de acuicultura de alto impacto social. Se establece así el contacto entre WF y un grupo de investigadores en México

Figura 11.1. *El Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México: cronología*



Fuente: elaboración propia.

vinculados con el sector productivo MIPYMES y AREL acuícolas, quienes dieron los primeros pasos para la fundación de la Red WorldFish-México en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) en Hermosillo, Sonora, posteriormente renombrada como Red Tilapia México y, finalmente, reconocida en abril del 2024 por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) como el Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México (LNCRTM), tras una década de trabajo exitoso (Figura 11.1).

A continuación, se presenta el modelo operativo, organizacional, y el trabajo que ha desarrollado el LNCRTM, buscando el desarrollo sostenible de los MIPYES y AREL de tilapia y su cadena de valor en México.

Métodos

Elementos estratégicos y operativos del LNCRTM

Desde la fundación del LNCRTM su enfoque ha sido el micro y pequeño productor de tilapia y su cadena de valor. Su objetivo y misión así lo manifiestan:

Objetivo: asistir en el desarrollo sustentable de la cadena productiva de MIPYMES de tilapia mexicana para cumplir con los importantes retos nacionales de desarrollo humano incluyente y equitativo, así como de seguridad alimentaria y nutricional en el corto y mediano plazo, a partir del trabajo coordinado de la academia, el gobierno y las empresas de la cadena productiva de tilapia.

Misión: ser una red nacional que estreche los lazos de colaboración entre el gobierno, la academia y la cadena productiva de tilapia mexicana. Colaborar en su desarrollo sustentable a través de la identificación de factores que la limitan, la generación de propuestas científicamente sustentadas para su solución y tanto la gestión como la promoción de alternativas tecnológicas y normativas que impulsen el desarrollo de la actividad.

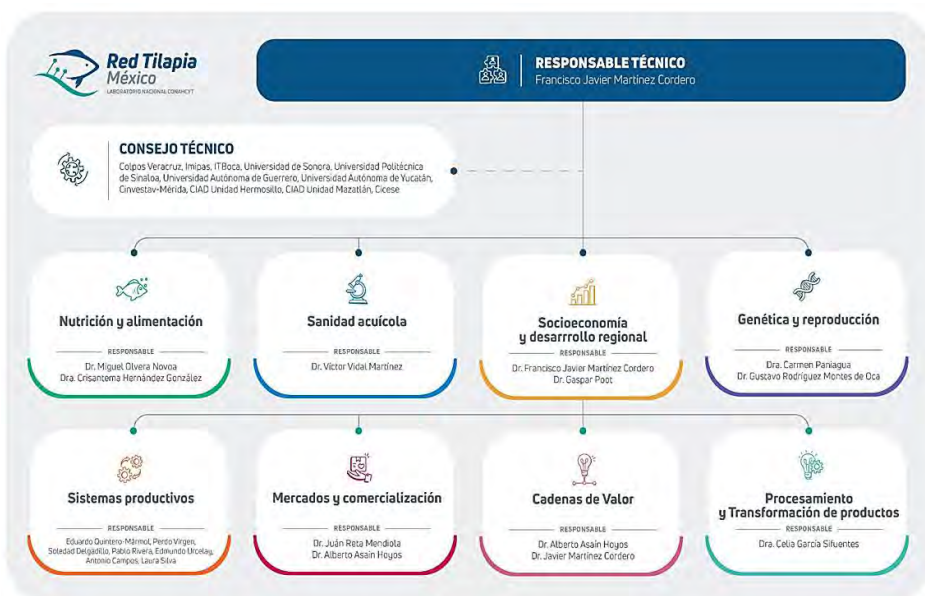
Se selecciona como modelo teórico la triple hélice (academia, industria, gobierno) +1 (organizaciones internacionales) que, en el reconocimiento

Figura 11.2. *Modelo conceptual Pentahélice de la Red Tilapia México y, posteriormente, el Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México*



Fuente: elaboración propia.

Figura 11.3. *Modelo operacional del LNCRTM: áreas temáticas y transversales con responsables nacionales*



Fuente: elaboración propia.

como LNCRTM, se convierte en pentahélice (Figura 11.2), pues en el modelo CONAHCYT de Laboratorios Nacionales, el medio ambiente es otra hélice (en la Red Tilapia México se incorporaba como un área temática). El modelo operacional (Figura 11.3) identifica 8 áreas temáticas, cada una con responsables de sus propios grupos de trabajo y 5 líneas transversales: política pública, capital humano, opinión experta y divulgación, investigación, desarrollo e innovación I+d+i y planeación estratégica.

Resultados

La cuantificación de impactos directos de la operación de la RTM/LNCRTM es clara en la formación de recursos humanos y el extensionismo, así como en investigación y productos académicos aplicados a este sector, incluyendo los manuales técnicos.¹ Adicionalmente, en diversas ocasiones se emite una opinión experta a solicitud de los tres niveles de gobierno, en temas particulares donde la experiencia del LNCRTM fue consultada. Sin embargo, la estimación del impacto en la producción de tilapia no es directa, pues los incrementos en producción dependen también de factores externos como son: climáticos, socioeconómicos, políticos y hasta de seguridad. No obstante, el impacto ya demostrado, y que es argumento central de la existencia del LNCRTM, es el efecto positivo del proyecto rural de tilapia en una micro y pequeña escala y, por lo tanto, en la pobreza multidimensional. Se entiende que este escenario es muy cambiante a nivel territorial, y se subrayan los impactos positivos del establecimiento y, especialmente, la permanencia de los proyectos acuícolas a esta escala. Para dicha permanencia, el extensionismo (seguimiento a los proyectos) es central, por lo que todas las áreas temáticas ejecutan acciones para ello en el día a día (Figura 11.4). A continuación, se refieren los principales resultados, cuantificando las intervenciones en la medida de lo posible.

¹ La lista de productos se encuentra a disposición pública mediante la solicitud directa al autor para correspondencia.

Figura 11.4. Actividades de extensionismo en el municipio de Veracruz (Dra. Soledad Delgadillo), investigación genética en laboratorio (Dra. Carmen Paniagua), intercambio horizontal de conocimientos con grupo focal de amas de casa en Oaxaca (Dr. Francisco Javier Martínez Cordero), portadas de las sesiones virtuales La Mesa de Eviscerado, Grupo Todo Acuícola (Biól. Edmundo Urcelay)



Fuente: elaboración propia.

Formación de capital humano: para el LNCRTM es una prioridad crear capital humano y profesionalizar la acuicultura a todos los niveles en el país, pues es una debilidad estratégica identificada desde hace más de una década (Mojica Sastoque et al., 2010). Para lograrlo, durante la primera década hemos desarrollado cursos virtuales y presenciales, extensionismo grupal

o individual, manuales, infografías, folletos y videos. Algunos ejemplos relevantes se muestran en la Tabla 11.1.

Tabla 11.1. *Ejemplos de actividades de formación de capital humano del LNCRTM*

Año	Evento, lugar y participantes	1- Población objetivo y organizador.
		2- Impacto y beneficiarios
2013-2018	Centro de Capacitación Acuícola Papaloapan. Extensionismo y capacitación al micro y pequeño productor	1- Micro y pequeños productores y AREL. Empresas privadas, Comités Sistema Producto. Centro y Golfo de México (Veracruz, Puebla, Tabasco). Independiente, COLPOS, Dra. Soledad Delgadillo. 2- Más de 300 beneficiarios directos (productores) en actividades directas en campo. Dos publicaciones con VIMIFOS 3 manuales con el COLPOS. Capacitaciones a vendedores y gerentes regionales de empresas de alimento (Purina, Malta Clayton, Vimifos). Comités Sistema Producto de Nayarit, Sonora, Sinaloa, Chiapas, Tabasco.
2016, 2017, 2018, 2020	Taller de extensionismo como parte del Congreso Internacional FIACUI. Diversas sedes (Guadalajara, Mazatlán y virtual). Diversos académicos y consultores del LNCRTM.	1- Micro y pequeños acuicultores (nacional). Panorama acuícola y Red Tilapia México. 2- 450 personas
2019, 2020, 2021	Curso: temas principales de la acuicultura. Modalidad virtual. Diversos académicos y consultores del LNCRTM.	1- Micro y pequeños acuicultores; academia (nacional). IMIPAS y Red Tilapia México. 2- 280 personas
2021, 2022	Mesa de Eviscerado. Virtual (YouTube). Mesas virtuales semanales de análisis de temas acuícolas. Diversos académicos y consultores del LNCRTM, e invitados externos.	1- Sector productivo, academia (nacional e internacional). Empresa Todo Acuícola S.A., COLPOS, Red Tilapia México. 2- 90 programas, 122 ponentes nacionales y extranjeros. 4760 participantes, más de 47 000 seguidores, 2960 interacciones, visualizaciones diarias en rango 12 500-14 000
2019-2024	A partir de la Investigación-acción-participativa, diversos manuales técnicos especializados en sanidad, inocuidad, alimentación, análisis financiero en granja, producidos con pertinencia cultural y lingüística y aplicados en talleres rurales. Especialistas de las áreas temáticas de sanidad, socioeconomía, alimentación.	1- Micro y pequeños productores y AREL Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca, Chiapas). Como resultado de diversos proyectos CONAHCYT de miembros de la RTM. 2- Más de 50 talleres, más de 300 beneficiarios.

Fuente: elaboración propia con material de los responsables de las áreas temáticas.

Algunos ejemplos relevantes del trabajo por área temática son los siguientes:

Genética y reproducción

El éxito de la producción de tilapia en el mundo ha sido debido a su capacidad para reproducirse rápidamente y su resistencia a condiciones ambientales variables. Sin embargo, para maximizar su potencial de producción, es crucial comprender y aplicar principios de reproducción y genética. En primer lugar, la reproducción controlada es esencial para garantizar una producción constante y predecible de tilapia. Con el Dr. John Benzie, responsable del programa genético del WorldFish, se diseñó y presentó al Comisionado Nacional de Acuicultura y Pesca de México (CONAPESCA) en noviembre de 2017 el Programa Nacional para el mejoramiento genético de la tilapia, que incluía una donación de línea GIFT que el WorldFish haría a México para este fin. Además, incluía un programa de extensionismo, estudios y acciones en las 8 áreas temáticas del LNCRTM que son requeridas para hacer factible el desarrollo sostenible de los micro y pequeños productores de tilapia en México y sus cadenas de valor. Lamentablemente, el proyecto no encontró apoyo por parte del Gobierno Federal. La Dra. Carmen Paniagua, investigadora del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), ha ofrecido a los productores estudios genéticos que lleven al mejoramiento genético por Unidad de Producción.

Sanidad acuícola

La red nacional de esta área temática es altamente productiva y con fuerte presencia en campo. La sanidad en el cultivo de tilapia en estos momentos, lamentablemente, es uno de los aspectos críticos causantes de la disminución del volumen de la producción en el país. Para atender esta problemática, se ha participado en diversos proyectos CONAHCYT de incidencia social en el país, generando manuales técnicos diversos. La labor del LNCRTM, mediante los diversos grupos regionales y estatales, es central en el diagnóstico de enfermedades bacterianas, y ayuda a los productores a la aplicación de buenas prácticas sanitarias y de producción. El Dr. Víctor Vidal, experto regional FAO, ha creado diversos manuales y revisiones regionales que son documentos básicos de consulta en el tema.

Sistemas productivos

El trabajo de incidencia social de este grupo de productores es muy numeroso y constante cada año, además de que cuenta con una diversidad de actividades de asesoría y capacitación anuales que forman su día a día. Esto constituye la fortaleza principal del LNCRTM, pues representa su vinculación directa con el sector productivo, sus necesidades y prioridades. La Red Tilapia México ha trabajado siempre por atención a la demanda. Por ello, el sector primario determina, en ejercicios de planeación participativa tanto presenciales como virtuales, las prioridades de trabajo y atención. Desde la academia, se trabajó en campo desarrollando sistemas de acuaponía, sistemas integrales, biofloc, cultivo de langostino (COLPOS). Es decir, se ha buscado generar desarrollo tecnológico e innovación transferido a esquemas rurales.

Socioeconomía y desarrollo regional

Se ha presentado en dos vertientes: la socioeconómica y la financiera. En la primera, el trabajo desarrollado y publicado en libros y artículos científicos por este grupo temático es, principalmente, evaluando los impactos del cultivo de tilapia a nivel MIPYME y AREL en las economías regionales, locales y a nivel hogar. En el aspecto financiero, se trabaja con productores la aplicación del análisis financiero en granja, pues, independientemente de la escala de producción, se busca que cada productor sea un empresario cuyas acciones sean determinadas por el análisis de sus actividades. Esto se ha logrado generando material de campo (manuales), inclusive en diversas lenguas. Este grupo de trabajo desarrolla también análisis bioeconómico, tanto a nivel granja como para evaluar impactos socioeconómicos a nivel regional.

Alimentación y nutrición

Siendo el alimento el costo de producción más alto en los cultivos de acuicultura, uno de los principales objetivos del LNCRTM es encontrar y desarrollar sustitutos a fuentes tradicionales, incluyendo aquéllos con mayor

eficiencia. Desde este ámbito, se ha trabajado en la generación de un alimento específico para la tilapia a partir de ingredientes regionales y/o subproductos pesqueros y agroindustriales. Actualmente, se cuenta con el desarrollo de una patente MX/a/2015 /016590 (Hernández, 2015). Así mismo, se han diseñado manuales para la elaboración artesanal del alimento para tilapia y buenas prácticas de manejo. Estos manuales han sido traducidos al mMazateco y tTsotsil para su uso en diversas regiones de los estados del Pacífico Sur. Aunado a estas actividades, también se han llevado a cabo cursos de capacitación para que los productores de tilapia elaboren su propio alimento con los requerimientos nutricionales que requiere la especie, a partir de un equipamiento sencillo y económico e insumos disponibles en las regiones. Finalmente, y en colaboración con los Comités de Sanidad Acuícola de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, se han realizado proyectos ejecutivos de plantas productoras de alimentos balanceados de pequeña escala para tilapia, con la finalidad de optimizar los costos y asegurar la calidad del producto final.

A la par, se ha estado trabajando en el procesamiento y transformación de productos a través de proyectos de incidencia para agregar valor a la tilapia y a los subproductos, de acuerdo con los usos y costumbres de las comunidades locales.

Sistemas productivos, temas transversales y opinión experta

En un ejemplo del enfoque que la LNCRTM promueve para desarrollar la acuicultura de tilapia desde los municipios y el territorio.

Desde el LNCRTM, se promueve un desarrollo de la acuicultura de tilapia con una perspectiva territorial, otorgando a los municipios un papel protagónico. Este enfoque de planeación desde el municipio, es una visión que impulsa el desarrollo sostenible de esta actividad y de las diversas regiones y grupos involucrados. En este sentido, el LNCRTM ha implementado diversas actividades, como asesorías a grupos de productores, la realización de diagnósticos para el desarrollo de la actividad (Delgadillo, 2019), así como la difusión de su quehacer y los resultados encontrados a través de diversos

foros, eventos científicos, pero, especialmente, con a partir del acercamiento a los tomadores de decisión de los tres niveles de gobierno.

La Red Tilapia México ha fungido como un valioso recurso para el poder legislativo mexicano, ofreciendo su experiencia técnica y especializada en múltiples oportunidades. El LNCRTM también participa en redes de colaboración más amplias, como la Red Nacional de Como parte de LNCRTM, donde se ha desarrollado el primer proyecto de alcance nacional, destinado a abordar dos cuestiones clave en la cría de tilapia: la sanidad y la mejora genética Información e Investigación en Pesca y Acuicultura (RNIIPA), coordinada por el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS). Como parte de LNCRTM, se ha desarrollado el primer proyecto de alcance nacional, destinado a abordar dos cuestiones clave en la cría de tilapia: la sanidad y la mejora genética.

Vinculación internacional

En el ámbito internacional, la FAO designó el año 2022 como el Año Internacional de la Pesca y Acuicultura Artesanales (AIPAA) para llamar la atención mundial hacia el importante papel de los pequeños productores pesqueros y acuícolas en la sociedad (FAO, 2020). En este marco, promueve con la Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo (OSPESCA) la formación de la Red Mesoamericana de Acuicultores de Pequeña Escala

Tabla 11.2. *Participación continental e internacional del LNCRTM a través de la REMAPE*

<i>Año</i>	<i>Evento, lugar y tipo de participación</i>	<i>Cobertura geográfica</i>	<i>Organizador</i>
2022	Reunión del Comité de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma. Virtual	Mundial	FAO
2022	Foro Mesoamericano sobre protección social en la pesca artesanal y la acuicultura de pequeña escala. Virtual	Regional	FAO
2023	Reunión del Subcomité de Acuicultura de la FAO. Hermosillo, Sonora. México. Presencial	Mundial	FAO
2023	18ª Reunión Ordinaria de la Comisión de Pesca en Pequeña Escala, Artesanal y Acuicultura de América Latina y el Caribe COPPESALC. San José de Costa Rica, CR. Presencial	Continental	FAO
2023	Foro regional de intercambio de experiencias en extensionismo acuícola. Virtual	Continental	FAO y OSPESCA

Fuente: elaboración propia con material de los responsables de las áreas temáticas.

(REMAPE), la cual se funda con un evento virtual convocado por la FAO el 30 de agosto de 2022. La red la integran países como Guatemala, Honduras, Costa Rica, República Dominicana, El Salvador y México, quienes nombraron como coordinadores en su primer periodo al Dr. Javier Martínez Cordero (LNCRTM México) y el biólogo Billy Cazalli (Guatemala). Con esta representación, el LNCRTM ha tenido presencia en eventos mundiales y continentales presentados en la Tabla 11.2, los cuales permiten representar al acuicultor mesoamericano, su problemática y sus propuestas.

Discusión y conclusiones

El principal objetivo del trabajo del LNCRTM es aportar mediante nuestro trabajo para coadyuvar al bienestar social. Nuestra operación está completamente en línea con los ODS 1 y 2 de Naciones Unidas (Combate a la Pobreza y Hambre Cero). La labor está enfocada en una actividad productiva primaria y su cadena de valor en micro y pequeños productores y de autoconsumo. Irremediablemente, esto implica buscar que nuestras actividades y proyectos tengan una amplia y continua presencia en campo a través del extensionismo. Un paso necesario para el éxito de estos productores es la continuidad en la asesoría y el seguimiento. Asimismo, está claro que el cultivo de tilapia en una pequeña escala en México aporta significativamente a la seguridad alimentaria y nutricional, aunque la escala de este efecto debe aumentar. Debido a esto, continuaremos buscando un sistema alimentario nacional sostenido en la tilapia de cultivo.

El modelo triple hélice+1 ha demostrado ser exitoso a lo largo de la primera década, y fue llevado a cabo sin apoyos financieros externos. Ahora como pentahélice, este modelo incorpora el elemento de medio ambiente que es de suma importancia. Sin embargo, no se pueden lograr objetivos nacionales estratégicos sin el involucramiento del gobierno en sus tres niveles, donde hay mucho campo de mejora y lo cual constituye el principal reto del LNCRTM.

Buscamos ser actores importantes en las tomas de decisión de la planeación del desarrollo sostenible del cultivo de tilapia en México a escala AREL y MIPYME. Queremos incidir en avanzar en la visión y la toma de decisiones

gubernamentales en temas que requieren ser modificados, como la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable. Igualmente, es urgente que el sector micro y pequeño de la acuacultura tenga un mayor peso específico en las decisiones de gobierno, para lo cual todo empiezas requiere por aumentar su visibilidad, así como su interacción con otros sectores económicos. Seguiremos proponiendo una regulación diferente a este sector productivo, que tome en cuenta sus características, no lo sobre regule y, por ello, que realmente promueva su desarrollo. En otras áreas importantes como el financiamiento necesario para el sector, el LNCRTM puede apoyar en una diversidad de temas: planeación y análisis de esquemas de crédito con FIRA y la banca de desarrollo, análisis de impactos con banca de primer y segundo piso, entre otras acciones donde aportemos conocimiento y capacidad de análisis.

La organización de los micro y pequeños productores es siempre una tarea en la que hay que trabajar, pues permite entre otras cosas incrementar las escalas de producción. Es deseable que se dé una continua evolución en las escalas de producción: que el productor AREL crezca a micro escala y, posteriormente, a pequeña y así otros niveles sucesivamente. Para lograrlo, no solo debe haber un enfoque en los aspectos técnicos sino en los organizacionales que permitan, por ejemplo, la asociatividad entre productores por territorio y alcanzar o consolidar así, mercados de cadena corta. También son necesarios los esfuerzos para lograr que los pequeños productores agreguen valor a su producto, tengan redes de frío, como estrategias para contrarrestar fluctuaciones de mercado o el acaparamiento del producto por los intermediarios. El trabajo de nuestras ocho áreas temáticas es muy diverso: en el tema sanitario hay urgentes retos nacionales en los cuales ya propusimos apoyo para actuar a nivel regional y nacional. En la vinculación académica también hay oportunidades de mejora, pues, como LNCRTM, contamos con presencia nacional y la cobertura de todas las áreas y perspectivas requieren que cada área temática y su red correspondiente se haga eficiente. Para lograr esto, debemos darle más oportunidad a los investigadores, productores y consultores jóvenes. Asimismo, en el campo encontramos una ruptura generacional: los actuales productores no encuentran en su propio hogar o familia a alguien interesado en seguir su actividad porque se ha desmotivado a las generaciones jóvenes y es necesario volver a presentar la actividad como algo interesante y redituable.

Buscaremos también reforzar nuestro trabajo con empresas privadas. Reforzar nuestro rol de transferencia de innovación y tecnología para el sector MIPYME y de autoconsumo. Del mismo modo, buscaremos promover un mayor consumo de la tilapia nacional para coadyuvar a la soberanía alimentaria.

Agradecimientos

El trabajo del LNCRTM incluye a todas sus responsables de área temática, a quienes referimos ante la imposibilidad de citar a todos como coautores: Miguel Olvera Novoa, Crisantema Hernández González, Celia García Sifuentes, Gustavo Rodríguez Montes de Oca, Gaspar Poot, Víctor Vidal Martínez, Edmundo Urcelay, Laura Silva Ledezma, Pedro Virgen, Eduardo Mendoza Quintero-Mármol, Pablo Rivera, Alfonso Arreola Valle, Juan Reta, Antonio Campos.

Referencias

- Delgadillo T. M. Soledad. (2019). Diagnóstico de la Pesca y de la Acuicultura en el Municipio de Veracruz. Informe pdf. Dirección de Fomento Agropecuario y Desarrollo Rural. H. Ayuntamiento de Veracruz. 19/03/2019. P 14-20-24 y 26
- FAO. (2013). Diagnóstico de la acuicultura de recursos limitados (AREL) y de la acuicultura de micro y pequeña empresa (AMYPE) en América Latina. Volumen 7. ISBN 978-92-5-307462-4.
- . (2020). El año internacional de la pesca y acuicultura artesanales 2022. <http://www.fao.org/artisanal-fisheries-aquaculture-2022>
- . (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Islam, S., S. Bhowmik, P. Rani Majumdar, G. Srzednicki, M. Rahman y Md.A. Hossain. (2021). Nutritional profile of wild, pond-, gher- and cage- cultured tilapia in Bangladesh. *Heliyon*, 7, 7pp. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06968>
- Martínez-Cordero, F. J., y E. Sánchez Zazueta. (2021). Poverty and vulnerability assessment of tilapia farmers in the southwestern States of Oaxaca, Guerrero, and Chiapas in Mexico. *Aquaculture Economics and Management*. Volume 26, Issue 1, Pages 36-56 <https://doi.org/10.1080/13657305.2021.1896604>
- Martínez-Cordero, F. J., T. S. Delgadillo, E. Sánchez-Zazueta y J. Cai, J. (2021). Tilapia

- aquaculture in Mexico: assessment with a focus on social and economic performance. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1219*. Roma, *FAO*. 80 pp. ISSN 2070-6065. ISBN 978-92-5-133954-1. <https://doi.org/10.4060/cb3290en>
- Mojica Sastoque, F. J., M. Vivanco-Aranda, F. J. Martínez-Cordero y R. Trujillo Cabezas. (2010). *Tilapia 2020: Prospectivo del Comité Nacional Sistema Producto de tilapia en México*. *CONAPESCA*. 285 pp.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural *SADER*. (2023). *Panorama Agroalimentario 2023*. 220 pp.
- WorldFish. (2023). *Harnessing Aquatic Food Systems for Sustainable Development. Healthy People, healthy planet, shared prosperity. Annual Report 2023-30*. Penang, Malaysia. 89 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12348/5575>

Tema 4

APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

12. Aprovechamiento de productos agrícolas, pecuarios y pesqueros en la producción artesanal de alimentos



MIGUEL ÁNGEL MAZORRA-MANZANO*

JUAN CARLOS RAMÍREZ-SUÁREZ**

JOSÉ GUADALUPE GAMBOA-ALVARADO***

JOSÉ LUIS VALENZUELA-LAGARDA****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.12>

Resumen

La abundancia de algunas especies animales y vegetales en ciertas regiones del país representa recursos que pueden ser aprovechados de manera sustentable para apoyar la economía regional y la soberanía alimentaria. El procesamiento de alimentos mediante prácticas tradicionales ha permitido generar cadenas de valor con aportes importantes a las economías locales, por lo que es de gran relevancia valorizar y reconocer la importancia que juegan estas pequeñas empresas en el desarrollo de dichas comunidades. Los productos regionales suelen ser novedosos y distintivos cuando son elaborados por prácticas tradicionales, pues valorizan su cultura y fortalecen la economía de microrregiones. No obstante, aún se requieren acciones que permitan que algunos de estos productos alcancen mercados en regiones apartadas de las zonas donde se producen, así como se necesita apoyar acciones para aprovechar y/o transformar productos que sobrepasan la demanda local. El objetivo de este capítulo es describir algunos ejemplos de produc-

* Doctor en Ciencias de los Alimentos. Profesor-investigador titular C Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1425-4250> ; correspondencia: mazorra@ciad.mx

** Doctor en Filosofía. Profesor-investigador titular C Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8512-1271>

*** Doctor en Ciencia de la Carne. Profesor-Investigador Titular en la Universidad del Mar, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2673-5980>

**** Doctor en Ciencias Profesor-investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Guerrero. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9551-2652>

tos artesanales que han logrado ser reconocidos y valorados en todo el país, así como el potencial de aprovechamiento de algunos recursos abundantes en algunas regiones de nuestro país. Lo anterior está ligado a la generación de unidades familiares o comunitarias productoras de alimentos elaborados con una infraestructura tecnológica limitada (acorde a la realidad regional) mediante el uso de prácticas tradicionales. Además, se abordan las estrategias para impulsar la comercialización de alimentos artesanales mediante el desarrollo de rutas turísticas y tiendas especializadas en productos artesanales elaborados en la región, lo que permite la valorización de alimentos con identidad regional, da visibilidad nacional e internacional y ayuda a mantener vivas las tradiciones, la cultura y las costumbres en dichas regiones.

Palabras clave: *alimento artesanal, identidad regional, proceso artesanal, economía regional.*

Introducción

Las sociedades y su relación con el medio ambiente han permitido el florecimiento de distintas expresiones culturales en el país. La diversidad y disponibilidad de recursos naturales en regiones con condiciones agroecológicas idóneas ha impulsado el desarrollo de comunidades rurales, ayudando a garantizar su alimentación e ingresos familiares mediante la producción artesanal de alimentos. Estos productos forman parte de una manifestación cultural al poseer un sello de sus raíces y forma de vida de los pueblos que luchan por mantener vivo el conocimiento ancestral (Espinosa Moreno et al., 2022). Los mercados municipales son la primera ventana a la comercialización de los alimentos artesanales, aunque recientemente su popularidad y producción se han incrementado mediante su comercialización en tiendas, restaurantes o locales especializados en alimentos regionales (Figura 12.1). Mediante esta estrategia las comunidades rurales de bajos ingresos han mejorado su entorno social y económico. Además, la producción y comercialización de alimentos artesanales también han inducido a que los consumidores asocien el origen del producto a una zona geográfica y/o cultural,

tales como “camote de Puebla”, “chorizo de Toluca”, “queso Oaxaca”, “queso Menonita”, entre otros. En este sentido, los alimentos producidos artesanalmente han sido considerados como polos de crecimiento económico en las regiones donde se elaboran mediante el desarrollo de “rutas turísticas” que fomentan el turismo rural o cultural con énfasis en alimentos tradicionales (Camacho Vera et al., 2019). La promoción de regiones como la “ruta del cacao” en Tabasco, la “ruta del tequila” en Jalisco, la “ruta del vino” en Baja California y las “rutas del queso” en varias regiones del país, valorizan los alimentos producidos mediante prácticas artesanales y ayudan a mantener vivas las tradiciones, la cultura y las costumbres regionales (Benítez Silva, 2017).

En este capítulo se presenta la información sobre la producción de alimentos mediante prácticas artesanales en diversas regiones del país, donde se plasma el conocimiento y las experiencias de investigación y vinculación con las comunidades y el sector productivo sobre el aprovechamiento de alimentos de origen vegetal, animal y pesquero. Dicha información ha sido

Figura 12.1. Alimentos artesanales preparados y comercializados en distintas regiones del país.
A) frutas y vegetales en conservas, bebidas frutales y rompopo, B) chapulines deshidratados con chile C) pescado asado y camarón seco, D) fruto de guamúchil deshidratado



Fuente: Mazorra-Manzano, M. A., y Gamboa-Alvarado, J. G.

recabada y analizada por nuestro grupo de investigación en colaboración con investigadores de la Universidad del Mar y la Universidad Autónoma de Guerrero. Esta visión multirregional con experiencias en actividades de vinculación, nos ha permitido conocer a mayor profundidad los procesos y generar, a partir de nuestros estudios, nuevas ideas que, posteriormente, son incorporadas para mejorar los procesos y los productos, así como alargar la vida de anaquel con el fin de impulsar su incorporación a mercados más dinámicos.

Producción artesanal de alimentos de origen animal

Organismos terrestres

Insectos comestibles

La entomofagia o el consumo de insectos es una práctica ancestral de los pueblos prehispánicos que ha tomado relevancia en los últimos años como fuente alternativa de proteína. Entre los insectos que más se consumen en México se encuentran el gusano de maguey, las hormigas, los escamoles y los chapulines. La colecta y el procesamiento de chapulines (*Sphenarium purpurascens*) lo hace uno de los insectos más aprovechados para consumo humano y se procesa mediante prácticas tradicionales. Su captura se realiza con el uso de redes en zonas de cultivo (por ej. maíz, alfalfa, calabaza, etc.) o áreas ricas en pasto. Después de privarlos de alimento y agua por un día, se lavan y cuecen, guisan o asan para su posterior deshidratación (Patente WO2007094652A2). Tradicionalmente, se comercializan en mercados municipales y tianguis regionales, ya sea enteros, a granel y condimentados con sal, chile y ajo o en polvo sin condimentar. Esta actividad es de gran importancia económica para muchas familias de las microrregiones de los estados de Oaxaca, Morelos, Michoacán, Guanajuato, Tlaxcala, Querétaro, Puebla y México. Su producción se estima en alrededor de 350 mil toneladas en la época de reproducción, lo cual ha motivado la creación de microempresas que se dedican al procesamiento, empaquetamiento y distribución de harina de chapulín, así como la elaboración de productos fortificados (por ej., sal de

chapulín, salsas, galletas y panes). La harina de chapulín, además de aportar proteína y fibra, posee actividad biológica (antioxidante y antihipertensiva), propiedades que pueden mejorarse por procesos fermentativos con el uso de bacterias ácido lácticas (Amoah et al., 2023). El chapulín silvestre es una plaga que afecta cultivos; sin embargo, implementando prácticas agroecológicas sustentables y libres de agroquímicos, puede seguir potencializando su aprovechamiento con un impacto positivo en el desarrollo regional. En este sentido, el grupo de química y biotecnología de productos lácteos del CIAD utilizó bacterias lácticas específicas aisladas de productos lácteos para fermentar harina de Chapulín (*Sphenarium purpurascens*) y del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), obteniendo un producto rico en compuestos bioactivos con potencial antioxidante y antihipertensivo. Estos hallazgos podrían favorecer el aumento del consumo de productos alimenticios a base de insectos con beneficios adicionales para la salud (Mendoza-Salazar et al., 2021).

Bovinos y porcinos

La preservación de la carne mediante el secado solar representa uno de los procesos artesanales más antiguos. Es un proceso sencillo que consiste en hacer trozos pequeños de carne, salarla y someterla a un proceso de secado directo al sol o, de manera más tecnificada, en hornos. El producto es conocido como carne seca, machaca, cecina o tasajo, y varía dependiendo de la región en el contenido de humedad, sal, grado de deshidratación, proceso de cocción, guisado, asado, molienda o adición de condimentos. En 2022, los principales productores de carne seca y machaca fueron Chihuahua y Sonora con 91 141 y 77 212 toneladas, respectivamente, lo que representa el 7.7% nacional.

Artesanamente, la carne seca se transforma en machaca mediante un proceso de asado y posterior hidratación para hacer más fácil su machacado, proceso que se realiza artesanalmente con una piedra, un palo o un molino especial. La machaca de mejor calidad se elabora con lomo o pulpa de res, u otro corte libre de nervios y bajo contenido de grasa (Guevara Aguilar et al., 2015).

La cecina o tasajo se prepara cortando la carne manualmente en tiras muy delgadas con la ayuda de un cuchillo (tasajear), las tiras de carne luego

son saladas y puestas a secar al sol (orear) para una deshidratación parcial por periodos que van, según la intensidad del sol, de 30 min a 3 h. Dichos productos son muy populares en mercados municipales y han mostrado la identidad en algunas regiones del país, siendo de gran importancia en el ámbito económico, social y cultural. Por ejemplo, la “cecina de Yecapixtla”, elaborada en Yecapixtla Morelos, se prepara cortando tiras largas de pulpa de res (10-20 m) que son expuestas al sol por periodos más cortos (entre 30 min y 2 horas) y, posteriormente, son saladas por ambos lados sobre camas de madera, proceso que le confiere una textura y sabor suave característicos. En otros estados como Oaxaca y Chiapas (por ej. Teopisca y Chiapa de Corzo), a la cecina se le conoce como “tasajo”.

Por otro lado, la elaboración de embutidos consiste en transformar productos y subproductos de origen animal (generalmente puerco) con la finalidad de utilizar cada parte del animal de forma cruda o cocinada, relleno de tripas con carne picada y condimentada con chile, vinagre y diferentes especias. Entre los embutidos producidos artesanalmente asociados a su origen se encuentra el “chorizo de Toluca” (verde o rojo). Otros productos de cerdo que se preparan de manera artesanal son los cueros y patas en vinagre “en curtidos”, los cuáles también pueden llevar verduras y chiles de la región para ser comercializados a granel o envasados en frascos. Considerando que la calidad sensorial del producto tiene un impacto sustancial en la percepción de los consumidores, a nivel laboratorio hemos estudiado la pigmentación anormal relacionada con la contaminación microbiológica y la oxidación lipídica durante el almacenamiento de la carne (Álvarez-Armenta et al., 2023).

Organismos acuáticos

La pesca en mares, lagos, ríos, presas y estanques de cultivo representa una actividad económica muy importante para nuestro país con un volumen de 1 millón 900 mil toneladas y un valor de 42 mil 100 millones de pesos para 2023, donde la pesquería artesanal juega un papel muy importante (CONAPESCA, 2024).

Camarón seco

El camarón es un alimento de gran aceptación a nivel mundial; México se posicionó en 2023 en 2do lugar con una producción de 243 mil toneladas con un valor de 23 mil 800 millones (CONAPESCA, 2024). A nivel artesanal, la captura de camarón se realiza en esteros, lagunas, marismas y altamar, haciendo uso de redes, atarraya, o utilizando el sistema de sierras, tapos o chiqueros (barreras de carrizo) que sirve para atrapar el camarón cuando baja la marea en los sistemas lagunares. La producción de camarón seco, también conocido como camarón “apastillado”, surgió como una estrategia a la carencia de congeladores y empacadoras en algunas zonas pesqueras con abundancia del recurso. El proceso de secado artesanal se lleva a cabo, principalmente, en campos pesqueros, predios u hogares cercanos al área donde se captura y la realizan familiares de pescadores, cooperativas, sociedades de producción pesquera ejidal o pescadores libres. El camarón se cuece en agua con sal (aprox. 5%) para, posteriormente, tenderlo en superficies de concreto, mantas o costales en el suelo para su deshidratación directa al sol durante 2 a 3 días, con un volteado constante para lograr un secado uniforme y así mantener el color característico rojo-naranja del carotenoide astaxantina (Noguera Muñoz, 2020). El proceso de secado y las condiciones ambientales influyen en el color y la textura del producto final, lo que le da un distintivo regional. Desde hace varias décadas los sistemas estuarinos entre el río Santiago en Nayarit y la laguna Caimanero en el sur de Sinaloa son reconocidos por su abundancia natural de camarón, donde las comunidades aledañas dependen en gran medida de los ingresos de la captura y venta de camarón fresco o seco. Durante la temporada de captura y mayor abundancia (Sep.-Nov), los pescadores y sus familias ponen a secar grandes cantidades de camarón para guardar, ya sea para autoconsumo o para comercializarlo cuando mejore su valor, ya que fuera de temporada puede alcanzar hasta 300% del valor inicial (Noguera Muñoz, 2020).

El camarón seco se vende a granel o se empaqueta en bolsas transparentes de polietileno o celofán para su venta directa, actividad que se mantiene durante todo el año. Aunque cada vez es menos frecuente, también se comercializa en “barcinas”, un tipo de empaque ancestral que consiste en envolver el camarón seco en forma de pelota tejida con hojas de palmera, que pueden

colorearse y generar ingresos adicionales para los artesanos que realizan dicha actividad.

Pescados secos y asados

El asado artesanal de pescado es un proceso que se realiza en muchas regiones costeras del país como un método de conservación debido a la falta de sistemas de refrigeración. Estos productos se preparan con especies abundantes en la región y la realizan familiares de pescadores o intermediarios que, posteriormente, lo comercializan en el mismo lugar o en mercados populares más apartados. Entre estos productos se encuentra la “lisa tatemada” (*Mugil cephalus*) en las costas de Nayarit, la cual posee un sabor y aroma característicos que le confiere la leña de mangle utilizada para su asado artesanal. En la costa chica de Oaxaca y Guerrero se preparan el barrilete negro (*Euthynus lineatus*) y el jurel (*Trachurus trachurus*) y en Tabasco el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). Dichos productos se comercializan enteros, en trozos o desmenuzados (sin espinas) a precios accesibles. El pescado asado se utiliza para preparar caldos, pescadillas u otros platillos característicos de cada región. La venta de pescado asado es de gran importancia económica para muchas familias y le dan identidad cultural a las comunidades pesqueras que cuentan con dicha tradición (Luna Jiménez, 2004; Mazorra-Manzano et al., 2000).

Por otro lado, el charal (*Chirostoma* spp.), junto con el pez blanco, forman un conglomerado de 22 especies endémicas de ríos y lagos de la Mesa Central de México y zonas lacustres del Valle de México (Lago de Texcoco), Michoacán (Lago de Pátzcuaro y Cuitzeo) y Jalisco (Lago de Chapala) (Navarrete Salgado, 2017). En 2021 su captura representó un volumen de 1,892 toneladas (peso vivo) con un valor comercial de alrededor de 33.5 millones de pesos, beneficiando a los pescadores de dichas regiones (SIAP, 2024). Los charales son especies magras muy nutritivas por su contenido de proteína de alto valor biológico, minerales (calcio, potasio, fósforo, entre otros) y vitaminas. Desde tiempos prehispánicos se utiliza el salado y secado solar como método de conservación. El proceso artesanal consiste en colocar el charal fresco en salmuera (10%) a 21°C por 30 minutos, para su posterior salado en seco y secado al sol por 3-4 días.

Actualmente, además de su presentación seco-salado se puede encontrar empanizado-frito y enchilado. El aprovechamiento de este recurso incide en los ámbitos biológico, ecológico, evolutivo, social, cultural y económico de la región donde se pesca y procesa. Como estrategia en los métodos de conservación, nuestro grupo ha evaluado el efecto crioprotector de las proteínas miofibrilares de *Dosidicus gigas*. En este sentido, compuestos nitrogenados de bajo peso molecular muestran ser una alternativa para la conservación de productos del mar (Ramírez-Suárez et al., 2024).

Productos lácteos artesanales

El aprovechamiento de la leche en la elaboración de diferentes productos lácteos ha formado parte de la cultura en muchas regiones ganaderas del país, donde la producción de quesos artesanales representa una actividad muy importante para las rancherías y los pueblos pequeños.

Los quesos artesanales mexicanos han pasado por una evolución constante que incorpora elementos culturales y productivos. Entre los más conocidos se encuentran el quesillo o queso Oaxaca, el queso Cotija (Jalisco y Michoacán), el queso bola de Ocosingo (Chiapas), el queso poro de Balancán (Tabasco), el queso oreado y enchilado (Nayarit y Jalisco), el queso Chihuahua o menonita (tipo Chester o Cheddar), entre otros (Villegas de Gante y Cervantes, 2011). Sin embargo, una de las características más importantes que distinguen a las diversas variedades radican en el proceso de obtención y trabajo de la cuajada. Otras variables incluyen el origen de la leche, el microambiente donde se elabora, el trabajo de la cuajada (molido a mano o metate), el salado, el moldeado (madera, cortezas, etc.), el prensado (piedras o mecanismos rústicos), la maduración (cavas, ambiente), el empaque, entre otros. Por ejemplo, el queso enchilado añejo de Zacatecas se elabora salando la cuajada, luego se drena, muele y moldea para, finalmente, adicionar chile rojo, ancho o guajillo en la superficie (Castañeda Martínez et al., 2009). Algunos quesos son envueltos en hojas, como la hoja de luna en el queso criollo (sierra alta de Hidalgo), la hoja de platanillo en el queso fresco (Veracruz), hojas de huichicata en el queso fresco de aro (Oaxaca), mientras que el queso de cincho es prensado o amarrado con una reata en regiones de Chiapas, Guerrero y Morelos. Dichos procesos muestran

cómo el conocimiento ancestral, transmitido de generación en generación, ha sustentado la creación de unidades productivas familiares y su preservación. Recientemente, han surgido nuevos mercados de quesos gourmet donde algunos productores artesanales han innovado en sus productos con la adicción de algunos frutos o vegetales regionales como nopales, chiles, especias y arándanos.

El jocoque y el requesón son otros productos lácteos que se caracterizan por su elaboración artesanal, dando identidad regional y formando parte de nuestra herencia cultural. El jocoque se prepara con crema separada manualmente de la leche fresca reposada en recipientes caseros u ollas de barro donde se fermenta de manera natural por bacterias propias de la leche durante 2-5 días, dando como resultado un producto ácido y cremoso con sabores acentuados característicos que lo hacen un producto artesanal de gran aceptación y demanda en todo el país (García-Caballero et al., 2018).

El queso de suero o requesón es un producto que se elabora a partir del suero drenado durante la elaboración de quesos, y es el resultado de una estrategia para optimizar la recuperación de componentes nutricios como proteínas y grasa mediante su agregación por tratamiento térmico (hervido del suero), evitando su desperdicio y reduciendo el impacto ambiental. En este sentido, Mazorra-Manzano y Moreno-Hernández (2019) documentaron la composición química, la calidad nutricional, las propiedades funcionales y los componentes bioactivos del suero de quesería. En este documento se resalta la buena aceptación y el alto contenido de proteína, lo cual le permite diversificar su uso y sus aplicaciones en la industria de alimentos como ingrediente proteico funcional. Adicionalmente, nuestro grupo de trabajo ha explorado otras alternativas naturales para la coagulación de la leche y para obtener quesos y requesón con mejores propiedades funcionales. Por ejemplo, Teutle-Paredes et al. (2024) y González-Velázquez et al. (2021) utilizaron las plantas de trompillo (*Solanum eleagnifolium*) y peralillo (*Vallesia glabra*), respectivamente, para obtener extractos enzimáticos con la capacidad de coagular las proteínas de la leche. También han caracterizado la diversidad de microorganismos presentes en el suero de leche fermentado para identificar potenciales cultivos para la elaboración de quesos artesanales (Mazorra-Manzano et al., 2022). Por otro lado, los dulces de leche como la cajeta de Celaya, el jamoncillo en Sonora y Sinaloa, y las

glorias de Linares, Nuevo León, también representan un grupo importante de alimentos que se elaboran artesanalmente a partir de la leche y dan identidad a dichas regiones.

Producción artesanal de alimentos de origen vegetal

Conservas y dulces

Las regiones tropicales del país se caracterizan por una gran abundancia y diversidad de frutos, donde destacan el mango, la piña, la papaya, el durazno, el aguacate, la guayaba, el tamarindo, la ciruela, el nanche, el coco y otros (SIAP, 2024). Una de las alternativas de procesamiento de frutos abundantes en ciertas regiones ha sido la elaboración de conservas y/o en almíbar, mermeladas y ates. Los frutos en almíbar se preparan con pulpa o frutos frescos enteros o rebanados, sanos y limpios, a los cuales se les adicionan ingredientes y aditivos permitidos (por ej. cloruro de calcio, azúcar, piloncillo y canela) para, finalmente, ser envasados en recipientes herméticamente cerrados, asegurando su conservación. La elaboración de estas conservas forma parte importante de la cultura y economía de muchas comunidades rurales del país, dándole identidad como productores de alimentos artesanales (Guzmán, 1998).

La producción artesanal de dulces típicos se realiza casi en todo el territorio mexicano para aprovechar y dar valor agregado a los recursos agrícolas locales, como leche, frutas, hortalizas, granos, semillas y la caña de azúcar. Productos como el camote de Puebla, la panocha de Ures y el rollo de guayaba de Tlalpan de Allende, Jalisco, son productos con reconocimiento de origen. Es decir, dependiendo de la fruta o región, le dan un toque distintivo al lugar. Otros productos, como el tamarindo, se usan para preparar tarugos (fruta mezclada con azúcar y chile piquín) o concentrados para bebidas, mientras que los cacahuates, nueces y semillas se utilizan para varios productos tradicionales. Por ejemplo, el cacahuete y las pepitas (principalmente de calabaza) se preparan asadas en comales de barro, lo que les imparte un sabor natural característico, pero también se preparan con sal, chile y/o con ajo. Los cacahuates, la nuez y otras semillas, como el amaranto,

también se utilizan solos o combinados para preparar dulces como las pepitorias o los garapiñados.

Productos secos como los chiles, la flor de jamaica y frutas de temporada, como el guamúchil o las ciruelas (cocidas con poca sal), son deshidratadas directamente al sol. En los municipios de Tuxpan y Ruiz, Nayarit, es común encontrar los plátanos pasados deshidratados al horno y empacados en su propia hoja. Por otro lado, el camote, la calabaza y la biznaga son vegetales que comúnmente se utilizan para preparar dulces cristalizados con azúcar. Es importante mencionar que la biznaga es una cactácea silvestre que, por su sobreexplotación, se encuentra en peligro de extinción por lo que su recolección está prohibida.

Productos a base de cacao

La producción de cacao en México oscila en 28 mil toneladas anuales, siendo Tabasco, Chiapas y Guerrero los principales productores. La producción de chocolate artesanal es típico de dichas regiones, donde algunas fábricas familiares han prevalecido desde su fundación en haciendas tales como la chocolatera Wolter (1958) en Comalcalco, Tabasco, El Mayordomo (1956) en Oaxaca y La Locomotora (1860) en Xalapa, Veracruz. El chocolate se comercializa en barras, polvo o chocolates gourmet, así como ingrediente para saborizar varios productos. El chilate es una bebida prehispánica de gran importancia cultural, originaria de Guerrero, y elaborada con cacao, arroz, canela y azúcar. En Chiapas, a esta bebida se le conoce como Tascalate, mientras que en Oaxaca el chilate se prepara sustituyendo el arroz por maíz (Aceves-Mares et al., 2024; Ayala Padilla, 2022).

Productos a base de nopal

El interés por el consumo de productos alimenticios más saludables y sustentables se ha incrementado recientemente en el país. Una opción son los alimentos vegetales que poseen un alto contenido de polifenoles, vitaminas, antioxidantes y fibra, componentes asociados a la prevención de enfermedades como la hipertensión, diabetes, cáncer y aterosclerosis (Aceves-Mares et al., 2024; Hernández-Becerra et al., 2022). El nopal es una cactácea con

la cual se preparan varios alimentos como tortillas (Ramírez-Moreno et al., 2015), conservas y productos deshidratados agridulces, salados o enchilados. Su alto contenido de fibra y sabor ligeramente ácido otorga una diversidad de texturas y sabores a los alimentos. Su consumo se ha asociado a mejoras en la digestión y a su efecto regulador del azúcar en sangre (anti-diabético).

Las propiedades benéficas para la salud de los consumidores de algunos alimentos artesanales de origen vegetal, más allá de los aportes nutricionales y sensoriales, podrían potencializar su comercialización debido a la presencia de compuestos bioactivos como los reportados en productos de cacao, maíz, nopal, y noni (Aceves-Mares et al., 2024; Hernández-Becerra et al., 2022; Ruíz-Pineda, 2023; Bonilla-Vega et al., 2022).

Bebidas a base de frutas y plantas

En México se producen varios tipos de bebidas a partir de frutas o plantas. En Michoacán, Guanajuato, Chiapas y otros estados se producen artesanalmente vinos a partir de frutas (por ej. arándanos, nanche, noni y zarzamora), mientras que Baja California es reconocido por el vino elaborado a partir de uvas cultivadas en la región. Por otro lado, las bebidas destiladas o espirituosas suelen representar un sector muy importante para la economía del país. El tequila se elabora exclusivamente de *Agave tequilana* Weber Var. *Azul* en Jalisco, Nayarit, Michoacán, Guanajuato y Tamaulipas, mientras que para elaborar el mezcal se utilizan más de 20 especies de agave, principalmente en los estados de Oaxaca y Guerrero. Por otro lado, en los municipios de la sierra de Sonora se elabora bacanora a partir de *Agave angustifolia*, también conocida como A. pacífica y A. yaquiiana. La producción artesanal de estas bebidas forma parte importante de la cultura y la economía de las regiones donde se elaboran y algunas se encuentran protegidas con una denominación de origen (Barrios Gamboa y Pérez Reyes, 2019; Regla Corona et al., 2023). Adicional al uso de las plantas como ingrediente base de bebidas tradicionales, el grupo de trabajo ha evaluado su potencial como fuente de enzimas proteolíticas que contribuyan a mejorar las propiedades sensoriales de bebidas y otros alimentos tradicionales (González-Velázquez et al., 2021; Teutle-Paredes et al., 2024).

Corredores turísticos basados en la producción artesanal de alimentos

Los alimentos tradicionales, por su producción y consumo, se pueden asociar a un territorio, llegando a ser considerados como un recurso turístico que proporciona la base o sustento para la creación de una ruta alimentaria. Esta última permite hacer recorridos basados en estos alimentos, donde el turista puede conocer toda la cadena de valor del alimento desde la materia prima, el proceso y el producto final, enfatizando el proceso artesanal. Esto se traduce en un beneficio económico para la región o comunidad al incrementar el valor de un destino, así como del propio alimento. Además, integra diferentes agentes económicos como productores primarios, restaurantes, tiendas, agroindustrias, hoteles, etc. Por ejemplo, tenemos la ruta del chocolate (cacao) en Tabasco, la ruta del café en Chiapas, la ruta del vino en Baja California, la ruta del tequila en Jalisco, entre otras.

Por otro lado, existen algunos alimentos artesanales que no han sido reconocidos o valorados y que aún enfrentan algunos desafíos para potenciar su comercialización. Estos se encuentran asociados a la falta de canales de distribución y su producción a pequeña escala. La falta de organización de las comunidades para el desarrollo de sociedades cooperativas y/o microempresas limita el volumen de su producción y el abaratamiento de los costos. Otros factores están asociados a la estacionalidad en la producción debido a la falta de disponibilidad de la materia prima durante todo el año.

Las propiedades nutricionales y los efectos benéficos para la salud que algunos productos ofrecen requieren ser evaluados para su reconocimiento y valoración. En este sentido, hemos explorado cómo el uso de algunos subproductos derivados de la elaboración de alimentos artesanales, como el caso del suero derivado de la quesería, contiene compuestos, principalmente péptidos, con potencial actividad antihipertensiva (Mazorra-Manzano et al., 2022). Asimismo, la estandarización y las mejoras de los procesos, implementando buenas prácticas de higiene y calidad, contribuirían al impulso comercial de estos productos en supermercados, tiendas especializadas y otros centros de distribución. La implementación de buenas prácticas de manufactura durante la elaboración de alimentos artesanales es una necesidad que requiere ser atendida para asegurar su inocuidad y cumplir con

la normativa sanitaria existente. Aunque los estudios de calidad e inocuidad de estos productos son escasos, los reportes sobre la calidad sanitaria del chorizo rojo de Toluca y los quesos frescos sustentan su importancia (Becerril Sánchez et al., 2019; Valderrábano Peralta, 2007).

Conclusiones

Diversos alimentos de producción artesanal han cruzado fronteras y su reconocimiento ha permitido el fortalecimiento social y económico de las regiones donde se producen. El procesamiento y la agregación de valor a los recursos agrícolas, pecuarios y pesqueros abundantes en regiones específicas son un patrimonio que otorga identidad, fortalece la economía local y la soberanía alimentaria nacional. No obstante, existen alimentos artesanales que aún no logran este objetivo, pues requieren mejoras en los procesos, así como la implementación de prácticas de higiene y calidad. Las rutas turísticas de alimentos tradicionales representan una estrategia adecuada que trae consigo grandes beneficios económicos a la regiones o pueblos donde se impulsan, incrementado el valor de un destino, así como del propio alimento.

Referencias

- Amoah, I., Cobbinah, J. C., Yeboah, J. A., Essiam, F. A., Lim, J. J., Tandoh, M. A., y E. Rush. (2023). Edible insect powder for enrichment of bakery products– A review of nutritional, physical characteristics and acceptability of bakery products to consumers. *Future Foods*, 8, 100251.
- Aceves-Mares, L., Velásquez-Reyes, D., Alcázar-Valle, M., Mojica, L., y E. Lugo-Cervantes. (2024). Cacao criollo cultivado en México: características fisicoquímicas, aromáticas y bioactivas. *Horizontes Transdisciplinarios*, 2(1), 117-132.
- Ayala Padilla, E. (2021). Caracterización de bebidas tradicionales mexicanas para el desarrollo de saborizantes que puedan ser incorporados a fórmulas lácteas. Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Barrios Gamboa, A. Y., y Y. G. Pérez Reyes. (2019). Elaboración de bebida fermentada tipo vino con mora y maracuyá. [Tesis Licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].
- Becerril Sánchez, A. L., Dublán García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi Coterio, D., y B. Quintero-Salazar. (2019). La calidad sanitaria del chorizo rojo tradicional que se

- comercializa en la ciudad de Toluca, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1), 172-185.
- Benítez Silva, V. (2017). Turismo gastronómico, los alimentos tradicionales como producto cultural: el caso de Aculco de Espinoza, México. [Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México].
- Bonilla-Vega, L., Hernández-Castro, E., Gutiérrez-Dorado, R., Villamar-Vázquez, M., Sarabia-Ruiz, G., y J. L. Valenzuela Lagarda. (2022). Effect of nixtamalization extrusion conditions in purple creole corn (*Zea mays* L.) from the state of Guerrero on nutritional and functional properties of the optimized corn flour. *Food Science and Technology*, 42 (1) 1-8.
- Camacho Vera, J. H., Cervantes Escoto, F., Cesín Vargas, A., y M. I. Palacios Rangel. (2019). Los alimentos artesanales y la modernidad alimentaria. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(53).
- Castañeda Martínez, T., Boucher, F., Sánchez Vera, E., y A. Espinoza Ortega. (2009). La concentración de agroindustrias rurales de producción de quesos en el noroeste del Estado de México: un estudio de caracterización. *Estudios Sociales*, 17(34), 73-109.
- CONAPESCA. (2024). <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-mexico-mas-de-1-millon-900-mil-toneladas-de-especies-pesqueras-y-acuicolas-en-2023?idiom=es>, Comunicado 17 de enero.
- Espinosa-Moreno, J., Carrera-Lanestosa, A., Centurión-Hidalgo, D., Baeza-Mendoza, L., García-Centurión, J. A., y B. A. Sánchez-Ruiz. (2022). Identificación de los alimentos tradicionales de Tabasco para la determinación de su potencial como artesanía alimentaria. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59).
- García-Caballero, B. E., Muñoz-Ríos, R., Pensabem, M., Villarreal-Cabrera, M. L., Reyes-Vázquez, Z. C., González-Herrera, S. M., Rodríguez-Herrera, R., y O. M. Rutiaga-Quñones. (2018). Jocoque: Un alimento lácteo fermentado tradicional como potencial funcional. *Agro productividad*, 11(7), 107-111.
- Guevara Aguilar, A., Alarcón Rojo, A., Chávez Mendoza, C., Corral Flores, G., Ronquillo Aboite, J., y R. Hernández Sigala. (2015). Manual de sacrificio, manejo y procesado artesanal de carne de ganado bovino: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Hermosillo, México.
- Guzmán, E. C. (1998). Situación actual de la cadena productiva del mango en México. Foro Internacional de Mango y Otras Frutas Tropicales. FIRA- Banco de México, CIA-NO, INIFAP, Mazatlán, Sinaloa. México.
- Hernández-Becerra, E., de los Ángeles Aguilera-Barreiro, M., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., y M.E. Rodríguez-García. (2022). Nopal cladodes (*Opuntia Ficus Indica*): Nutritional properties and functional potential. *Journal of Functional Foods*, 95, 105183.
- Luna Jiménez, P. (2004). Nayarit: Tres recorridos gastronómicos y algunos secretos del fogón. Universidad Autónoma de Nayarit. pp. 57-57.
- Mazorra-Manzano, M. A., y J. M. Moreno-Hernández. (2019). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *CienciaUAT*, 14(1), 133-144.

- Mazorra-Manzano, M. A., Pacheco-Aguilar, R., Díaz-Rojas, E. I., y M. E. Lugo-Sánchez. (2000). Postmortem Changes in Black Skipjack Muscle During Storage in Ice. *Journal of Food Science*, 65(5), 774-779.
- Navarrete Salgado, N. A. (2017). Chirostoma (menidia): Ecología y utilización como especie de cultivo en estanques rústicos. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 10(37), 736-748.
- Noguera Muñoz, F. A. (2020). Sistemas Productivos Súper-intensivos de Camarón y su Importancia en el Desarrollo Económico Local del Municipio de San Blas, Nayarit-México. *Maestría en Desarrollo Económico Local*, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic Nayarit.
- Patente WO2007094652A2. Proceso para el cultivo intensivo de chapulines y sus derivados libres de contaminantes para consumo humano.
- Ramírez-Moreno, E., Córdoba-Díaz, M., de Cortes Sánchez-Mata, M., Marqués, C. D., y I. Goñi. (2015). The addition of cladodes (*Opuntia ficus indica* L. Miller) to instant maize flour improves physicochemical and nutritional properties of maize tortillas. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 675-681.
- Regla Corona, D. N., Mondragón Cortez, P. N., y J. E. López Ramírez. (2023). Huella espectral de bebidas destiladas de agave mediante espectroscopia de infrarrojo. En R. M. Camacho Ruiz, A. Gutiérrez Mora y A. C. Gschaedler Mathis (Eds.) *Los Agaves y sus Derivados: Tendencias Científicas, Uso Sostenible y Patrimonio* (pp. 199-208). México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.
- Ruíz-Pineda, B., Blanco-Ramírez, L., Baldovinos-Leyva, I., y C. E. Millán-Testa. (2023). Composición química y perfil fitoquímico de galletas a base de harina de noni (*Morinda citrifolia*) y harina de plátano macho en estado verde (*Musa paradisiaca*). *Foro de Estudios sobre Guerrero*. <https://revistafesgro.cocytieg.gob.mx/index.php/revista/article/view/72>
- SADER. (2024). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/garantizado-abasto-de-camaron-en-cuaresma-productores-pesqueros-y-acuicolas>, Comunicado 10 marzo.
- SIAP. (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap>
- Valderrábano Peralta, I. (2007). Determinación de la calidad microbiológica de queso fresco y requesón producidos en forma artesanal que se expenden en comercios establecidos del mercado Hidalgo de San Pedro Cholula, Puebla. [Tesis Licenciatura. Ciencias Farmacéuticas. Universidad de las Américas, Puebla].
- Villegas de Gante, A., y E. F. Cervantes. (2011). La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales*. 19 (38), 146-163.

13. Estudios sobre la calidad y bioactividad de quesos genuinos mexicanos para su revalorización



BELINDA VALLEJO-CÓRDOBA*

AARÓN FERNANDO GONZÁLEZ-CÓRDOVA**

ADRIÁN HERNÁNDEZ MENDOZA***

LILIA MARÍA BELTRÁN-BARRIENTOS****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.13>

Resumen

Este capítulo presenta información relevante sobre la calidad y bioactividad de los quesos genuinos mexicanos para contribuir a su revalorización y rescate. Estos, al ser mayormente artesanales, forman parte del patrimonio cultural y reflejan el saber hacer de los pueblos en las diferentes regiones del país. Para lograrlo, se realizó una síntesis de las investigaciones científicas de nuestro grupo de investigación y otros trabajos nacionales e internacionales obtenidos de tres bases de datos en el periodo del 2000 a la fecha, utilizando como palabras únicas “Mexican cheeses”, “artisanal Mexican cheeses”, “quesos mexicanos” y “quesos artesanales mexicanos”. Los resultados mostraron que 55% de las publicaciones reportaron calidad microbiológica, 22% estudiaron métodos de producción y caracterización físico-química de diferentes variedades, 17% presentaron el aislamiento y la caracterización de bacterias ácido-lácticas (BAL) y 6% reportaron el potencial bioactivo de los quesos. La situación actual de los quesos artesanales

* Doctorado en Filosofía. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8312-7039> ; correspondencia: vallejo@ciad.mx

** Doctor en Ciencias en Alimentos. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0674-4217>

*** Doctor en Ciencias de los Alimentos. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2360-7484>

**** Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-6216>

mexicanos ha presentado retos importantes para asegurar su calidad microbiológica que ha sido abordado por medio del uso de BAL específicas, productoras de antimicrobianos naturales en los diferentes tipos de quesos sin afectar su tipicidad. Otro reto ha consistido en potencializar la producción de compuestos bioactivos por medio de la selección y adición de BAL específicas para probar su efecto benéfico en la salud por medio de estudios *in vitro* e *in vivo*. En conclusión, es importante rescatar y preservar la genuinidad que caracteriza a los quesos artesanales mexicanos a través de estudios relacionados con su inocuidad, tipicidad y beneficios a la salud.

Palabras clave: *quesos genuinos mexicanos, bacterias ácido-lácticas, inocuidad y compuestos bioactivos.*

Introducción

En México, la producción anual de queso en el año 2022 fue de 632 895 toneladas. En específico, la mayor producción industrial fue de queso fresco (125 602 toneladas), seguido por queso doble crema (108 697 toneladas) y queso chihuahua (75 568 toneladas) (Canilec, 2023). Hasta el momento, se desconoce la producción anual de quesos artesanales genuinos mexicanos. No obstante, en el país existen más de 40 tipos de estos quesos. Los quesos genuinos mexicanos forman parte del patrimonio cultural y son un ingrediente importante de la gastronomía tradicional reconocida por la UNESCO en 2010 como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad (Vallejo-Córdoba et al., 2023); sin embargo, algunos se encuentran en riesgo de desaparecer debido a la competencia frente a los quesos de imitación (Cuevas-González et al., 2017). Los quesos genuinos mexicanos, mayormente artesanales, representan el saber hacer, heredado de generación en generación, de las pequeñas queserías que se encuentran en las diferentes regiones de México y se elaboran desde épocas coloniales (Villegas et al., 2016).

Estos quesos son elaborados a partir de leche fluida, de vaca o cabra; generalmente solo contienen cuajo y sal como ingredientes y, en gran proporción, se elaboran con leche cruda, lo que pudiera tener implicaciones en la inocuidad (Villegas et al., 2016). No obstante, la Norma Oficial Mexicana

NOM-243-SSA1-2010 (Secretaría de Salud, 2010) incorpora en su definición que la leche debe ser pasteurizada y estandarizada, por lo que excluye a los quesos elaborados de leche cruda y añejados, y da lugar a la inclusión de otros ingredientes comestibles presentes en los productos de imitación. De acuerdo con esta normativa, lo relevante es que el producto sea estandarizado y elaborado a partir de leche pasteurizada.

Aunque el requerimiento de la pasteurización en dicha Norma Oficial Mexicana contribuye a la inocuidad del producto, particularmente de los quesos frescos, ésta no garantiza que pueda haber contaminación post-pasteurización, como ha sido reportado para varios casos específicos de listeriosis. Por lo que se han propuesto los antimicrobianos naturales como biocontrol (Ibarra-Sánchez et al., 2018).

Por lo anterior, y debido a que los quesos frescos son los más consumidos, se ha estudiado la calidad microbiológica y la composición de los mismos (Torres-Llenez et al., 2006; Cuevas-González et al., 2017; de la Rosa-Alcaraz et al., 2020; Méndez-Romero et al., 2021), incluyendo los métodos de producción y caracterización de los quesos frescos y semi madurados (González-Córdova et al., 2016), la producción de queso fresco a partir de leche pasteurizada y BAL capaces de producir bacteriocinas (Heredia-Castro et al., 2015). Todo esto les confiere características sensoriales únicas típicas del queso fresco artesanal mexicano (Gutiérrez-Méndez et al., 2008; Reyes-Díaz et al., 2019). Además, recientemente se reportó cómo el proceso de manufactura de quesos artesanales mexicanos específicos determina la composición física, química y microbiológica de los mismos, así como su potencial como alimentos funcionales por generar compuestos bioactivos durante la fermentación con BAL (Vallejo-Córdova et al., 2023).

Por lo que este capítulo presenta información relevante relacionada con esta temática generada a partir de la investigación de nuestro grupo, la cual ha sido complementada con la de otros grupos para contribuir al rescate y la revalorización de los quesos genuinos mexicanos.

Métodos

Para alcanzar este objetivo, se realizó una síntesis de las investigaciones científicas de nuestro grupo de investigación y otros trabajos nacionales e internacionales obtenidos de tres bases de datos (Science Direct, Scopus y PubMed) en el periodo del 2000 a la fecha, utilizando como palabras únicas “Mexican cheeses”, “artisanal Mexican cheeses”, “quesos mexicanos” y “quesos artesanales mexicanos”.

Resultados relevantes

Generalidades

Del total de artículos analizados (172), 55% evaluaron la calidad microbiológica de los quesos mexicanos, indicando que su inocuidad es la problemática principal. Por otro lado, el 22% de los artículos reportaron los métodos de producción y la caracterización de al menos 40 variedades; la mayoría de estos fueron regionales y, en gran proporción, elaborados con leche cruda, lo que permitió clasificarlos en quesos frescos, semimaduros y maduros, siendo los frescos los de mayor consumo en México (González-Córdova et al., 2016). Además, 17% de los artículos se enfocaron en el aislamiento y la caracterización de las BAL (Gutiérrez-Méndez et al., 2008; Santiago-López et al., 2018a) y solo 6% se relacionaron con la presencia de compuestos bioactivos (Santiago-López et al., 2017).

Calidad microbiológica de los quesos genuinos mexicanos

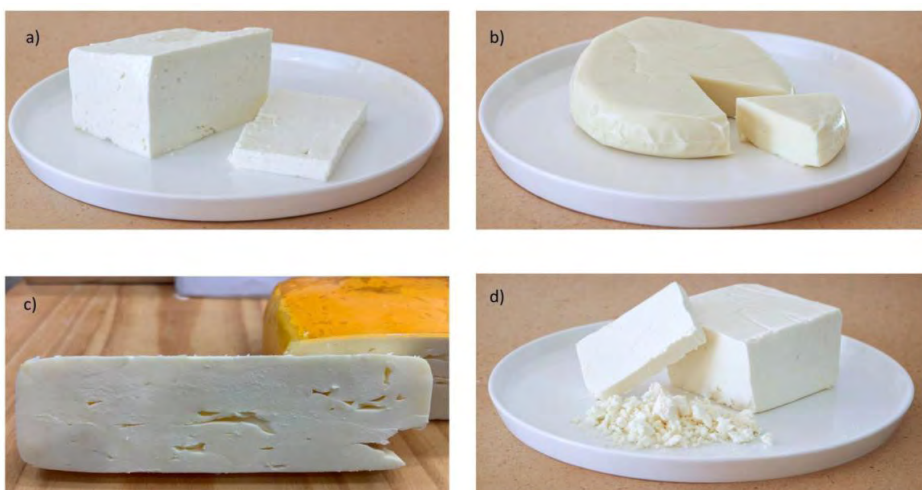
Los casos de listeriosis asociados al consumo de queso fresco por la población hispana en los Estados Unidos de Norteamérica han sido ampliamente reportados (Ibarra-Sánchez et al., 2017; Holle et al., 2018). No obstante, los antimicrobianos naturales, tales como bacteriocinas producidos por bacterias ácido-lácticas (BAL), ácidos orgánicos y otros fermentados fueron propuestos como biocontrol (Ibarra-Sánchez et al., 2018).

El queso fresco, por ser un queso no madurado y contener un alto contenido de humedad y por ser bajo en sal y acidez, es susceptible a la contami-

nación con patógenos, particularmente *Listeria monocytogenes*, que puede sobrevivir a temperaturas de refrigeración. Si bien el primer caso de listeriosis documentado en 1985 fue atribuido a una pasteurización insuficiente o a la introducción de leche cruda en leche pasteurizada durante el proceso de manufactura, el segundo caso de listeriosis, en 2000-2001, fue atribuido al consumo de quesos elaborados con leche cruda contaminada. Los últimos casos de listeriosis reportados fueron atribuidos a la producción de quesos frescos bajo condiciones que permitieron contaminación post-pasteurización (Ibarra-Sánchez et al., 2017).

Por lo anterior, con la finalidad de abordar esta problemática relacionada con la calidad microbiológica e inocuidad de los quesos, nuestro grupo de investigación caracterizó microbiológicamente los quesos frescos de Sonora (Figura 1a) (Torres-Llánez et al., 2006), el cocido de Sonora (Figura 1b) (Cuevas- González et al., 2017), y el poro de Tabasco (Figura 1c) (De la Rosa Alcaraz et al., 2020) por técnicas dependientes de cultivo. Además, los quesos crema de Chiapas (Figura 1d) y el queso fresco de Sonora se caracterizaron por técnicas no dependientes de cultivo, por electroforesis en gel con gradiente desnaturalizante (DGGE, por sus siglas en inglés) (Rangel, 2011) y por secuenciación masiva (Méndez-Romero et al., 2021), respectivamente.

Figura 13.1. Quesos artesanales mexicanos: a) queso fresco artesanal de Sonora; b) queso cocido artesanal de Sonora; c) queso poro artesanal de Tabasco; d) queso crema artesanal de Chiapas



Fuente: imágenes propias.

Los estudios en queso fresco presentaron cuentas altas en mesófilos aerobios, hongos y levaduras, *Staphylococcus spp.* y organismos indicadores como coliformes. Sin embargo, BAL tales como *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.* y *Streptococcus spp.*, incrementaron durante el almacenamiento, reduciendo el pH y los microorganismos indeseables (Torres-Llenez et al., 2006). Además, el análisis por secuenciación masiva de queso fresco muestreado de 18 queserías en Sonora mostró una gran diversidad de bacterias pertenecientes a más de 80 géneros, dentro de los cuales BAL tales como *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Streptococcus spp.* y *Leuconostoc spp.* fueron los más abundantes.

Además, se detectaron altas concentraciones de coliformes fecales y totales, hongos y levaduras, así como *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, pero no se detectó *Listeria monocytogenes* (Méndez-Romero et al., 2021). Resultados similares se obtuvieron para el queso cocido de Sonora, no obstante, las cuentas disminuyeron significativamente después del proceso de cocimiento, que es parte del proceso de elaboración (Cuevas-González et al., 2017).

Por otro lado, también se estudiaron quesos artesanales del sureste del país, tales como el queso poro de Tabasco y crema de Chiapas, que tienen menor contenido de humedad, mayor acidez y contenido de sal que los quesos fresco o cocido de Sonora. En el queso poro de Tabasco con Marca Colectiva, durante un muestreo de 6 queserías, se detectó *Staphylococcus aureus* y su toxina, pero no presentó *Escherichia coli*, *Salmonella* o *Listeria monocytogenes*. Por su parte, el queso crema de Chiapas, que también posee Marca Colectiva, presentó *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, pero no presentó *Salmonella* o *Listeria monocytogenes*. Además, la dinámica poblacional de BAL por DGGE, de productos PCR obtenidos de DNA extraído a los 15 y 30 días de maduración, fue diferente tanto en estructura como en diversidad, y estuvo relacionada con la región de producción y estación del año. Los géneros de BAL dominantes en todos los quesos muestreados fueron *Lactococcus*, *Lactobacillus* y *Streptococcus* (Vallejo-Córdoba et al., 2023).

Si bien la presencia de microorganismos indicadores, tales como los coliformes fecales y totales, así como la presencia de patógenos, depende del tipo de queso y de las prácticas de producción, es evidente que tanto los quesos fresco y cocido de Sonora, como los quesos de poro de Tabasco y

crema de Chiapas, presentan un potencial riesgo para la salud. Como se mencionó anteriormente, la pasteurización podría no ser suficiente para asegurar la inocuidad de los quesos, ya que podría presentarse contaminación post-pasteurización, por lo que se ha explorado el potencial de las BAL como bioconservadores naturales.

Actualmente, continuamos trabajando con la problemática relacionada con la calidad microbiológica e inocuidad de los quesos genuinos mexicanos a través de nuestra participación en la Red para el Fomento de la Calidad e Inocuidad en Queserías Artesanales en Iberoamérica (QuesArte Iberoamérica 122RT0126). Ésta tiene como objetivo añadir valor a la producción artesanal de quesos, fomentando la implementación de buenas prácticas de manufactura para la producción de alimentos seguros y bajo una perspectiva de comercio justo.

Bacterias ácido-lácticas aisladas de quesos genuinos mexicanos

Con la finalidad de preservar la tipicidad de los quesos genuinos mexicanos, se aislaron y caracterizaron 23 cepas de *Lactococcus lactis*, a las cuales se les evaluó su capacidad de producción de aromas al ser inoculadas en leche por medio de una nariz electrónica y una evaluación sensorial. En general, las cepas provenientes de lácteos artesanales presentaron aromas a yogurt y queso fresco, particularmente una de ellas, y las provenientes de vegetales, presentaron aromas a yogurt, mientras que las aisladas de cultivos comerciales presentaron una baja intensidad en ambos descriptores (Gutiérrez-Méndez et al., 2008).

Si bien la producción de queso fresco a partir de leche pasteurizada resulta en un producto de mejor calidad sanitaria, la pasteurización afecta a los atributos sensoriales del producto, ya que ésta inactiva a la microflora nativa en la leche que es la que confiere el sabor y aroma característicos. Por lo que se utilizaron algunas de estas cepas nativas de *Lactococcus* aisladas y caracterizadas para la producción de queso fresco a partir de leche pasteurizada con el objetivo de obtener un producto con un sabor y aroma similar al elaborado con leche cruda (Reyes-Díaz et al., 2019).

Para lograr este objetivo, el aroma del queso fresco comercial elaborado a partir de leche cruda fue por primera vez estudiado con un análisis sensorial descriptivo, dando lugar a diferentes descriptores que se utilizaron posteriormente para caracterizar a los quesos elaborados a partir de leche pasteurizada y cepas específicas de *Lactococcus lactis*. Los grupos de volátiles identificados en los quesos fueron ésteres, ácidos, alcoholes, cetonas y aldehídos; sin embargo, las diferencias principales se debieron a las abundancias relativas totales. Por lo que se concluyó que la selección de cepas nativas con características tecnológicas y de aroma específicas, tales como las presentadas por *Lactococcus lactis* R7, podría mantener la tipicidad del queso fresco artesanal mexicano (Reyes-Díaz et al., 2019).

Por otro lado, nuestra investigación también ha estado dirigida hacia el estudio de BAL que, además de aportar sabor y aroma a los quesos (Gutiérrez-Méndez et al., 2008; Reyes-Díaz et al., 2019), contribuyen a su conservación debido a la producción de diversos metabolitos como el ácido láctico, peróxido de hidrógeno, diacetilo, dióxido de carbono y bacteriocinas, siendo estas últimas las que mayor interés han despertado (Heredia-Castro et al., 2015). En este sentido, se realizó una caracterización genómica de *Lactococcus lactis* NRRL B-50571 y se encontró que esta cepa tiene la capacidad de producir bacteriocinas y metabolitos secundarios, particularmente *lactococcins* (Méndez-Romero et al., 2023).

Por otro lado, se evaluaron cepas de *Lactobacillus* aisladas de queso cocido artesanal por su capacidad para producir bacteriocinas contra *Staphylococcus aureus*, *Listeria innocua*, *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium* usando el método de difusión en disco. Los extractos crudos de *Lactobacillus fermentum* mostraron una fuerte inhibición contra *Staphylococcus aureus*, *Listeria innocua*, *Escherichia coli* y *Salmonella cholerae*, no solo contra bacterias Gram positivas, sino también contra bacterias Gram negativas (Heredia-Castro et al., 2015). No obstante, aún es necesario evaluar la capacidad de estas cepas para ser utilizadas como bioconservadores en estudios de reto microbiano en diferentes quesos artesanales mexicanos.

Compuestos bioactivos en quesos genuinos mexicanos

Durante la elaboración y maduración de los quesos genuinos mexicanos resultan diferentes compuestos del metabolismo de las BAL presentes, los cuales son responsables del aroma, sabor y la textura característicos. Además, también se producen compuestos bioactivos tales como péptidos (Santiago-López et al., 2017), ácido linoleico conjugado (CLA) (Sosa-Castañeda et al., 2023) y ácido gamma aminobutírico (GABA) (Santos-Espinosa et al., 2020), entre otros. Los péptidos bioactivos son fragmentos de proteína que se encuentran encriptados en su secuencia nativa, que son liberados durante la fermentación de la leche por las BAL a través del sistema proteolítico presente en su pared y que ejercen un efecto benéfico a la salud (Rendón-Rosales et al., 2019). Por lo que la presencia de péptidos bioactivos, así como BAL productoras de CLA y GABA en los quesos mexicanos genuinos los revaloriza, ya que le aporta beneficios a la salud, más allá del aporte nutricional.

En específico, nuestro grupo de investigación ha evaluado la actividad antioxidante de quesos artesanales mexicanos tales como el crema de Chiapas y el fresco y cocido de Sonora. En este sentido, la actividad antioxidante *in vitro* del queso tipo crema de Chiapas, así como el fresco y cocido de Sonora; mostraron tener mayor actividad antioxidante a los 15 días de almacenamiento. Incluso la actividad antioxidante fue atribuida a 9, 6 y 16 nuevos péptidos identificados en los quesos tipo crema, fresco y cocido; respectivamente (Aguilar-Toalá et al., 2022).

Por otro lado, se elaboró queso fresco a partir de leche pasteurizada y cepas específicas previamente aisladas de queso fresco artesanal (Torres-Llana et al., 2006); y posteriormente, se determinó el efecto antihipertensivo *in vitro* (inhibición de la enzima convertidora de angiotensina-I (ECA)). Finalmente, se identificaron 11 nuevos péptidos inhibidores de la ECA liberados a partir de la elaboración del queso fresco con estas cepas específicas (Torres-Llana et al., 2011). Aunado a lo anterior, se han estudiado leches fermentadas por cepas aisladas de queso mexicanos artesanales, las cuales han mostrado un potencial efecto cardioprotector, antioxidante, inmunomodulador, anti diabetogénico, antiobesogénico y neuroprotector (Rendón-Rosales et al., 2019; Zambrano-Cervantes et al., 2023; Beltrán-Barrientos

et al., 2018; Santiago-López et al., 2018b; Manzanarez-Quin et al., 2023; Castro, 2023).

Con este mismo enfoque; y con la finalidad de rescatar y revalorizar a los quesos genuinos mexicanos, nuestro grupo está trabajando en un proyecto de Ciencia de Frontera (CF-2023-G-1129) apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) intitulado “Rescate y revalorización de saberes tradicionales ligados a los alimentos fermentados mexicanos: coadyuvando a la salud neurológica”. El objetivo de este proyecto es estudiar el efecto benéfico de componentes bioactivos presentes en alimentos tradicionales fermentados mexicanos, tales como el queso fresco artesanal, entre otros, para su revalorización como coadyuvantes en la salud neurológica. Para lograr el objetivo se están realizando estudios *in vitro* e *in vivo* para determinar el efecto neuro protector de la leche y quesos inoculados con BAL específicas y su relación con la microbiota intestinal. En este sentido, recientemente, se determinó el potencial efecto neuro protector de leches fermentadas por cepas aisladas de quesos artesanales mexicanos (Castro, 2023).

Perspectivas y retos

La falta de reconocimiento y revalorización de los quesos genuinos mexicanos, aunada a la industrialización, ha contribuido a la pérdida de su identidad y tipicidad. Por lo que nuestro mayor interés ha sido rescatar y preservar la genuinidad de los quesos artesanales mexicanos a través de nuestros trabajos relacionados con su inocuidad, tipicidad y beneficios a la salud. En este aspecto, la información generada en nuestros trabajos, y por otros grupos de investigación, podría establecer las bases para revalorizarlos a través de una protección legal que permita obtener la Denominación de Origen (DO) para aquellos quesos semi madurados que ya cuentan con Marca Colectiva (MC), o bien, una Marca Colectiva para aquellos quesos que aún no cuentan con esta protección.

Asimismo, esta revalorización permitiría salvaguardar las tradiciones y costumbres de nuestra cultura gastronómica y, a su vez, evitaría la competencia desleal de los quesos de imitación que hoy en día se encuentran en

el mercado. Una DO o MC permitiría diferenciar a los quesos genuinos mexicanos, posicionándolos en el mercado, logrando su reconocimiento, manteniendo su calidad y promoviendo la colaboración entre los miembros productores. Asimismo, una DO o una MC promueve el desarrollo económico de las regiones, generando bienestar social. No obstante, el asegurar la inocuidad de los quesos artesanales continúa siendo el reto más importante para promover su comercialización más allá de sus regiones de origen. Adicionalmente, debido a que la NOM-243-SSA1-2010 establece que los quesos deben ser forzosamente elaborados a partir de leche pasteurizada, es necesario que se desarrollen normas específicas para los quesos artesanales con potencial para lograr una DO o MC.

Conclusiones

La producción de quesos genuinos mexicanos que utilizan la fermentación por BAL confiere características únicas típicas del queso artesanal mexicano, además de presentar un potencial efecto benéfico a la salud, como resultado de la producción de compuestos bioactivos. No obstante, la situación actual de los quesos artesanales mexicanos enfrenta retos importantes tales como asegurar su inocuidad por medio del uso de BAL específicas productoras de antimicrobianos naturales en los diferentes tipos de quesos, sin afectar su tipicidad. Además, otro reto consiste en potencializar la producción de compuestos bioactivos por medio de la selección de BAL específicas y probar su efecto benéfico en la salud por medio de estudios *in vivo*. Finalmente, la Marca Colectiva para los quesos artesanales que no cuentan con esta protección, así como la Denominación de Origen para los quesos semimaduros que ya cuentan con una Marca Colectiva, permitiría lograr su rescate y reconocimiento con una protección legal para posicionarlos en el mercado como un alimento diferenciado de los quesos de imitación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONAHCYT por el financiamiento de los proyectos de Ciencia Básica y de Frontera 240338 (2014), FOINS-308-2018 (FC-2016-2-2757) y CF-2023-G-1129, así como de la Red para el fomento de la calidad e inocuidad en queserías artesanales en Iberoamérica —QuesArte Iberoamérica (122RT0126)— del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

Referencias

- Aguilar-Toalá, J. E., M. J. Torres-Llanaez, A. Hernández-Mendoza, R. Reyes-Díaz, B. Vallejo-Córdova y A. F. González-Córdova (2022). Antioxidant capacity and identification of radical scavenging peptides from Crema de Chiapas, Fresco and Cocido cheeses. *Journal of Food Science and Technology*, 59(7), 2705-2713. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05291-2>
- Beltrán-Barrientos, L. M., A. F. González-Córdova, A. Hernández-Mendoza, E. H. Torres-Inguanzo, H. Astiazarán-García, J. Esparza-Romero y B. Vallejo-Córdova. (2018). Randomized Double-Blind Controlled Clinical Trial of the Blood Pressure-Lowering Effect of Fermented Milk with *Lactococcus lactis*: A Pilot Study. *Journal of Dairy Science*, (101), 2819–2825. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13189>.
- Cámara Nacional de la Industria Lechera/Canilec. (2023). Estadísticas del sector lácteo 2013-2023. www.canilec.org.mx/estadísticas 2013-2023.
- Castro Salomón, M. (2023). Potencial efecto neuro protector de leches fermentadas con cepas específicas de *Lactococcus* y *Lactobacillus*. [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora].
- Cuevas-González, P. F., P. Y. Heredia-Castro, J. I. Méndez-Romero, A. Hernández-Mendoza, R. Reyes-Díaz, B. Vallejo-Córdova y A. F. González-Córdova. (2017). Artisanal Sonoran cheese (Cocido cheese): an exploration of its production process, chemical composition and microbiological quality. *Journal of Science and Food Agriculture*, (97), 4459-4466. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8309>.
- De la Rosa-Alcaraz, M. A., A. M. Ortiz-Estrada, P. Y. Heredia-Castro, A. Hernández-Mendoza, R. Reyes-Díaz, B. Vallejo-Córdova y A.F. González-Córdova. (2020). Poro de Tabasco cheese: Chemical composition and microbiological quality during its artisanal manufacturing process. *Journal of Dairy Science*, (103), 3025-3037. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17363>.
- González-Córdova, A. F., C. Yescas, A. M. Ortiz-Estrada, M. A. de la Rosa-Alcaraz, Her-

- nández-Mendoza y B. Vallejo-Córdoba. (2016). Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*, (99), 3250- 3262. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10103>.
- Gutiérrez-Méndez, N., B. Vallejo-Córdoba, A. F. González-Córdova, G. V. Nevárez-Moori-llón y B. Rivera-Chavira. (2008). Evaluation of Aroma Generation of *Lactococcus lactis* with an Electronic Nose and Sensory Analysis. *Journal of Dairy Science*, (91), 49-57. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0193>.
- Heredia-Castro, P. Y., J. I. Méndez-Romero, A. Hernández-Mendoza, E. Acedo-Félix, A. F. González-Córdova y B. Vallejo-Córdoba. (2015). Antimicrobial activity and partial characterization of bacteriocin-like inhibitory substances produced by *Lactobacillus* spp. isolated from artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*, (98), 8285-8293. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10104>.
- Holle, M. J., L. A. Ibarra-Sánchez, X. Liu, J. Stasiewicz y M. J. Miller. (2018). Microbial analysis of commercially available US Queso Fresco. *Journal of Dairy Science*, (101), 7736-7745. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14037>.
- Ibarra-Sánchez, L. A., M. L. Van Tassell y M. J. Miller. (2017). Hispanic-style cheeses and their association with *Listeria monocytogenes*. *Journal of Dairy Science*, (100), 2421-2432. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12116>.
- Ibarra-Sánchez, L. A., M. L. Van Tassell y M. J. Miller. (2018). Antimicrobial behavior of phage endolysin PlyP100 and its synergy with nisin to control *Listeria monocytogenes* in Queso Fresco. *Food Microbiology*, (77), 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.11.013>.
- Manzanarez-Quin, C. G., J. S. García-Romo, L. M. Beltrán-Barrientos, M. J. Torres-Llanaez, M. A., Mazorra-Manzano, A. Hernández-Mendoza, A. F. González- Córdoba, y B. Vallejo-Córdoba. (2023). Novel Peptides in Fermented Milk with Specific *Lactobacillus* Strains Potential Antiobesity Effect: *In Vitro* and *in Silico* Analysis. *ACS Food Science & Technology*, (3), 428–438. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00347>.
- Méndez-Romero, J. I., R. Reyes-Díaz, L. Santiago-López, A. Hernández-Mendoza, Vallejo-Cordoba, S. G., Sáyo-Ayerdi, B. Gómez-Gil y A. F. González-Córdova. (2021). Artisanal Fresco cheese from Sonora: Physicochemical composition, microbial quality, and bacterial characterization by high-throughput sequencing. *International Journal of Dairy Technology*, (74), 359-370. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12751>.
- Méndez-Romero, J. I., P. Y. Heredia-Castro, A. Hernández-Mendoza, A. F. González-Córdova y B. Vallejo-Cordoba. (14 de noviembre, 2023). Estudio de la capacidad para producir bacteriocinas por cepas de *Lactococcus lactis* NRRL B-50571 y NRRL B-50572 mediante análisis *in silico* e *in vitro*. 2023. 6to Congreso Internacional de Alimentos Funcionales y Nutracéuticos. Nuevo Vallarta, Nayarit.
- Rendon-Rosales, M. A., M. J. Torres-Llanaez, A. F. González-Córdova, A. Hernández-Mendoza, M. A. Mazorra-Manzano y B. Vallejo-Córdoba. (2019). *In vitro* Antithrombotic and Hypocholesterolemic Activities of Milk Fermented with Specific Strains of *Lactococcus lactis*. *Nutrients*, (11), 2150. <https://doi.org/10.3390/nu11092150>.
- Reyes-Díaz, R., A. F. González-Córdova, M. C. Estrada-Montoya, J. I. Méndez-Romero, M. A. Mazorra-Manzano, H. Soto-Valdez y B. Vallejo-Córdoba. (2019). Volatile and

- sensory evaluation of Mexican Fresco cheese as affected by specific wild *Lactococcus lactis* strains. *Journal of Dairy Science*, (103), 242-253. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17188>.
- Santiago-López, L., A. Hernández-Mendoza, V. Mata-Haro, B. Vallejo-Cordoba y A. F. González-Córdova. (2018a). Immune response induced by fermented milk with potential probiotic strains isolated from artisanal Cocido cheese. *Food and Agricultural Immunology*, 29(1), 911-929. <https://doi.org/10.1080/09540105.2018.1485632>.
- Santiago-López, L., A. Hernández-Mendoza, V. Mata-Haro, B. Vallejo-Córdova, A. Wall-Medrano, H. Astiazarán-García, M. C. Estrada-Montoya y A. F. González-Córdova. (2018b). Effect of Milk Fermented with *Lactobacillus fermentum* on the Inflammatory Response in Mice. *Nutrients*, (10), 1039; <https://doi.org/10.3390/nu10081039>.
- Santiago-López, L., J. E. Aguilar-Toalá, A. Hernández-Mendoza, B. Vallejo-Córdova, A. M. Liceaga y A. F. González-Córdova. (2017). *Invited review*: Bioactive compounds produced during cheese ripening and health effects associated with aged cheese consumption. *Journal of Dairy Science*, (101), 3742-3757. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13465>.
- Santos-Espinosa, A., L. M. Beltrán-Barrientos, R. Reyes-Díaz, M. A. Mazorra-Manzano, A. Hernández-Mendoza, G. A. González-Aguilar, S. G. Sáyo-Ayerdi, B. Vallejo-Cordoba y A. F. González-Córdova. (2020). Gamma-aminobutyric acid (GABA) production in milk fermented by specific wild lactic acid bacteria strains isolated from artisanal Mexican cheeses. *Annals of Microbiology*, (70), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s1213-020-01542-3>.
- Secretaría de Salud, (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
- Sosa-Castañeda, J., R. Reyes-Díaz, P. Y. Heredia-Castro, L. Bínitez-Romero, J. I. Méndez-Romero, A. Hernández-Mendoza, A.F. González-Córdova y B. Vallejo-Córdova. (2023). Screening of lactobacilli strains isolated from artisanal poro de Tabasco cheese for their ability to biosynthesize conjugated linoleic acid under simulated gastrointestinal conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, (58), 6806-6816. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16665>.
- Torres-Llanez, M. J., B. Vallejo-Córdova, M. E. Díaz-Cinco, M. A. Mazorra-Manzano y A. F. González-Córdova. (2006). Characterization of the natural microflora of artisanal Mexican Fresco cheese. *Food Control*, (17), 683-690. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.04.004>.
- Torres-Llanez, M. J., A. F. González-Córdova, A. Hernández-Mendoza, H. S. García y B. Vallejo-Córdova. (2011). Angiotensin-converting enzyme inhibitory activity in Mexican Fresco cheese. *Journal of Dairy Science*, (94), 3794- 3800. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4237>.
- Vallejo-Córdova, B., R. Reyes-Díaz, L. M. Beltrán-Barrientos, A. F. González-Córdova y A. Hernández-Mendoza. (2023). Artisanal Cheese Chemistry. Food Chemistry, Function and Analysis. En: Michael H. Tunick. Handbook of Cheese Chemistry. (pp. 223-249). UK: The Royal Society of Chemistry.

- Villegas de Gante, A., A. Santos Moreno y F. Cervantes Escoto. (2016). Los quesos mexicanos tradicionales. México: Juan Pablo Editor.
- Zambrano-Cervantes, M., A. F. González-Córdova, A. Hernández-Mendoza, L. M. Beltrán-Barrientos, M.A. Rendón-Rosales, C.G. Manzanares-Quin, M.J. Torres-Llanez y B. Vallejo-Córdoba. (2023). Fermented milks with specific *Lactobacillus* spp. with potential cardioprotective effects. *Journal of Food Science and Technology*, (60), 6, 1749-1760. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05715-1>.

14. Alimentos derivados de la pesca y sus coproductos



RAMÓN PACHECO AGUILAR*
MARÍA ELENA LUGO SÁNCHEZ**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.14>

Resumen

El presente capítulo describe resultados de proyectos relevantes del Programa de Investigación del Laboratorio de Bioquímica y Calidad de Productos Pesqueros (LBCPP) del CIAD. Todos ellos cuentan con potencial para concretarse en innovadores desarrollos tecnológicos que diversificarían de manera exitosa y significativa la actividad pesquera nacional tan necesitada, no solo en su componente de crecimiento sino de desarrollo. La descripción de los proyectos aquí presentados comprende la utilización de la pesca, incluida la acuicultura, no como alimento sino en cuanto al uso de los desechos y subproductos que esta genera para el diseño, producción y evaluación de coproductos que le den a la actividad pesquera un alto potencial de valor agregado. Queda en los programas de gobierno y en los planes de desarrollo del sector pesquero público y privado hacer que el componente científico aquí descrito se convierta en una realidad que muestre la riqueza que estamos perdiendo.

Palabras clave: *pesca, acuicultura, diseño y evaluación de coproductos.*

* Doctor en Ciencias. Profesor-investigador emérito titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1669-8007> ; correspondencia: rpacheco@ciad.mx

** Maestra en Ciencias. Profesora-investigadora asociada, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1472-5438>

Introducción

La pesca y la acuicultura son actividades económicas relevantes en nuestro país, con un valor anual aproximado de 47 239 MDP. Con 11 000 km de litoral, incluidas nuestras islas y una Zona Económica Exclusiva (ZEE) de 3.1 millones de km², debiésemos ser una potencia pesquera mundial, pero aún estamos muy alejados de ello.

Las dependencias oficiales relacionadas con la alimentación y la salud reportan un consumo de productos pesqueros de 12-13 kg/año; sin embargo, esta cifra representa el “consumo aparente” que resulta de dividir la producción pesquera (captura y cultivo) entre la población nacional total. Esta cifra está muy alejada del “consumo real” de la población. Para el cálculo del mismo, es necesario considerar el rendimiento promedio del 30% de la fracción comestible de las especies, el uso industrial de algunas de ellas, principalmente especies de pelágicos menores como sardinas y anchovetas para la producción de harinas y aceites de pescado, y el deterioro por malos manejos a lo largo de toda la línea de captura, procesado y consumo. Lo anterior significa que del consumo aparente reportado en nuestras estadísticas tan sólo 2.1 kg/año es el “consumo real”.

La calidad nutricional de los productos derivados de la pesca y la acuicultura, destinados al consumo directo, está ampliamente documentada en la literatura científica y revistas de difusión. Sus componentes proteicos, lipídicos, vitaminas y minerales, los convierten en alimentos especiales e ideales para todos los segmentos de la población. No obstante, la estrategia implementada para el desarrollo y la diversificación de esta actividad, que redundaría en un mayor consumo anual, no ha sido lo suficientemente innovadora para sacarla de su atraso característico a lo largo de su historia. Es, sin duda, una actividad productiva que no tiene como aliado primordial a la ciencia y la tecnología.

Indudablemente, la industria pesquera debe, como primera estrategia: (1) explorar y explotar la captura y el cultivo de nuevas especies para consumo humano directo, (2) aplicar tecnologías innovadoras de procesado, e (3) implementar sistemas de gestión de la calidad que eviten el deterioro del producto a lo largo de toda la cadena productiva para asegurar productos

de calidad, sanos, seguros y nutritivos. Complementando lo anterior, debe, de manera urgente, poner especial atención en la utilización de lo que se llama, peyorativamente, desechos y subproductos de la actividad. Es precisamente aquí donde reside el impacto ambiental, económico y social de esta actividad en los años por venir.

Los términos “desechos y subproductos de la pesca” son sinónimos de materiales sin utilidad o de reducido uso y calidad que deben sustituirse por el término “coproductos”, colocándolos al mismo nivel, o incluso uno superior en términos económicos al producto que les dio origen.

La obtención de ácidos grasos esenciales ω -3 y ω -6 del hígado de elasmobranquios, la obtención y caracterización de péptidos con bioactividad antioxidante, antitumorogénica y anti carcinogénica a partir del agua de cola, la recuperación de colágeno y otras proteínas funcional-tecnológicas de efluentes, etc., y la caracterización bioquímica de proteasas de víscera de sardina, serán descritos en el presente capítulo como alternativas viables e inmediatas para el desarrollo, la diversificación y la consolidación de la actividad pesquera y acuícola nacional.

Métodos

Se presentan de manera sucinta los resultados del trabajo de investigación del Laboratorio de Bioquímica y Calidad de Productos Pesqueros a lo largo de 35 años, los cuales han sido publicados en tesis de Maestría y Doctorado en Ciencias, así como en publicaciones indexadas en revistas científicas de alto impacto y congresos tanto nacionales como internacionales.

Resultados

Coproductos de origen pesquero: su obtención y evaluación del aceite en el hígado de elasmobranquios

Existe una especial atención al papel que los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) omega-3 (ω -3), en especial el eicosapentaenoico (EPA) y docosa-

hexaenoico (DHA), representan para la salud humana. Su consumo reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, disminuye la tensión arterial y, en la mujer embarazada, permite una adecuada formación del cerebro y la retina del futuro bebé (Ortega et al., 2022).

El requerimiento de aceites de pescado ha experimentado un incremento no sólo en el consumo humano sino en la acuicultura, actividad productiva en continua expansión a escala mundial, donde los ω -3 constituyen un nutriente fundamental. El aumento en el consumo de estos aceites ha motivado la búsqueda de nuevas materias primas entre las pesquerías y sus subproductos, principalmente el hígado y músculo graso.

Los estudios en CIAD tuvieron como principal objetivo evaluar la composición de lípidos por clase, el patrón de ácidos grasos con actividad nutricional y terapéutica, el nivel de antioxidantes naturales, la resistencia a la oxidación y los parámetros químicos de calidad del aceite de hígado de especies de elasmobranquios subutilizadas para consumo humano directo capturadas en el Golfo de California. Las especies estudiadas fueron la raya arenera (*Dasyatis brevis*), la tecolote (*Rhinoptera steidachneri*), la mariposa (*Gymnura marmorata*) y el tiburón jaquetón (*Carcharhinus falciformis*).

El contenido de aceite en el hígado varió en el rango 36-65%. Independientemente de la especie, los triglicéridos (TG) fueron el componente mayoritario de los aceites con contenidos que fluctuaron entre 56 y 75%. Se encontró una marcada diferencia en el contenido de carotenos (antioxidantes naturales) entre los aceites de raya, estableciéndose una correlación significativa ($r^2 = 0.96$) con la coloración roja de los mismos. Se detectó α -tocoferol con una marcada diferencia de contenido entre especies evaluadas. El aceite de la raya arenera mostró una concentración en el rango de 2.5-25.3 mg/100 g de aceite. El aceite de hígado de raya tecolote presentó la mayor estabilidad a la oxidación (3.7 horas), lo que se correlacionó con su contenido de antioxidantes naturales (carotenos y tocoferol). El precio del aceite de pescado en el 2021 fue de US \$2,348.00 por tonelada métrica (FAO, 2022), lo que muestra la potencial importancia comercial de este coproducto.

Compuestos bioactivos en efluentes pesqueros

La industria pesquera genera una cantidad significativa de subproductos sólidos y líquidos (FAO, 2022), cuyo aprovechamiento se encuentra en constante consideración. Respecto a los efluentes, estos se generan durante las operaciones de lavado, descongelado, cocción y producción de harina de pescado y contienen una proporción considerable de nutrientes solubles como péptidos y proteínas y se consideran una fuente potencial de compuestos funcionales (Venugopal y Sasidharan, 2021).

El agua de cola (AC) y el agua de cocción de atún son efluentes que contienen una proporción elevada de proteínas (Martínez-Montaña et al., 2021). En particular, el AC que se obtiene durante la producción de harina de pescado contiene aproximadamente 5-9% (base húmeda) de proteína (Valdez-Hurtado et al., 2018) que presentan propiedades funcional-tecnológicas (Ponce-Moreno, 2018) y bioactivas (Martínez-Montaña et al., 2021) de interés para sectores específicos. El estudio de estos efluentes ha consistido en la caracterización de péptidos y proteínas que exhiben propiedades bioactivas (antioxidantes, antitumorogénicas, anti carcinogénicas) que contribuyen a promover la salud humana. Su valorización es una alternativa viable para diversas aplicaciones.

En nuestra investigación se obtuvo la fracción peptídica 1-5 kDa mediante la ultrafiltración del AC y se determinó su composición de proteína cruda, aminoácidos, perfil de pesos moleculares e hidrofobicidad de superficie. Asimismo, se evaluó su actividad antioxidante *in vitro* mediante las técnicas de FRAP, DPPH, ABTS, empleando Trolox como estándar de referencia. La actividad antimutagénica (*Salmonella typhimurium* TA98 y TA100) y anti proliferativa (22Rv1 y HeLa) se determinó mediante los ensayos de Ames y MTT, respectivamente. El valor más elevado de potencial antioxidante evaluado con FRAP se obtuvo a 30 mg proteína/mL (TEAC de 0.08 mg Trolox equivalentes/mg muestra). La actividad antioxidante evaluada por el barrido de radicales DPPH[•] y ABTS^{•+} mostró un EC₅₀ de 7.6 y 21.6 mg proteína/mL, respectivamente. Por otro lado, los porcentajes de inhibición de mutagenicidad de AFB1 sobre *S. typhimurium* fueron 60.6% (TA98) y 97.0% (TA100). Los porcentajes de anti proliferación obtenidos con la máxima concentración de muestra (0.2 mg proteína/mL) fueron de 44.1% para 22Rv1 y 31.3% para HeLa.

Los resultados de este estudio sugieren que la fracción peptídica 1-5 kDa exhibe propiedades bioactivas que podrían asociarse principalmente a su bajo peso molecular (42.4% y 33% de los péptidos ubicados en rangos de peso molecular de 5-1.35 y <1.35 kDa, respectivamente), tal como lo reporta la literatura. Por lo tanto, la fracción peptídica evaluada se considera una fuente potencial de compuestos bioactivos quimiopreventivos.

Proteínas y péptidos en recortes y efluentes generados por la industria procesadora de atún y su potencial uso como ingredientes alimentarios funcionales

Debido a que el uso del recurso pesquero para consumo humano directo es limitado, ha crecido el interés por su mayor y mejor aprovechamiento, así como de los efluentes y recortes sólidos generados que normalmente son considerados como desechos. Según la FAO (FAO, 2022), la producción pesquera alcanzó los 178 millones de toneladas en 2020. De estos, aproximadamente el 89% fue destinado para consumo humano directo, aprovechándose sólo el 65% en relación con el peso de la materia prima inicial. Lo anterior genera una gran cantidad de subproductos y desechos como cabezas, vísceras y esqueletos, entre otros.

Algunos de estos materiales se destinan a la elaboración de productos no alimentarios como la harina y aceite de pescado. El 11% de la captura se emplea para usos no alimentarios (FAO, 2022). Está documentado que la proteína de origen pesquero provee alrededor del 14-15% de los requerimientos mundiales de proteína animal (Rustad et al., 2011).

La producción de harina de pescado (HP) utiliza principalmente especies pelágicas menores o recortes resultantes del procesamiento de otras especies como el atún (del Valle & Aguilera, 1991). Su producción tiene como principal efluente el AC. Un componente importante del AC es su contenido proteico de aproximadamente 4.3% (Valdez-Hurtado et al., 2018). Estas proteínas posicionan al AC como una fuente de ingredientes alimentarios con potencial valor agregado.

La proteína del AC no es aprovechada por la industria alimentaria por lo que se requiere incrementar su recuperación mediante métodos que no

afecten sus características composicionales y funcional-tecnológicas, como la ultrafiltración (UF).

No se han documentado estudios sobre la recuperación de fracciones proteicas/peptídicas del ACC (agua de cola centrifugada) de subproductos del enlatado de atún. Actualmente, solo se recuperan para obtener harina de pescado “calidad prime”. Sin embargo, estas proteínas podrían ser dirigidas hacia fines alimentarios aprovechando su potencial funcionalidad tecnológica tales como la solubilidad, propiedades espumantes y emulsificantes. No se tienen reportes de la recuperación de las proteínas del ACC de subproductos del enlatado de atún con este propósito. Ponce-Moreno (2018), determinó las propiedades funcionales del ACC y fracciones ≤ 30 kDa de subproductos de enlatado de atún para redirigir su uso a la elaboración de ingredientes alimentarios potencialmente funcionales. Se determinó la composición proximal del ACC y fracciones ≤ 30 kDa, así como sus propiedades de solubilidad, capacidad y estabilidad espumante (Sol, CEsp y EEsp, respectivamente), capacidad emulsificante, índice de actividad emulsificante y estabilidad emulsificante (CE, IAE y EE, respectivamente), evaluadas mediante técnicas específicas. Estas propiedades se compararon con las mismas propiedades de las proteínas albúmina de suero bovino (ASB) y albúmina de huevo (AH), utilizadas como referencia funcional en la industria alimentaria. Dichos componentes en el ACC y las fracciones ultrafiltradas mostraron solubilidad y CEsp similar ($p \geq 0.05$) a ASB. Su EEsp representó el 33% de esta propiedad en la ASB. Las proteínas y péptidos en el ACC y las fracciones recuperadas mencionadas anteriormente mostraron mayores propiedades de CE y EE siendo similares ($p \geq 0.05$) a los valores de la AH, mientras que la IAE fue estadísticamente mayor ($p < 0.05$) proteínas/péptidos en el ACC y las fracciones resultaron ser las muestras con mayor CE y EE, siendo similares ($p \geq 0.05$) a los valores para AH, mientras que IAE fue diferente ($p < 0.05$).

Lo anterior permitió concluir que las proteínas/péptidos presentes en el ACC tienen propiedades funcionales comparables a las proteínas de referencia utilizadas actualmente para conferir funcionalidad a los alimentos, por lo que presentan una alternativa viable para su uso como ingredientes alimentarios.

Colágenos, un subproducto del procesado de atún: coproducto de alto potencial en la industria alimentaria

El atún (*Thunnus* spp.) es una de las especies pesqueras que más se comercializa a nivel mundial; su demanda ha crecido a través del tiempo, fortaleciendo su industrialización (FAO, 2022). Existen varias formas de su presentación en el mercado como son: fresco, fresco-congelado, ahumado y enlatado; donde éste último, es uno de los principales productos comercializados. En el enlatado solo se utiliza la “carne blanca”, la cual genera una gran cantidad de subproductos como aletas, piel, vísceras, recortes, cabezas y esqueletos, que llegan a representar entre el 50-60% del volumen total procesado (Nalinanon et al., 2011). Estos subproductos son en su gran mayoría utilizados como materia prima por la industria reductora en la elaboración de harina (HP) y aceite de pescado (AP) (Shahidi et al., 2019).

El alto contenido de proteínas presentes en el AC añade un especial interés en la implementación de técnicas para la producción de concentrados e hidrolizados proteicos, ya que representa una fuente potencial de compuestos con propiedades funcional-tecnológicas y bioactivas que pudieran ser aprovechados por la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. De manera relevante se ha observado que el AC de atún se gelatiniza a temperaturas de refrigeración, lo cual sugiere la presencia de colágeno o hidrolizados del mismo (Monjaraz-López, 2018).

La literatura reporta de manera amplia la funcionalidad tecnológica del colágeno/gelatina presente en diferentes fuentes de origen animal y en particular las provenientes de fuentes pesqueras. Lo anterior ha promovido el interés por las industrias farmacéutica y cosmética, entre otras (Oslan et al., 2022).

En estudios previos realizados por nuestro grupo de investigación se obtuvo del ACC proveniente de subproductos del enlatado de atún, una fracción ultrafiltrada por membrana con componentes de peso molecular ≥ 30 kDa. Los componentes de dicha fracción mostraron diversas características, las cuales sirvieron de base para determinar su contenido de colágeno/gelatina y evaluar su capacidad de gelatinización. Se determinó por HPLC el contenido de prolina e hidroxiprolina presente en los sólidos recuperados. Su contenido fue de 3.8% en BS (base seca). Se evaluó su capacidad de gelatinización en distintas concentraciones de colágeno (4%-40% BS)

mediante la determinación del valor Bloom (VB) y el análisis de perfil y textura (APT) en términos de dureza, gomosidad, cohesión y elasticidad. Se obtuvo un VB en el rango 10-221.3 gf ($p < 0.05$); dureza, 63.7-693.9 gf ($p < 0.05$); gomosidad, 35.6-610.6 gf ($p < 0.05$); cohesión, 76-93% ($p < 0.05$) y elasticidad, la cual fluctuó ($p < 0.05$) entre 73 y 85% para las concentraciones de 16-40% de colágeno/gelatina, respectivamente. Estas propiedades son las que definen la funcionalidad tecnológica del colágeno/gelatina y su utilidad en la formulación de productos alimentarios (tipo gel, líquidos viscosos, suspensiones, aderezos, etc.). Se concluyó que la fracción ≥ 30 kDa contiene un alto contenido de colágeno/gelatina con una excelente capacidad tecnológica funcional.

Enzimas proteolíticas en vísceras de pescado

El manejo de los desechos del procesado de la sardina (enlatado y congelado) es complejo y costoso, por lo que han sido relegados desde los inicios de esta industria. Es urgente implementar medidas de manejo y aprovechamiento de desechos lo antes posible, con el fin de reducir contaminantes y aminorar la presión de las autoridades ambientales. Una alternativa es el aprovechamiento de las vísceras que se producen durante estos procesos (4500 ton/ año) como fuente de enzimas digestivas.

La sardina es una especie muy susceptible a la degradación autolítica abdominal, causando su rápido deterioro por la actividad de enzimas proteolíticas presentes en su tracto digestivo (TD). Lo anterior indica que el TD es una buena fuente de este tipo de enzimas.

El uso de enzimas por la industria alimentaria es cada vez mayor con un valor aproximado de 3.4 millones de dólares en 2022. Por ello, la investigación del grupo de Bioquímica y Calidad de Productos Pesqueros de CIAD se enfocó a la caracterización de enzimas de vísceras de sardina que pudieran ser aprovechadas a escala industrial por la industria alimentaria, pues pueden recuperarse una gran cantidad de enzimas presentes en los grandes volúmenes de desechos que produce la industria pesquera.

Con base en lo anterior, se purificaron y caracterizaron bioquímicamente tres proteasas digestivas de las vísceras de sardina Monterey (*Sardinops*

sagax caerulea). Los resultados mostraron que la actividad proteolítica alcalina fue mayor que la ácida. De la purificación de enzimas ácidas se obtuvo una fracción que mostró dos bandas en isoelectroenfoco con puntos isoeléctricos (pI's) 4 y 4.5, respectivamente. El pH óptimo de actividad para estas enzimas fue de 2.5, presentando una alta estabilidad en el rango de pH de 2-6 y una marcada pérdida de actividad a pH neutros y alcalinos. La temperatura óptima de actividad fue de 45 °C, detectándose una alta actividad a 10 °C y pérdida de la misma a 55 °C. Las características generales de estas enzimas son su gran similitud con la pepsina II aislada de otras especies, lo cual permitió clasificarlas como aspártico-proteasas.

De igual forma, se purificó y caracterizó la tripsina de ciegos pilóricos de sardina. El peso molecular fue de 25,000 Da, pH óptimo de 8.0, con máxima estabilidad a pH entre 7 y 8 y una marcada pérdida de estabilidad a pH menores a 4 y mayores a 11. Su temperatura óptima fue de 50 °C, con estabilidad a temperaturas relativamente bajas. Las constantes cinéticas K_m y K_{cat} de tripsina fueron 0.051 mM y 2.12 seg^{-1} respectivamente, mientras que su eficiencia catalítica (K_{cat}/K_m) fue de $41 \text{ seg}^{-1} \text{ mM}^{-1}$. También se purificó y caracterizó una quimotripsina de las vísceras de sardina. El peso molecular de la enzima aislada fue 26 000. El pH óptimo de actividad fue 8.0, con estabilidad en un amplio rango de pH (5-10) y una marcada pérdida de estabilidad a pH de 4 y 11. Su temperatura óptima fue de 50 °C siendo termolábil a 55 °C. Su K_m y K_{cat} fueron 0.074 MM y 18.6 seg^{-1} , respectivamente, mientras que su eficiencia catalítica de $251 \text{ seg}^{-1} \text{ mM}^{-1}$.

Las tres enzimas aisladas mostraron características bioquímicas y cinéticas relevantes desde el punto de vista funcional-tecnológico, lo cual permite prever un uso potencial amplio en la industria alimentaria en general, así como en tratamientos enzimáticos de reducción de viscosidad de líquidos y efluentes complejos como el AC derivada del proceso industrial de sardina.

Conclusiones

Los resultados descritos indican que es necesario introducir más ciencia, tecnología e innovación en el sector pesquero para contrarrestar su estan-

camiento actual basado, prácticamente, solo en la captura. El crecimiento y desarrollo de la industria pesquera nacional dependerá de la utilización de sus desechos y subproductos para transformarlos en coproductos bioactivos e ingredientes alimentarios de alta funcionalidad tecnológica, todos con un potencial alto valor agregado.

Referencias

- Del Valle, J. M., y Aguilera, J. M. (1991). Physicochemical characterisation of raw fish and stickwater from fishmeal production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(3), 429-441. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540314>
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul: FAO Rome, Italy.
- Martínez-Montaña, E., Osuna-Ruiz, I., Benítez-García, I., Osuna, C., Pacheco-Aguilar, R., Navarro-Peraza, R., Salazar-Leyva, J. (2021). Biochemical and Antioxidant Properties of Recovered Solids with pH Shift from Fishery Effluents (Sardine Stickwater and Tuna Cooking Water). *Waste and Biomass Valorization*. doi:10.1007/s12649-020-01147-6
- Monjaraz-López, K. P. (2018). Propiedades funcionales-tecnológicas de la fracción proteica/peptídica > 30 kDa parcialmente hidrolizada recuperada del agua de cola de atún centrifugada. [Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Hermosillo, Sonora, México].
- Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H., y Shahidi, F. (2011). Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolysates from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna. *Food Chemistry*, 124(4), 1354-1362. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.089>
- Ortega, M. A., Fraile-Martínez, Ó., García-Montero, C., Álvarez-Mon, M. A., Lahera, G., Monserrat, J., De Mon, M. A. (2022). Biological Role of Nutrients, Food and Dietary Patterns in the Prevention and Clinical Management of Major Depressive Disorder. *Nutrients*, 14(15), 3099.
- Oslan, S. N. H., Li, C. X., Shapawi, R., Mokhtar, R. A. M., Noordin, W. N. M., y Huda, N. (2022). Extraction and Characterization of Bioactive Fish By- Product Collagen as Promising for Potential Wound Healing Agent in Pharmaceutical Applications: Current Trend and Future Perspective. *International Journal of Food Science*, 2022, 9437878. doi:10.1155/2022/9437878
- Ponce-Moreno, O. M. (2018). Fracciones proteicas/peptídicas funcional- tecnológicas ≤30 kDa recuperadas de agua de cola centrifugada de subproductos de atún. [Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Hermosillo, Sonora México].
- Rustad, T., Storror, I., y Slizyte, R. (2011). Possibilities for the utilisation of marine by-pro-

- ducts. *International journal of food science & technology*, 46(10), 2001-2014. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02736.x>
- Shahidi, F., Varatharajan, V., Peng, H., y Senadheera, R. (2019). Utilization of marine by-products for the recovery of value-added products. *Journal of Food Bioactives*, 6. doi:<https://doi.org/10.31665/JFB.2019.6184>
- Valdez-Hurtado, S., Goycolea-Valencia, F., Márquez-Ríos, E., y Pacheco-Aguilar, R. (2018). Efecto de una centrifugación complementaria en la composición química y reológica del agua de cola. *Biocencia*, XX (2), 95-103.
- Venugopal, V., y Sasidharan, A. (2021). Seafood industry effluents: Environmental hazards, treatment and resource recovery. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 104758. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104758>

15. Desarrollo de alimentos para la producción de proteína de alta calidad de origen acuícola



CRISANTEMA HERNÁNDEZ GONZÁLEZ*

CYNTHIA ESMERALDA LIZÁRRAGA-VELÁZQUEZ**

ERIKA YAZMÍN SÁNCHEZ-GUTIÉRREZ***

LIZETH CAROLINA FLORES-MÉNDEZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.15>

Resumen

La acuicultura constituye una alternativa viable para la seguridad alimentaria y la nutrición de las poblaciones con escaso acceso al pescado u oportunidades de ingresos. En México, esta actividad se ha visto seriamente afectada por la falta de alimentos eficientes y sustentables que promuevan el crecimiento de los organismos, incrementen la resistencia a patógenos y a condiciones ambientales adversas en los sistemas de cultivo, los cuales son necesarios para contribuir al incremento de la rentabilidad de los cultivos y al establecimiento de sistemas productivos competitivos. En atención al problema que enfrentan los acuicultores en el país, el laboratorio de Nutrición de Peces y Crustáceos del CIAD, subsede Mazatlán, ha dirigido sus investigaciones hacia el desarrollo de nuevas fórmulas alimenticias que incluyan ingredientes de origen pesquero y agrícola para especies de interés comercial. Las fórmulas han sido evaluadas mediante el empleo de indicadores de crecimiento, del estado de salud y de eficiencia del alimento, tales como el rendimiento productivo, la digestibilidad de nutrientes, la actividad

* Doctora en Ciencias Marinas. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8912-3354>; correspondencia: chernandez@ciad.mx

** Doctora en Ciencias. Profesor-investigador en el Tecnológico de Mazatlán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7228-7536>

*** Maestra en Ciencias. Técnico titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0996-1073>

**** Doctora en Ciencias. Profesora en la Universidad Autónoma de Occidente, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5235-5880>

de enzimas digestivas, los parámetros hematológicos, las respuestas antioxidante e inmune y la modulación de la microbiota intestinal. En este capítulo se describirán los efectos de la sustitución dietética de la harina de pescado (ingrediente proteico mayoritario y de alto costo) por soya, canola y gluten de maíz. Dichos efectos se hacen visibles en el crecimiento, la digestibilidad de nutrientes y los parámetros hematológicos del pargo flamenco, pargo colorado y robalo blanco, dietas con inclusión de hidrolizados de atún sobre el crecimiento y la respuesta antioxidante del camarón blanco. Además, se presentan estudios enfocados en el uso de residuos derivados del procesamiento de productos agrícolas como aditivos alimentarios funcionales con propiedades antioxidante y prebiótica; por ejemplo, el uso de cáscaras de mango y rastrojo de maíz como fuente de compuestos fenólicos capaces de modular la respuesta antioxidante del pez cebra y la tilapia, así como el uso de la agavina como un importante prebiótico con potencial para modular la microbiota intestinal y la respuesta antioxidante de la tilapia nilótica cultivada bajo condiciones de estrés. Finalmente, se abordan los resultados del efecto del uso de quitosano (residuo pesquero) como aditivo alimentario en el rendimiento productivo de robalo blanco.

Palabras clave: *proteína, residuos pesqueros y agroindustriales, peces, camarones, alimento funcional.*

Introducción

La rentabilidad de la acuicultura depende tanto de la salud de peces y crustáceos, como de que los alimentos suministrados cubran los requerimientos nutricionales de cada una de las especies y que el costo de estos sea tanto accesible como sustentable. Al respecto, es indispensable que en el diseño de las fórmulas de los alimentos se incluyan ingredientes o aditivos disponibles o viables de producir en la región donde estos sean utilizados. La sustitución de proteína de harina de pescado (HP) por proteína de harinas vegetales (soya, canola y gluten de maíz) se está llevando a cabo como una estrategia para reducir el costo en la formulación y fabricación de alimentos con el fin

de aumentar la rentabilidad y sostenibilidad de los cultivos de las diferentes especies dulceacuícolas y marinas que se cultivan en el país.

Por otra parte, para potencializar los alimentos acuícolas con inclusiones de fuentes vegetales, se han desarrollado alimentos funcionales que han cobrado relevancia en la acuicultura, ya que se ha demostrado que estos son capaces de mejorar el bienestar y la calidad nutricional final de los organismos cultivados. En México, el procesamiento de frutas, verduras y cereales genera alrededor de 76 millones de toneladas anuales de residuos tales como tallos, hojas, semillas, raíces y cáscaras. Asimismo, el procesamiento de productos de la pesca, como el atún y el camarón, generan una gran cantidad de residuos. Tanto los residuos agrícolas como los pesqueros son una fuente importante de compuestos con propiedades antioxidantes, inmunoestimulantes, anti-inflamatoria, anti-cancerígena, entre otras. Por lo tanto, ambos tipos de residuos han sido aprovechados como fuentes de compuestos bioactivos sustentables y de bajo costo en la formulación de alimentos funcionales para la producción acuícola.

Métodos

Este capítulo presenta los principales estudios realizados en el Laboratorio de Nutrición de Peces y Crustáceos del CIAD Subsede Mazatlán, los cuales están enfocados en la evaluación del efecto de la sustitución dietética de la proteína de la HP por proteínas de origen vegetal sobre el crecimiento, eficiencia alimenticia y la salud de peces marinos y dulceacuícolas. Además, se describen los principales efectos de los compuestos bioactivos de residuos vegetales y pesqueros como aditivos alimentarios funcionales sobre el crecimiento, la respuesta antioxidante y la modulación de la microbiota gastrointestinal en peces y camarones.

Resultados

Uso de fuentes vegetales como proteína en alimentos acuícolas

La HP es utilizada como la principal fuente de proteína en la gran mayoría de las formulaciones para las especies carnívoras y omnívoras; sin embargo, la captura de peces forrajeros usados para la elaboración de la HP ha disminuido en los últimos años lo que la hace insostenible para su aprovechamiento (Garza de Yta et al., 2012; Hua, et al., 2019). Por lo anterior, la HP es un ingrediente costoso, por lo que se sugiere usar fuentes alternativas de proteína, de origen vegetal como la soya, el concentrado de proteína de soya, la canola y el gluten de maíz para disminuir el uso de la HP y aumentar la sostenibilidad de los alimentos acuícolas. Sin embargo, algunos estudios han observado que la inclusión de altos niveles de proteína vegetal en alimentos para peces carnívoros reduce su crecimiento y eficiencia alimenticia debido a la deficiencia de aminoácidos esenciales o a la presencia de factores anti nutricionales (Tan et al., 2018; Erdaw y Beyene, 2018). Por lo tanto, a continuación, se mencionan algunas de las ventajas y las desventajas de usar proteínas vegetales como sustitutos de la HP en alimentos acuícolas.

La harina de soya (HS) es una excelente fuente proteica con un contenido equilibrado de aminoácidos esenciales a pesar de su deficiencia en metionina, lisina y triptófano (Tabla 1). La HS es un ingrediente de bajo costo y el más utilizado como sustituto de la HP en alimentos acuícolas, aun cuando presenta alto contenido de anti nutrientes (Inhibidores de tripsina, lectinas, taninos, fitatos y saponinas) (Arriaga-Hernández et al., 2021). El concentrado de proteína de soya (CPS) es considerado un ingrediente de mayor valor nutricional por su alto contenido de proteínas, mejor perfil aminoácidos esenciales (Tabla 1) y bajo contenido de anti nutrientes en comparación con la HS. La harina de canola (HC) contiene alrededor de 38% de proteína con un perfil de aminoácidos comparable al del CPS (Tabla 1), pero con alto contenido de anti nutrientes. La harina de gluten de maíz (HGM) posee el contenido más alto de proteína (69.2%) (Tabla 15.1) (NRC 2011) con deficiencia en los aminoácidos lisina y triptófano; sin embargo, la utilización de HGM en los alimentos para especies carnívoras se ha visto limitada por

su alto contenido de almidón (20%) (Corradini et al., 2011). Por lo tanto, diversas investigaciones se han llevado a cabo para determinar los niveles máximos de reemplazo de la proteína de HP por proteína vegetal, sin ocasionar efectos negativos sobre el crecimiento, eficiencia alimenticia y el estado de salud de las especies acuáticas de interés comercial.

Tabla 15.1. Composición proximal y perfil de aminoácidos de harinas vegetales

Valor nutricional (%)	Harina de soya	Harina de Concentrado de proteína de soya	Harina de gluten de maíz	Harina de canola
Materia seca	89	92	90	93
Proteína cruda	44.0	63.6	69.2	38.0
Lípido crudo	1.5	0.5	0.1	3.8
Ceniza Cruda	6.3	1.5*	2.1	6.8
Fibra Cruda	7.3	4.5	2.8	11.1
Aminoácidos (%) *				
<i>Esenciales</i>				
Histidina	1.17	1.58	1.20	1.10
Isoleucina	1.99	2.94	2.30	1.51
Leucina	3.42	4.92	9.40	2.60
Lisina	2.83	3.93	1.07	2.02
Metionina	0.61	0.81	1.90	0.77
Fenilalanina	2.18	3.28	3.80	1.50
Treonina	1.73	2.47	2.00	1.50
Triptófano	0.61	0.84	0.30	0.46
Valina	2.40	3.06	2.70	1.94
No esenciales				
Arginina	3.23	4.64	1.90	2.32
Cisteína	0.70	0.89	1.10	0.97
Tirosina	1.69	2.30	0.87	0.99

Fuente]; datos tomados de NRC 2011, *Valor de proteína utilizado para el cálculo de aminoácidos (SBN 44%; SPS 63.63%; CGM 63.70%; Canola 38%).

Se ha evaluado el reemplazo de proteína de HP por proteína de HS en niveles de 0, 20, 40 y 60% y su efecto en el crecimiento, la eficiencia alimenticia, la composición corporal y la química sanguínea en juveniles de pargo *Lutjanus guttatus*. El tratamiento con sustitución del 20% de proteína de HP por HS presentó los mejores resultados en crecimiento y eficiencia. Además, los parámetros sanguíneos evaluados no indicaron ningún efecto negativo en la salud de los organismos (Silva-Carrillo et al., 2012). De igual manera,

se ha reportado que el reemplazo dietético de hasta 40% de proteína de HP por proteína de HS con la suplementación de taurina mejoró el crecimiento y la eficiencia alimenticia en el pargo *Lutjanus colorado* (Hernández et al., 2018).

En otro trabajo, se determinó el efecto de la sustitución dietética de proteína de HP por proteína de HS o CPS en niveles de 0, 15, 30 y 45%, sobre el crecimiento, la digestibilidad *in vivo* y la capacidad digestiva del robalo blanco, *Centropomus viridis*. Los resultados mostraron que la proteína de HS puede utilizarse con éxito para reemplazar hasta un 45% la proteína de HP en alimentos acuícolas para *C. viridis*, sin afectar el crecimiento, la eficiencia alimenticia, la actividad de las enzimas digestivas y el coeficiente de digestibilidad (Arriaga-Hernández et al., 2021).

Por otro lado, se ha reportado que la sustitución del 30% de proteína de HP por proteína de HC no afecta el crecimiento, la eficiencia alimenticia ni la digestibilidad del alimento, así como los parámetros hematológicos (hematocrito) y la bioquímica sanguínea (proteínas, hemoglobina, triacilglicéridos y colesterol) en *L. guttatus* (Hernández et al., 2020). En la misma especie de pargo (*L. guttatus*) se determinó que el crecimiento y la eficiencia alimenticia no fueron afectados por el reemplazo de 60% de proteína de HP por HGM en alimentos suplementados con arginina y lisina (Hernández et al., 2021).

Uso de compuestos bioactivos de residuos agrícolas y pesqueros como aditivos en alimentos acuícolas

La alta demanda de proteína de calidad ha propiciado el crecimiento acelerado de la acuicultura y, con ello, la intensificación de los cultivos (altas densidades de siembra). Las altas densidades de siembra, una mala alimentación, la mala calidad del agua y los cambios de temperatura y pH, así como la combinación de los factores ya mencionados, pueden causar estrés oxidativo y, por consecuencia, la supresión del sistema inmune y la susceptibilidad de los organismos a infecciones por patógenos con efecto negativo en su crecimiento, su estado de salud y la calidad nutricional del producto final. Todo esto podría traducirse en pérdidas económicas para los acuicultores.

El estrés oxidativo produce un desequilibrio químico celular ocasionado por el aumento de moléculas oxidantes (radicales libres) y una disminución de antioxidantes. La producción en exceso de radicales libres ocasiona un ambiente celular oxidante que desencadena el daño a biomoléculas indispensables como las proteínas, los lípidos y el ADN (Lizárraga-Velázquez et al., 2020). En cambio, los antioxidantes son sustancias que pueden inhibir o prevenir el daño oxidativo.

Naturalmente, el organismo cuenta con un sistema de defensa antioxidante endógeno conformado por las enzimas catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPx), cuya función es proteger a la célula del daño oxidativo; no obstante, una alta concentración de oxidantes puede superar la capacidad de acción de estas enzimas (Lizárraga-Velázquez et al., 2020). Por lo tanto, se requiere de antioxidantes exógenos que, eventualmente, coadyuven también a combatir el estrés oxidativo.

A continuación, se describen estudios que han demostrado que diversos compuestos bioactivos, como compuestos fenólicos, péptidos, carbohidratos no digeribles y otros biopolímeros de residuos agrícolas y pesqueros, pueden combatir el estrés oxidativo (incremento de la respuesta antioxidante y la modulación de la microbiota) o, en su caso, promover el crecimiento de peces y crustáceos.

Compuestos fenólicos como aditivos antioxidantes

Los compuestos fenólicos (CF) están conformados por un anillo aromático y uno, o más, grupos hidroxilos unidos a este. Usualmente, los CF se pueden encontrar como ácidos fenólicos, flavonoides, cumarinas, xantonas, chalconas, estilbenos, ligninas y lignanos (Leyva-López et al., 2020). Los CF han sido extensamente estudiados debido a que exhiben propiedades inmunoestimulantes, anticancerígenas, antidiabéticas, antihipertensivas, antiolesterolémicas, antimicrobianas, antioxidantes, entre otras (Leyva-López et al., 2020).

Los CF se encuentran ampliamente distribuidos en las frutas, verduras, semillas y cereales, así como en los residuos que se generan durante el cultivo, la cosecha o el procesamiento de estos productos agrícolas. El mango y el maíz son productos agrícolas que se producen y consumen ampliamente

en México. El procesamiento de estos vegetales genera una gran cantidad de residuos como cáscaras, semillas, rastrojos, hojas, tallos y mazorcas. Estos residuos agrícolas podrían ser aprovechados porque son ricos en CF, los cuales tienen propiedades antioxidantes que podrían ser utilizados como aditivos en la formulación y fabricación de alimentos acuícolas funcionales, los cuales podrían contrarrestar los efectos de la manipulación de los organismos, así como la intensificación de la acuicultura y, particularmente, del efecto negativo ocasionado por el estrés oxidativo en peces y crustáceos.

Como ejemplo, se tiene el trabajo en el que se determinaron los CF del extracto de la cáscara del mango ataulfo (variedad mexicana) y evaluó el efecto de su inclusión dietética (50, 100, 150 y 200 mg CF/kg de alimento) en el crecimiento, la respuesta antioxidante (SOD, CAT y GPx) hepática y la peroxidación lipídica (indicador del estrés oxidativo) en el músculo del pez cebra (pez modelo para acuicultura). Se detectó en el extracto de la cáscara del mango la presencia de ácidos fenólicos (por ej. ácido gálico y ácido 2-hidroxicinámico) y flavonoides (quercetina y manguiferina). No se observaron efectos negativos en el crecimiento de los peces. La actividad de la CAT fue más alta en los peces alimentados con 100, 150 y 200 mg CF/kg del extracto de la cáscara del mango en el alimento. Los niveles de lípidos peroxidados en el músculo fueron más bajos en los peces alimentados con las inclusiones de 100 y 150 mg de CF (Lizárraga-Velázquez et al., 2019). Los resultados de este estudio se atribuyen a los mecanismos antioxidantes directos (transferencia de electrones o átomos de hidrógeno y/o quelación de metales) e indirectos (modulación de CAT, SOD y GPx) que exhiben los CF para combatir al estrés oxidativo.

En un trabajo previo, se evaluó el efecto de la inclusión dietética de la harina de mazorca de maíz (0, 12.5, 25 y 50 g/kg de alimento) en la respuesta antioxidante hepática (SOD, CAT y GPx) y el crecimiento de tilapia del Nilo cultivada en óptimas condiciones (Galeana-López et al., 2021). La inclusión de HMM no afectó el crecimiento de los organismos. Las tilapias alimentadas con la inclusión de 25 g de HMM presentaron la actividad más alta de SOD, mientras que los organismos alimentados con la inclusión de 12.5 g de HMM presentaron los valores más bajos de GPx. La actividad de CAT permaneció sin cambios en todos los tratamientos. Los resultados de la SOD podrían relacionarse con los niveles de inclusión de HMM y, por

consecuencia, de CF (principalmente ácido ferúlico). En el caso de la GPx, se cree que las reservas de glutatión necesarias para que GPx catalice el H₂O₂ fueron agotadas. La CAT no fue alterada, probablemente debido a que la tilapia no fue cultivada en condiciones de estrés. Con base en los resultados de este estudio, y para probar la efectividad de los CF bajo condiciones de estrés oxidativo, Galeana-López et al. (2021,1) identificaron la composición de CF en la HMM y evaluaron el efecto de su administración dietética (25g de HMM /kg de alimento) en la respuesta antioxidante hepática (SOD, CAT y GPx) de la tilapia del Nilo expuesta a hipoxia (1.5 ± 0.2 mg/L oxígeno disuelto) por 5 h. Se encontró que la administración dietética de HMM incrementó la actividad de CAT, y no afectó las actividades de SOD y GPx en las tilapias cultivadas en condiciones de hipoxia. En este último estudio se hipotetiza que los CF de HMM promovieron la respuesta antioxidante en la tilapia del Nilo a través de la modulación de la CAT. Además, se sugiere que los bajos niveles de SOD y GPx se deben a una estrategia de adaptación de la tilapia ante la exposición a bajos niveles de oxígeno.

Péptidos bioactivos como aditivos antioxidantes y promotores del crecimiento

Los péptidos bioactivos son fragmentos de proteína (2-30 residuos de aminoácidos) que exhiben propiedades inmunoestimulantes, antimicrobianas, antioxidantes, entre otras. Dichas propiedades son atribuidas al peso molecular, secuencia, composición, tipo y cantidad de aminoácidos de los péptidos (Du et al., 2022).

Los residuos de la captura y el procesamiento de peces, tales como piel, huesos, escamas, vísceras, aletas y cabezas, son una importante fuente de péptidos bioactivos. La industria pesquera es una de las más importantes en la producción de residuos derivados del procesamiento de pescados y mariscos. Particularmente, el procesamiento del atún genera alrededor del 75% de residuos (piel, músculo oscuro, vísceras, aletas y huesos), los cuales no son destinados para consumo humano. El músculo oscuro del atún tiene un sabor amargo y es muy susceptible a la oxidación; sin embargo, está conformado por ácidos grasos poliinsaturados de la serie omega 3, vitaminas,

minerales y proteínas de alto valor nutricional, por ende, el músculo oscuro se ha aprovechado para la producción de hidrolizados proteicos como fuente de péptidos bioactivos (Zu et al., 2024).

Se ha reportado que la inclusión dietética de hidrolizado de músculo oscuro de atún (5% de sustitución de HP) favoreció el crecimiento y e incrementó la respuesta antioxidante (SOD, CAT y GPx) en el camarón blanco (*Penaeus vannamei*), cultivado en condiciones de estrés por la alta temperatura (35°C) durante 12 h (García, 2018). Por lo tanto, los resultados del incremento de la respuesta antioxidante y la promoción del crecimiento se atribuyen, principalmente, a la presencia de péptidos bioactivos en el hidrolizado de músculo oscuro de atún, los cuales se ha demostrado que tienen propiedades antioxidantes y, además, son conocidos como promotores del crecimiento. Por ejemplo, se reportó que la inclusión de hidrolizados de residuos de atún (25 y 50% de sustitución de HP) incrementó la ganancia en peso y mejoró la eficiencia alimenticia en tilapia del Nilo debido a su fácil asimilación (Hernández et al., 2013).

Carbohidratos complejos como aditivos con efecto prebiótico

Los carbohidratos no digestibles son considerados como prebióticos, ya que sirven como sustrato para las bacterias de la microbiota gastrointestinal (Nawaz et al., 2018). El maíz y el agave son fuente de carbohidratos no digestibles. Por ejemplo, el rastrojo de maíz contiene celulosa y hemicelulosa como principales carbohidratos no digestibles, mientras que el agave contiene fructanos, conocidos como agavinas (polímeros de glucosa y fructosa altamente ramificados con enlaces β (2-1) y β (2-6)). El uso de carbohidratos no digestibles como aditivos alimentarios contribuyen a la protección del intestino, la reducción de enteropatías (Fuentes-Quesada et al., 2020), el incremento de la tasa de supervivencia (Yu et al., 2023), la modificación de la diversidad y la abundancia de bacterias (Wang et al., 2021). Adicionalmente, algunos carbohidratos no digestibles poseen un rol protector contra el estrés oxidativo (Flores-Méndez et al., 2022).

Con base a lo anterior, el efecto prebiótico de los carbohidratos no digestibles provenientes del rastrojo de maíz y el agave han sido evaluados en la tilapia del Nilo. Por ejemplo, se ha reportado que la inclusión dietética de rastrojo de maíz en dosis de 12.5, 25 y 50 g/kg no causó daños o enteropatías en la tilapia. Además, se observó que los filos *Fusobacteria*, *Bacteroidetes* y *Proteobacteria* fueron los más abundantes, y *Cetobacterium* fue el género más predominante (~71% abundancia, Galeana-López et al., 2021). El papel de estos filos se ha relacionado con el ciclo de nutrientes, lo cual contribuye al rendimiento del crecimiento, mejorando el uso y la retención de nutrientes, y la variación morfológica a nivel intestinal, además, se ha relacionado estrechamente con las tasas de digestión y absorción de nutrientes tras la ingesta del alimento. Adicionalmente, estas bacterias también se han clasificado como potencialmente prebióticas, y se ha señalado que algunas familias de estos filos actúan como antagonistas de bacterias patógenas (Bereded et al., 2020; Xu et al., 2018). Con respecto a subproductos del agave, se evaluó la inclusión dietética de agavina (20 y 40 g/kg) en la respuesta antioxidante hepática en tilapia del Nilo cultivada en condiciones de estrés por alta densidad (63 kg/m³, Flores-Méndez et al., 2022, p. 1-16). Se determinó un incremento en la actividad de la enzima CAT y una reducción de los niveles de lípidos oxidados en los organismos alimentados con agavina en comparación con los grupos control (con y sin estrés), mientras que la actividad de SOD incrementó únicamente en los organismos alimentados con 20 g de agavina/kg y cultivados bajo estrés. Adicionalmente, la inclusión de agavina (20 y 40 g/kg) redujo significativamente los niveles de cortisol, triacilglicéridos y colesterol en el plasma sanguíneo, y mantuvo en condiciones normales los niveles de proteína y glucosa. La funcionalidad de la agavina es atribuida a la presencia de enlaces β , un bajo GP (3-16 unidades) y a su función prebiótica, ya que se observó el incremento de familias potencialmente benéficas (*Sphingomonadaceae*, *Oxalobacteriaceae*, etc.), las cuales pueden actuar como bacterias probióticas, antagonistas de bacterias patógenas y/o generar metabolitos, como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Adicionalmente, la agavina también redujo las familias de bacterias potencialmente patógenas (*Vibrionaceae* y *Aeromonadaceae*), las cuales aumentaron en los organismos alimentados con la dieta control y sometidos a condiciones de estrés (datos no publicados).

Quitosano como aditivos con efecto promotor del crecimiento

El quitosano es un copolímero derivado de la desacetilación parcial de la quitina, y está conformado por unidades de 2-acetilamina-2desoxi- β -D-(+) glucopiranosas y el 2-amino-2desoxi- β -D-glucopiranosas (Younes y Rinaudo, 2015). Este compuesto se encuentra principalmente en el exoesqueleto de crustáceos e insectos. La industria procesadora de crustáceos genera gran cantidad de residuos (cáscaras, cabezas y colas), los cuales pueden ser aprovechados para la obtención de quitosano. Estudios han demostrado que la inclusión dietética de quitosano promueve efectos positivos en la salud y la resistencia en peces en condiciones de cultivo (Özogul et al., 2019; Yu et al., 2023).

Se conoce que la inclusión de 0.5% y 1% de quitosano en la dieta promueve el crecimiento de juveniles del robalo blanco *Centropomus undecimalis* (Mesina-Peña et al. en prensa). Otros autores han reportado resultados similares en el crecimiento de dojo (*Misgurnus anguillicaudatus*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*), alimentados con una dieta suplementada con quitosano (Chen et al., 2019; Meshkini et al., 2012; Abdel-Ghany y Salem, 2019). Este efecto es asociado a una mejora en la absorción de nutrientes y a sus efectos prebióticos, favoreciendo una mejora en la salud gastrointestinal con potencial para modular la composición de la microbiota. Al respecto, Mesina-Peña et al. (2021) demostraron que la suplementación con un 1% y 2% de quitosano en las dietas para juveniles de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) mejora el aspecto microanatómico del tracto gastrointestinal, reduciendo los signos de enteritis en el intestino proximal causado por un alimento con alto contenido de vegetales. Las investigaciones sobre el quitosano como prebiótico en la alimentación acuícola aún están en curso y se requieren más estudios para comprender los mecanismos de acción por los cuales el quitosano promueve el crecimiento.

Conclusiones

La proteína de HS puede sustituir eficazmente a la proteína de la HP en niveles de 20%, 40% (suplementada con taurina) y 45% en *L. guttatus*, *L. colorado* y *C. viridis*, respectivamente, sin causar efectos negativos en su crecimiento y estado de salud. La proteína de HP puede reemplazarse por un 30% de proteína de HC en el alimento para *L. guttatus* sin ocasionar efectos negativos en su crecimiento y eficiencia alimenticia. La proteína de HGM suplementada con arginina y lisina puede sustituir a la proteína de HP hasta un 60% en el alimento para *L. guttatus* sin causar efectos en su rendimiento productivo. La inclusión dietética de 100 y 150 mg de CF de extracto de cáscaras de mango incrementa la respuesta antioxidante en el pez cebra cultivado en condiciones óptimas. El rastrojo de maíz (25 g) y los hidrolizados proteicos de residuos de atún (5%) incrementan la respuesta antioxidante de tilapia y camarón, respectivamente, cultivados en condiciones de estrés. Las agavinas (20 g) promueven la respuesta antioxidante y modulan la microbiota intestinal de la tilapia cultivada en condiciones de estrés por alta densidad. Por otra parte, el quitosano extraído de los exoesqueletos de camarón promueve el crecimiento del robalo blanco y mejora la salud intestinal de tilapia. Por lo tanto, todos los residuos agrícolas y pesqueros mencionados tienen potencial para usarse como aditivos en el desarrollo de alimentos acuícolas.

Se recomienda la aplicación de tratamientos térmicos o enzimáticos a las proteínas vegetales para mejorar su valor nutricional e incrementar el reemplazo de la HP en los alimentos para peces marinos. Por otra parte, se requieren más estudios para establecer las dosis óptimas de aditivos antioxidantes y prebióticos en el combate del estrés oxidativo en peces y crustáceos. Finalmente, se recomienda ampliamente la realización de estudios a nivel comercial para validar los efectos observados a nivel laboratorio.

Referencias

- Abdel-Ghany, H. M., y M. E. Salem. (2019). "Effects of Dietary Chitosan Supplementation on Farmed Fish; A Review." *Reviews in Aquaculture* 12(1): 438-452.
- Abdel-Tawwab, M., H. S. Hamed., M. N. Monier y R. M. Amen. (2024). The ameliorative effects of dietary rosemary (*Rosmarinus officinalis*) against growth retardation, oxidative stress and immunosuppression induced by waterborne lead toxicity in Nile tilapia fingerlings. *Annals of Animal Science*, 24(1), 139-149. doi.org/10.2478/aoas-2023-0057
- Arriaga-Hernández, D., Hernández, C., Martínez-Montaña, E., Ibarra-Castro, L., Lizárraga-Velázquez, E., Leyva-López, N., y Chávez-Sánchez, M.C. (2021). Fishmeal replacement by soybean products in aquaculture feeds for white snook, *Centropomus viridis*: Effect on growth, diet digestibility, and digestive capacity. *Aquaculture*, 530, 735823. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735823
- Bereded, N. K., Curto, M., Domig, K. J., Abebe, G. B., Fanta, S. W., Waidbacher, H., y Meimberg, H. (2020). Metabarcoding analyses of gut microbiota of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from lake Awassa and lake Chamo, Ethiopia. *Microorganisms*, 8(7), 1-19. https://doi.org/10.3390/microorganisms8071040.
- Bravo-Osuna, I., Vauthier, C., Farabollini, A., Palmieri, G. F., y Ponchel, G. (2007). Mucoadhesion mechanism of chitosan and thiolated chitosan-poly (isobutyl cyanoacrylate) core-shell nanoparticles. *Biomaterials*, 28(13), 2233-2243. doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.01.005
- Chen, J., y Chen, L. (2019). Effects of chitosan-supplemented diets on the growth performance, nonspecific immunity and health of loach fish (*Misgurnus anguillicadatus*). *Carbohydrate Polymers*, 225, 115227. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115227
- Corradini, E., Marconcini, J. M., Agnelli, J. A., y Mattoso, L. H. (2011). Thermoplastic blends of corn gluten meal/starch (CGM/Starch) and corn gluten meal/polyvinyl alcohol and corn gluten meal/poly (hydroxybutyrate-co- hydroxyvalerate) (CGM/PHB-V). *Carbohydrate polymers*, 83(2), 959-965. doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.09.004
- Du, Z., y Li, Y. (2022). Review and perspective on bioactive peptides: A roadmap for research, development, and future opportunities. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100353. doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100353
- El-Saidy, D.M., y Gaber, M.M. (2002). Complete replacement of fishmeal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(3), 297-306. doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00506.x
- Erdaw, M. M., y Beyene, W. T. (2018). Anti-nutrients reduce poultry productivity: Influence of trypsin inhibitors on pancreas. *Asian J Pouls Sci*, 12(1), 1– 1 2. https://doi.org/10.3923/ajpsaj.2018.14.24
- Flores-Méndez, L. C., Lizárraga-Velázquez, C. E., Sánchez-Gutiérrez, E. Y., Arrizon, J.,

- Leyva-López, N., y Hernández, C. (2022). Study of the Effect of Dietary Agavin Supplementation in Blood Parameters and Antioxidant Enzymes of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) under Stress Conditions. *Fishes*, 7, 340. doi.org/10.3390/fishes706034
- Fuentes-Quesada, J. P., Cornejo-Granados, F., Mata-Sotres, J. A., Ochoa-Romo, J. P., Rombenso, A. N., Guerrero-Rentería, Y., Lazo, J. P., Pohlenz, C., Ochoa-Leyva, A., y Viana, M. T. (2020). Prebiotic agavin in juvenile totoaba, *Totoaba macdonaldi* diets, to relieve soybean meal-induced enteritis: Growth performance, gut histology and microbiota. *Aquaculture Nutrition*, 26(6), 2115-2134. doi.org/10.1111/anu.13151
- Galeana-López, J. A., B. Gómez-Gil, C. Hernández, N. Leyva-López., C. E. Lizárraga-Velázquez y T. Zenteno-Savín. (2021). Use of corn husk meal in the development of a functional diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings: effect on growth performance, antioxidant status and intestinal microbiota. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 4355-4365. doi.org/10.1007/s12649-020-01314-9
- Galeana-López, J. A., C. E. Lizárraga-Velázquez., C. Hernández., N. Leyva-López y J. B. Heredia. (2021). Corn husk phenolics modulate hepatic antioxidant response in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to hypoxia. *Molecules*, 26(20), 6161. doi 10.3390/molecules26206161
- García, J. A. (2018). Evaluación nutricional y antioxidante de hidrolizados proteicos de músculo oscuro de atún (*Thunnus albacares*), incorporados en una dieta para camarón blanco (*Penaeus vannamei*) sometido a condiciones de estrés térmico [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, CIAD].
- Garza de Yta, A., Davis, D. A., Rouse, D. B., Ghanawi, J., y Saoud, I. P. (2012). Evaluation of practical diets containing various terrestrial protein sources on survival and growth parameters of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*, 43(1), 84-90. doi.org/10.1111/j.1365- 2109.2011.02806.x
- Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., y Strugnell, J. M. (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1(3), 316-329.
- Hernández, C. Olvera-Novoa, M. A., Voltolina, D., Hardy, R. W., González- Rodríguez, B., Domínguez-Jiménez, P., Valverde-Romero, M. y Agramon- Romero, S. (2013). Uso de residuos de la industria del atún en dietas para alevines de tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*: efecto sobre la digestibilidad y el rendimiento del crecimiento. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(3), 468-478. doi.org/10.3856/vol41-issue3-fulltext-10
- Hernández, C., Lizárraga-Velázquez, C. E., Contreras-Rojas, D., Sánchez- Gutiérrez, E. Y., Martínez-Montaño, E., Ibarra-Castro, L., y Peña-Marín, E. S. (2021). Fish meal replacement by corn gluten in feeds for juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*): effect on growth performance, feed efficiency, hematological parameters, protease activity, body composition, and nutrient digestibility. *Aquaculture*, 531, 735896. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735896
- Hernández, C., Olmeda-Guerrero, L., Chávez-Sánchez, M. C., Ibarra-Castro, L., Gaxiola-Cortez, G., y Martínez-Cárdenas, L. (2020). Nutritional evaluation of canola meal as

- fish meal replacement for juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*): Effects on growth performance, hematological parameters, body composition, and nutrient digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114683. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114683
- Hernández, C., Sánchez-Gutiérrez, E. Y., Ibarra-Castro, L., Peña, E., Gaxiola, G., y De La Barca, A. M. C. (2018). Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and body composition of snapper, *Lutjanus colorado* juvenile. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(10), 1227-1233. doi.org/10.4194/1303-2712-v18_10_09
- Leyva-López, N., Lizárraga-Velázquez, C. E., C. Hernández y Sánchez-Gutiérrez, E. Y. (2020). Exploitation of agro-industrial waste as potential source of bioactive compounds for aquaculture. *Foods*, 9(7), 1-22. doi.org/10.3390/foods9070843
- Lizárraga-Velázquez, C. E., C. Hernández, G. A. González-Aguilar y J. B. Heredia. (2019). Effect of dietary intake of phenolic compounds from mango peel extract on growth, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in zebrafish (*Danio rerio*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(4), 602-611. doi 10.3856/vol47-issue4-full-text-3
- Lizárraga-Velázquez, C. E., N. Leyva-López, C. Hernández, E. P. Gutiérrez- Grijalva, J. A. Salazar-Leyva, I. Osuna-Ruíz, E. Martínez-Montaña, J. Arrizon, A. Guerrero, A. Benítez-Hernández y A. Ávalos-Soriano. (2020). Antioxidant molecules from plant waste: Extraction techniques and biological properties. *Processes*, 8, 1566. doi.org/10.3390/pr8121566
- López-Santamarina, A., Mondragón, A. D., Lamas, A., Miranda, J. M., Franco, C. M. y Cepeda, A. (2020). Animal-Origin Prebiotics Based on Chitin: An Alternative for the Future? A Critical Review. *Foods*, 9(6). doi.org/10.3390/foods9060782
- Meshkini, S., Tafy, A. A., Tukmechi, A., y Farhang-Pajuh, F. (2012). Effects of chitosan on hematological parameters and stress resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Vet Res Forum*, 3(1), 49-54.
- Mesina-Peña A. A., Hernández C. (2021) —Evaluación de dietas vegetales suplementadas con quitosano sobre el crecimiento, morfología y microbiota intestinal de juveniles de tilapia roja *Oreochromis sp.* — [Tesis Maestría en Ciencias. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Mazatlán, Sinaloa, México].
- Mesina-Peña, A. A., Tirado Osuna, R., Escobedo-Lozano, A. Y., y Hernández, C. (2024), "First study of diets supplemented with chitosan for white snook (*Centropomus viridis*) juveniles: Effect on growth, survival and nutritional efficiency". *Latin American Journal of Aquatic Research (LAJAR)*. En prensa.
- Naiel, M. A., A. I. El-Kholy, S. S. Negm, S. Ghazanfar, M. Shukry, Z. Zhang y H. M. Abdel-Latif (2023). A mini-review on plant-derived phenolic compounds with particular emphasis on their possible applications and beneficial uses in aquaculture. *Annals of Animal Science*, 23(4), 971-977. doi.org/10.2478/aoas-2023-0007
- National Research Council. (NRC). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academic Press, Washington, DC. <https://nap.nationalacademies.org/read/13039/chapter/11> Nawaz, A., Bakhsh javaid, A., Irshad, S., Hoseinifar, S.H., y

- Xiong, H. (2018). The functionality of prebiotics as immunostimulant: Evidences from trials on terrestrial and aquatic animals. *Fish and Shellfish Immunology*, 76, 272-278. doi.org/10.1016/j.fsi.2018.03.004
- Özogul, F., Hamed, I., Özogul, Y., y Regenstein, J. M. (2019). Crustacean By- products. In L. Melton, F. Shahidi, y P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 33-38). Academic Press. doi.org/10.1016/B978-0-08- 100596-5.21690-9
- Silva-Carrillo, Y., Hernández, C., Hardy, R. W., González-Rodríguez, B., y Castillo- Vargas-machuca, S. (2012). The effect of substituting fish meal with soybean meal on growth, feed efficiency, body composition and blood chemistry in juvenile spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869). *Aquaculture*, 364, 180-185. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.007
- Tan, Q., Song, D., Chen, X., Xie, S., & Shu, X. (2018). Replacing fish meal with vegetable protein sources in feed for juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: Effects of amino acids supplementation on growth and feed utilization. *Aquaculture Nutrition*, 24(2), 858-864. https://doi.org/10.1111/anu.12621
- Wang, T., Zhang, N., Yu, X. B., Qiao, F., Chen, L. Q., Du, Z. Y., y Zhang, M. L. (2021). Inulin alleviates adverse metabolic syndrome and regulates intestinal microbiota composition in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with high-carbohydrate diet. *British Journal of Nutrition*, 126(2), 161-171. doi.org/10.1017/S000711452000402X
- Xu, G., Xing, W., Li, T., Ma, Z., Liu, C., Jiang, N., y Luo, L. (2018). Effects of dietary raffinose on growth, non-specific immunity, intestinal morphology and microbiome of juvenile hybrid sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt $\times$ *A. schrenckii* Brandt σ). *Fish Shellfish Immunol*, 72, 237-246. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.11.001
- Younes, I., y Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine drugs*, 13(3), 1133-1174. doi.org/10.3390/md13031133
- Yu, W., Yang, Y., Chen, H., Zhou, Q., Zhang, Y., Huang, X., Huang, Z., Li, T., Zhou, C., Ma, Z., Wu, Q., y Lin, H. (2023). Effects of dietary chitosan on the growth, health status and disease resistance of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Carbohydrate Polymers*, 300, 120237. doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120237
- Zu, X. Y., Zhao, Y. N., Liang, Y., Li, Y. Q., Wang, C. Y., Zhao, X. Z., y Wang, H. (2024). Research on the screening and inhibition mechanism of angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from tuna dark muscle. *Food Bioscience*, 59, 103956. doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103956

Tema 5

INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS CON IMPACTO EN LA ALIMENTACIÓN Y LA SALUD

16. Utilización de la tecnología del ADN recombinante para asegurar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios agrícolas relacionados con el manejo postcosecha



MARÍA-ELENA BÁEZ-FLORES*

MARTÍN-ERNESTO TIZNADO-HERNÁNDEZ**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.16>

Resumen

Un procedimiento sostenible implica que su aplicación no va a inducir alteraciones en el ambiente de tal forma que las generaciones futuras no puedan satisfacer sus necesidades de alimentación como lo hace la generación presente. La reducción de la gran cantidad de pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas debido a infecciones por hongos no se debe realizar utilizando compuestos químicos, ya que este acercamiento no es sostenible. En este sentido, la utilización de la tecnología del ADN recombinante constituye una buena alternativa que permite desarrollar protocolos de aplicación sostenible. Es importante comentar que relacionar esta tecnología únicamente con la creación de organismos transgénicos es una visión muy pobre del potencial que tiene. De acuerdo con lo anterior, en el presente capítulo se sugiere un acercamiento mediante un análisis teórico para el diseño de un protocolo que podría permitir reducir la incidencia de infecciones fúngicas. Este procedimiento parte de hipótesis de que existe un mecanismo molecular de respuesta a las infecciones fúngicas igual en todos los frutos. Esta

* Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1389-3568>

** Doctor en Fisiología y Biología Molecular de Plantas. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2612-9000> ; correspondencia: tiznado@ciad.mx

hipótesis tiene soporte teórico en la disponibilidad de muchos genomas de frutas, información que ha sido generada mediante las modernas técnicas de secuenciación, el desarrollo de computadores de alta capacidad de procesamiento y de software de bioinformática. Esto ha permitido la comparación de muchos genomas de frutas que muestran la presencia de genes comunes. Esto, a su vez, sugiere que muy posiblemente existe el mecanismo universal mencionado. Mas aún, si consideramos el desarrollo de los nuevos acercamientos experimentales de la tecnología del ADN recombinante, podemos pensar en la aplicación práctica de este procedimiento para reducir las pérdidas postcosecha por hongos en cualquiera fruta. Este procedimiento sería amigable con el ambiente y apoyaría el mejoramiento de la calidad de vida de la población, el cual es otro de los pilares de la sostenibilidad.

Palabras clave: *hongos, pérdidas postcosecha, tecnología del ADN recombinante, sostenible.*

Introducción

El principio central de la sostenibilidad establece que debemos satisfacer las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para lograr lo mismo (Brundtland y Khalid, 1987). Los tres pilares sobre los que descansa la sostenibilidad son el económico, el social y el ambiental (Felfernig et al., 2023). Más aún, de estos tres pilares, se ha sugerido que el ambiental es el más importante (Haberl et al., 2004), con lo cual estamos de acuerdo, ya que dependemos completamente de la naturaleza para nuestra supervivencia.

Para evitar posibles desviaciones del objetivo principal del presente capítulo, el trabajo se enfocará en la producción agrícola sostenible y la tecnología del ADN recombinante (TADR). Esto es debido a que esta tecnología es solo uno de los acercamientos posibles a utilizar en la producción agrícola sostenible como parte de una multitud más de acciones que se pueden llevar a cabo para lograr el mismo fin, a saber: un manejo de campo sostenible, reducción de los daños durante la cosecha, mejoramiento de los sistemas de transporte de los productos, utilización de un almacenamiento y empaque

adecuado, protección de los productos de la contaminación por patógenos humanos, utilización de vehículos de monitoreo del campo no tripulados (Khan et al., 2021), optimización de la logística de recolección, transporte y distribución a los diferentes mercados para su venta (Çakmakçi et al., 2023; Farooq, 2023), resolución de las demandas intangibles de mercado (de la Peña et al., 2022), análisis de los puntos críticos de control de las cadenas productivas (Anaya-Dyck et al., 2021), entre otros. Es importante comentar que ya se ha sugerido a la biotecnología como una alternativa sostenible para la industria química debido, prácticamente, a los mismos argumentos que se mencionan en el presente trabajo para demostrar que la TADR es una alternativa sostenible para la producción agrícola. A saber, permite la reducción en la contaminación derivada de los procesos, una mayor obtención de ganancias y la producción sostenible de productos nuevos y existentes (Gavrilescu y Chisti, 2005).

Métodos

Considerando el amplio espectro de acercamientos que se pueden utilizar mediante la TADR en la producción agrícola, el enfoque será en el control de las pérdidas postcosecha debido a las infecciones por hongos, que es una de las causas más importantes. Mas aún, no se considerará la posibilidad de utilizar a los organismos genéticamente modificados para no incluir en la discusión el debate acerca de la compatibilidad entre la biotecnología y la agricultura sostenible (Ervin et al., 2010). Los autores de este capítulo consideran que la TADR y la agricultura sostenible sí son compatibles y que los argumentos que se discuten al respecto relacionados con la TADR emergen de un conocimiento más bien pobre del potencial de esta tecnología.

En nuestro grupo de trabajo, hemos estado utilizando las herramientas derivadas de la tecnología del ADN recombinante para elucidar el mecanismo molecular de respuesta de los hongos a los fungicidas naturales. Asimismo, hemos realizado trabajos para elucidar el mecanismo de activación de la respuesta de defensa de los frutos a la presencia de mezclas complejas de la pared celular de los hongos o a moléculas específicas como lo es la quitina fúngica. Se espera que el conocimiento generado permita la creación de me-

todologías de control de infecciones por hongos mediante un diseño dirigido inteligentemente en contraste con la realización de experimentos realizados a prueba y error que no permiten crear procedimientos óptimos, ya que los resultados varían de un experimento a otro.

De acuerdo con lo anterior, el presente capítulo tiene como objetivo demostrar cómo la tecnología del ADN recombinante puede apoyar para alcanzar una producción agrícola sostenible.

Impacto de las pérdidas postcosecha en la economía y la seguridad alimentaria

En todo el mundo, desde la cosecha a la distribución, se pierde un 14% de los alimentos, lo que equivale a un valor estimado de 400 000 millones de dólares (FAO, 2019). En México específicamente, se desperdicia el 54% de aguacate, 32% de cebolla, 28.8% de tomate, 41% de melón, 54.5% de mango y 49% de manzana. Si se lograra recuperar estas pérdidas, se podría alimentar a 7.4 millones de personas en situación de pobreza durante un año con 3.5 kilogramos de papa, 2.6 kilogramos de cebolla y 5 kilogramos de tomate. (Secretaría del Bienestar, 2020). En 2023, la producción agrícola total de plantas perennes en México alcanzó un valor nacional de más de 921 millones de pesos, lo que da una idea de la pérdida económica que implican los porcentajes de pérdidas mencionados anteriormente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023).

La tecnología del ADN recombinante (TADR)

La tecnología del ADN recombinante es un método que permite combinar material genético de diferentes fuentes para crear secuencias de ADN que no se encuentran naturalmente en el genoma, de allí proviene el nombre de recombinante. Las secuencias de ADN recombinado se pueden colocar en vehículos genéticos llamados vectores, que transportan el ADN hacia el lugar adecuado de la célula huésped donde puede ser copiado o expresado (National Human Genome Research Institute, 2024). Las proteínas que se

producen así se conocen como proteínas recombinantes o de origen heterólogo (Bermúdez, 2022). Esto es posible gracias al uso de enzimas que pueden cortar y unir secuencias de ADN, lo que permite la inserción de los genes de interés en organismos para su expresión y producción de proteínas (National Human Genome Research Institute, 2024). Actualmente, el ADN recombinante tiene múltiples aplicaciones, especialmente en medicina y en biotecnología agrícola. En medicina, se producen muchas proteínas recombinantes terapéuticas, cuya administración puede corregir un gen defectuoso o la deficiencia causada por el hecho de que dicho gen no se exprese. Ejemplos de esto son el factor VIII recombinante, un factor de coagulación sanguínea deficiente en pacientes con algunas formas de hemofilia, y la insulina recombinante que se utiliza para tratar algunas formas de diabetes.

También existen proteínas recombinantes como el activador de plasminógeno tisular, que se utiliza para tratar accidentes cerebrovasculares, una emergencia médica que, sin este tratamiento, sería mortal para los pacientes. Por otra parte, existen las vacunas de subunidades recombinantes como la vacuna contra la hepatitis B, que utilizan una proteína purificada para generar inmunidad contra agentes infecciosos en las personas, sin exponerlas al agente infeccioso completo. Por otra parte, en la agricultura, la TADR se emplea para mejorar los cultivos, particularmente en aspectos como la resistencia a plagas y enfermedades, la tolerancia a condiciones ambientales adversas y también para mejorar la calidad nutricional de los alimentos (Bermúdez, 2022).

Considerando la preocupación internacional por el posible impacto ambiental, las implicaciones en la salud del ser humano, la biodiversidad y los ecosistemas, así como los efectos socioeconómicos del uso de la TADR en la agricultura y la producción de alimentos (Dixit et al., 2023), aquí se abordan aplicaciones de la TADR en el control de enfermedades fúngicas en frutas y hortalizas que no impliquen una alteración genética de las plantas. Es decir, se revisan trabajos en los que se usa la TADR sin introducir ningún tipo de material genético al genoma de las plantas por lo que no se hará referencia a trabajos con plantas transgénicas. Para este fin, nos referiremos a la TADR como el proceso general cuya piedra angular es la clonación del ADN. Es importante señalar que aquí no nos referimos al proceso

de multiplicación o clonación de un organismo completo, como el reportado en camellos (Wani et al., 2010), sino al procedimiento más simple que, de manera general, consiste en 5 pasos: (1) aislamiento de una pequeña secuencia de ADN que codifica para una proteína de interés, (2) unión a otra molécula que será el ADN portador o vehículo que se conoce como vector de clonación para replicar el ADN recombinante cientos de veces. Por lo general, se utilizan para esto moléculas de ADN circular de origen bacteriano llamadas “plásmidos” que se replican de forma autónoma en la célula donde se introducen, la cual se conoce como célula hospedera. Otros vectores de clonación utilizados son los que están constituidos por ADN proveniente de virus. En ambos casos, para unir la secuencia de interés con el ADN del vector, se utiliza una enzima denominada “ligasa”. Una vez unida la secuencia de interés y el vector, este material genético resultante se denomina “ADN recombinante”, ya que contiene ADN de diferentes especies. (3) El ADN recombinante se introducirá al interior de la célula hospedera mediante diferentes técnicas dependiendo del tipo de tejido, constructo, equipamiento, entre otros. El objetivo es lograr que el ADN recombinante pueda ingresar al interior de la célula y usar la maquinaria celular para replicarse. (4) Selección o identificación de las células que se transformaron con el ADN recombinante. Esta identificación es posible porque los vectores de clonación contienen genes de resistencia a antibióticos que nos permiten identificar las células transformadas. Esto significa que, al poseer un gen de resistencia a un antibiótico específico que se introdujo con el ADN recombinante, las bacterias que se hayan transformado serán capaces de crecer en un medio que contenga ese antibiótico, mientras que las que no contienen el plásmido recombinante, no crecerán en el medio con antibiótico (Domínguez et al., 2017).

Una vez descrito y explicado, debemos destacar que, con herramientas como la clonación en el sentido simple, la TADR ha revolucionado la biotecnología y la agricultura, permitiendo el desarrollo de estrategias innovadoras para el control de enfermedades en frutas y hortalizas. Entre estas metodologías están el uso de sistemas de expresión heterólogos, de ARN de interferencia o RNAi, por sus siglas en inglés, CRISPR-Cas 9 que significa en inglés Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats-associated Cas nucleasa 9 y, en español, Repeticiones Palindrómicas Cortas Agru-

padas y Regularmente Interespaciadas asociadas a la nucleasa 9. También se usa una combinación de CRISPR-Cas y RNAi.

Mediante técnicas de la TADR se producen enzimas antifúngicas en sistemas de expresión heterólogos, lo que representa una estrategia prometedora para el control de enfermedades fúngicas en frutas y hortalizas postcosecha. Estas enzimas pueden inhibir el crecimiento de patógenos fúngicos y reducir las pérdidas postcosecha sin la necesidad de modificar genéticamente las plantas. En un estudio con *Aureobasidium pullulans* y *Pichia pastoris*, el gen de la serina proteasa alcalina ALP5 fue clonado y expresado en la cepa KM71 de *P. pastoris*. La proteasa recombinante mostró actividad antifúngica contra diversos patógenos *in vitro* e *in vivo* cuando se utilizó en manzanas. La mayor eficacia se observó contra *M. fructicola* y *B. cinerea*. La presencia de proteasa causó protuberancias en las hifas de *B. cinerea*. La proteasa recombinante expresada en *P. pastoris* fue más activa contra los patógenos *in vitro* que la misma enzima expresada en *E. coli* en estudios previos. Cuando se evaluó la eficacia de ALP5 para el control de los patógenos *in vivo* en manzanas cultivar golden delicious, la proteasa fue más eficiente en el control de *M. fructicola*, *B. cinerea* y *P. expansum* que en el caso de *A. alternata*. Sin embargo, el grado de actividad dependió de la concentración de la enzima y del tiempo de almacenamiento de la fruta. Los autores concluyeron que la serina proteasa alcalina podría utilizarse como un tratamiento postcosecha con actividad antimicrobiana para frutas con una vida de anaquel corta (Banani et al., 2014).

Otra metodología basada en TADR es la tecnología del RNA de interferencia o RNAi, una herramienta de silenciamiento postranscripcional de genes. El RNAi se está utilizando para controlar los hongos fitopatógenos mediante la alteración de genes esenciales de los patógenos fúngicos que son indispensables, ya sea para la infección o en el ciclo de vida del hongo patógeno. Este proceso implica la administración de pequeños RNA interferentes (RNAi), conocidos como pequeños RNAi, que pueden silenciar estos genes críticos, limitando o evitando el crecimiento de los patógenos fúngicos. El RNAi se puede aplicar mediante la administración exógena de moléculas de RNA bicatenario a las plantas, que van a inducir el ARNi brindando protección contra los hongos patógenos. El método de administración exógena evita la modificación de los genomas de los cultivos y se puede

utilizar contra una amplia gama de patógenos microbianos. Este enfoque se considera una alternativa amigable con el medio ambiente en comparación con los métodos convencionales de control de patógenos de plantas, como el uso de plaguicidas (Gebremichael et al., 2021).

Con el fin de investigar el potencial del método basado en RNAi para el control de infecciones fúngicas, se diseñó una estrategia con base en ARN largos no codificantes de doble cadena (dsRNA) en el patosistema cebada-*Fusarium graminearum* (Koch et al., 2016). Se aplicó una solución de dsRNA directamente en forma de aerosol a las hojas de cebada separadas de la planta y, también, para la evaluación semi-sistémica, se aplicó en forma de aerosol sólo en una pequeña parte de las hojas, protegiendo el resto de éstas con plástico para evitar la exposición de toda la hoja al aerosol que contenía el dsRNA. Posteriormente, las hojas fueron inoculadas con una suspensión de conidios del hongo *Fusarium graminearum*. Asimismo, se rociaron plántulas de cebada de una semana de edad con la solución de dsRNA y, tres semanas después, se inocularon con conidios del hongo. Los autores de este estudio observaron que el dsRNA controló las infecciones fúngicas tanto en el tejido foliar directamente rociado como en el sistémico. Además, en las hojas, el dsRNA inhibió el crecimiento del hongo fúngico, no sólo en las partes directamente rociadas, sino también en las no rociadas. Otro hallazgo fue que las plántulas absorbieron el dsRNA y lo condujeron a través de su sistema vascular a los sitios de infección fúngica. En esta aproximación, al estar en contacto el dsRNA con el hongo, el dsRNA es procesado por la maquinaria de interferencia de ARN fúngica. Para ello, el complejo fúngico llamado DICER-LIKE 1 (FgDCL-1) desempeña un papel crucial. FgDCL-1 procesa el dsRNA en pequeños RNA interferentes o siRNAs, por su acrónimo en inglés, en las células de *Fusarium graminearum*. Este procesamiento de dsRNA a siRNAs por FgDCL-1 es un pre-requisito para que el mecanismo de interferencia del siRNA pueda ocurrir. En este trabajo, los siRNAs estaban dirigidos hacia los genes CYP51A, CYP51B y CYP51C, lo que condujo a la inactivación de estos. Al estar estos genes involucrados en la biosíntesis del ergosterol, un componente vital de la pared celular del hongo, los siRNA, inhibieron el crecimiento del hongo (Koch et al., 2016).

El sistema CRISPR-Cas9, basado en TADR, ha significado un gran avance en el desarrollo de plantas resistentes a través de la mutagénesis

dirigida. Se realizó la edición del gen S mediante CRISPR-Cas9 para generar plantas de arroz resistentes a nematodos fitoparásitos sin la presencia de transgenes (Huang et al., 2023). Estos autores indujeron específicamente la mutagénesis del gen de susceptibilidad OsHPP04 en el arroz, lo que dio lugar a mutantes homocigotos genéticamente estables con mayor resistencia al nematodo agallador del arroz (*Meloidogyne graminicola*). El estudio obtuvo con éxito mutantes de arroz homocigótico libres de transgenes que mostraron una mayor resistencia a *M. graminicola* en comparación con el arroz de tipo silvestre. Los mutantes obtenidos, al estar libres de elementos transgénicos, permiten evitar en gran parte las preocupaciones sobre el uso de organismos genéticamente modificados (Huang et al., 2023).

Los isotiocianatos son fungicidas naturales muy potentes producidos como defensa por diferentes especies de plantas pertenecientes a las Brásicas. En nuestro grupo de trabajo, demostramos la efectividad de estos compuestos para controlar las infecciones por hongos (Troncoso-Rojas et al., 2005; Troncoso et al., 2005). Demostramos que los hongos son capaces de adaptarse a altas concentraciones de los isotiocianatos y que esa adaptación implica la inducción de mutaciones en diferentes partes del genoma (Troncoso-Rojas et al., 2013). Con base en esto, decidimos evaluar la respuesta molecular de los hongos a la presencia de isotiocianatos utilizando el sistema *Alternaria alternata*:2-propenil isotiocianato, con lo cual logramos dilucidar, al menos parcialmente, la respuesta de adaptación de los hongos a estos compuestos (Báez-Flores et al., 2011; García-Coronado et al., 2015). De acuerdo con estos resultados, es posible pensar en diseñar un tratamiento combinando los isotiocianatos con inhibidores de alguna de las proteínas de defensa identificadas que utiliza el hongo con el fin de diseñar un tratamiento más efectivo.

En otra serie de experimentos, demostramos, como primer acercamiento, la efectividad de una mezcla compleja de componentes de la pared celular de los hongos para activar el sistema de defensa de los frutos y demostramos, en parte, el mecanismo molecular de respuesta de las frutas (Sánchez-Estrada et al., 2009).

Posteriormente, realizamos estudios para poder dilucidar el mecanismo molecular de las frutas utilizando uno de los componentes aislados de la pared celular del hongo *Alternaria alternata*, que es la quitina (Henry-García et al., 2018). El acercamiento experimental utilizado fue la secuenciación

masiva de la siguiente generación y el sistema tomate-*Alternaria alternata* (Henry-García et al., 2023). Se espera que el conocimiento del mecanismo molecular de respuesta de las frutas nos permita diseñar metodologías más eficientes para el control de infecciones fúngicas en frutos en un futuro.

Consideraciones sobre las tecnologías basadas en TADR

Aunque la tecnología del ARNi es prometedora para el control de hongos fitopatógenos, aún existen algunos aspectos por analizar en detalle, como los posibles efectos en genes que no son el objetivo, los cambios epigenéticos que pudieran resultar y algunas consideraciones de bioseguridad. En conjunto, estas consideraciones y su investigación son cruciales para una implementación exitosa de la tecnología del RNAi con el fin de lograr la protección sostenible de los cultivos y el desarrollo potencial de productos basados en ARNi para uso comercial (Gebremichael et al., 2021).

El uso combinado de las tecnologías de ARNi y CRISPR-Cas9 en las plantas es muy prometedor para mejorar la resistencia a diversos estreses y mejorar el rendimiento de los cultivos. El RNAi es un enfoque de regulación génica que permite reducir su expresión mediante la interferencia de moléculas de RNA, sin afectar a la expresión de otros genes. Un ejemplo concreto de esto es el papel fundamental del uso de la tecnología de ARNi en el desarrollo de frutos sin semillas a través de la desregulación de genes específicos involucrados en la formación de semillas, lo que conduce a la partenocarpia y a la mejora de la calidad de la fruta. Por otro lado, CRISPR-Cas9 es un sistema de nucleasas de sitio específico que permite la modificación precisa y dirigida de secuencias genómicas (Rajput et al., 2021). Para estos autores, muchos estudios han demostrado el potencial de los enfoques basados en RNAi y CRISPR/Cas9 en la mejora de los cultivos. Para ellos, la exploración que se ha hecho del RNAi en la modificación de la expresión génica con el fin de mejorar la calidad de los rasgos y desarrollar cultivos tolerantes al estrés y resistentes a las enfermedades, sin necesidad de transgenes, es un avance de gran valor en la agricultura. Asimismo, consideran que CRISPR/Cas9 es una poderosa herramienta para la edición genómica diri-

gida a cultivos, permitiendo la modificación de múltiples genes simultáneamente y facilitando el desarrollo de cultivares libres de transgenes.

En conclusión, el uso combinado de las tecnologías basadas en TADR, como la expresión heteróloga de genes, el ARNi y CRISPR-Cas9 tienen un gran potencial para mejorar la resistencia de las plantas frente a diversos estreses, aumentar el rendimiento de los cultivos y, de esta forma asegurar la sostenibilidad agrícola.

La tecnología del ADN recombinante y un sistema agrícola sostenible

El principio central de la sostenibilidad establece que debemos de poder satisfacer nuestras necesidades sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para hacer lo mismo. Los tres principios sobre los que se sostiene el principio de sostenibilidad son el ambiental, el social y el económico. De acuerdo con lo mencionado, la agricultura sostenible es una alternativa a la agricultura convencional, ya que integra las ciencias biológicas, económicas y sociales por lo que es claramente compatible con los principios de sostenibilidad, es de un uso más seguro y, por lo tanto, no impacta negativamente al ambiente (Lichtfouse et al., 2009).

Las pérdidas postcosecha de frutas a escala global se encuentran en un rango de 25 a 50% y se deben a varios factores entre lo que se pueden mencionar los daños mecánicos durante la cosecha y transporte, el almacenamiento en condiciones subóptimas, el empaque mal diseñado, la pérdida de agua, el estado fisiológico de maduración, la senescencia, desórdenes fisiológicos y el ataque de hongos (Bancal y Ray, 2022; Kitinoja et al., 2011). De estos últimos factores, la infección fúngica es el factor más importante, ya que es el más difícil de controlar y, adicionalmente, provoca contaminación por toxinas, lo cual es peligroso para la salud humana (Barkai-Golan y Paster, 2008; Klapac et al., 2022).

Tradicionalmente, se han utilizado compuestos químicos para el control de infecciones fúngicas postcosecha como parte de la agricultura convencional. Sin embargo, esto provoca contaminación tanto en el ambiente como en los alimentos, así como el desarrollo de cepas resistentes que ya no pue-

den ser controladas por los compuestos químicos (Sánchez-Torres, 2021). También implica potenciales efectos negativos en la salud de los consumidores debido a los residuos químicos. Se han desarrollado varias tecnologías alternativas para el control de hongos en postcosecha que se pueden clasificar en biológicas, químicas y físicas (Oyom et al., 2022; You et al., 2023). Sin embargo, la efectividad de estas tecnologías varía dependiendo de la especie, las condiciones climáticas precosecha, el periodo de tiempo del ciclo agrícola durante el cual se realizó la cosecha y el estado fisiológico del fruto al momento de la cosecha. Lo anterior provoca que el resultado de la aplicación de los tratamientos sea muy azaroso e ineficiente con lo que no se logra alcanzar las condiciones óptimas para controlar las infecciones fúngicas.

Esto trae como consecuencia que los peligros relacionados a las infecciones fúngicas nunca se logran reducir lo suficiente como para alcanzar la inocuidad alimentaria y la reducción de las pérdidas postcosecha. Debido a esto, se ha sugerido la necesidad de nuevas tecnologías (You et al., 2023).

Una alternativa viable es la TADR, ya que tiene el potencial de elucidar los mecanismos moleculares de defensa de los frutos en respuesta al ataque de hongos (García et al., 2023; Wang et al., 2024). Esta tecnología forma parte del manejo integrado de plagas, que se ha sugerido como una práctica novedosa para desarrollar la agricultura sostenible (Muhie, 2022). Aun cuando claramente se requiere de experimentación para demostrarlo, es muy probable que exista un mecanismo universal de defensa de las diferentes especies de frutas en respuesta al ataque de hongos. De acuerdo con lo mencionado, en la actualidad nuestro grupo de trabajo se encuentra generando evidencias científicas que sustentan la hipótesis que formulamos hace algunos años y que sostiene la existencia de un mecanismo universal de biosíntesis de cutícula en frutas (Valenzuela-Avilés et al., 2023). Asimismo, un estudio de los elementos de respuesta de los factores de transcripción de plantas encontró una alta conservación en especies con más de 125 millones de años de divergencia (Baumgart et al., 2024).

La demostración de un mecanismo molecular universal de respuesta de las frutas permitiría diseñar una estrategia óptima, inteligentemente dirigida y amigable con el ambiente con el fin de aumentar la resistencia de los frutos al ataque de hongos. Más aún, la estrategia en teoría funciona en todas

las especies de frutas, lo cual la convierte en un acercamiento óptimo, efectivo y de utilización sostenible. De acuerdo con esto, esta estrategia permitirá desarrollar la agricultura sostenible, ya que aumentaría la exportación de frutas, lo cual impacta de forma positiva a la economía y potenciaría la actividad agrícola mejorando el ingreso de los trabajadores. Asimismo, esto impacta positivamente al componente social al reducir los efectos negativos provocados por la utilización de químicos, lo cual tendría un impacto positivo en el ambiente y en la sociedad.

Mecanismo molecular de respuesta de las frutas a la infección fúngica

Mediante las modernas técnicas de secuenciación masiva es posible conocer la mayoría de los genes que se encuentran activos en respuesta a una infección fúngica. Esta posibilidad permite tener un panorama global de la bioquímica y los cambios en la regulación genética que ocurren en el núcleo.

Por medio de estas técnicas se ha obtenido el transcriptoma del patosistema de varias especies de frutos y hongos. De acuerdo con esto, se ha publicado el análisis de la interacción del tomate y el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Alkan et al., 2015), la uva y el hongo *Talaromyces rugulosus* (Xu et al., 2021), la pera y el hongo *Alternaria alternata* (Kan et al., 2017), la fresa y el hongo *Botrytis cinerea* (Haile et al., 2019), el aguacate y el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Djami-Tchatchou et al., 2012), el tomate y el componente quitina de la pared del hongo *Alternaria alternata* (García et al., 2023). Existen más estudios, sin embargo, es muy claro que en todos se encontró el mismo mecanismo de defensa del fruto, con algunas variaciones, por lo que no se citarán.

Debido a que este capítulo no está destinado a ser leído por un público experto en el área, los mecanismos moleculares complejos de defensa no serán descritos, y en su lugar se describirán de forma sencilla los hallazgos más recientes de la TADR.

El mecanismo molecular de la interacción fruta-hongo es muy complejo y se ha encontrado que la respuesta del fruto incluye genes que participan en diferentes respuestas como en el reconocimiento del patógeno y el

envío de la señal al núcleo, la biosíntesis de componentes cuticulares, la biosíntesis de fitoalexinas, glicoalcaloides y lignina, relacionados a la patogénesis, los genes de la pared celular, la generación de especies reactivas de oxígeno, los genes activados por fitohormonas, la activación de factores de transcripción, entre otros. Además, se han identificado elementos genéticos no codificantes como RNA de cadena larga que participan en la regulación de los genes involucrados en la defensa.

Los análisis de la respuesta molecular de frutos al ataque de hongos mediante la TADR claramente sugieren la existencia de un mecanismo común en las diferentes especies de frutas. En este contexto, sería factible pensar en la identificación de los elementos críticos del fenómeno y, con esta información, diseñar un protocolo mediante el cual sea posible alterar la respuesta para inducir un aumento en la resistencia del fruto al ataque de hongos. Esto provocaría menores pérdidas postcosecha, reduciría la contaminación por compuestos químicos y micotoxinas, aumentaría la entrada de divisas al país por concepto de exportaciones y una mayor generación de jornales, con lo que se impactaría en los tres pilares del desarrollo sustentable mencionados anteriormente.

Acercamiento metodológico para apoyar a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas

En la actualidad no existen acercamientos comerciales desarrollados con base en la TADR, con excepción de las plantas transgénicas, lo cual se está tratando de obviar en este capítulo, como ya se mencionó. Sin embargo, existen aplicaciones que se utilizan desde hace tiempo, como la utilización de marcadores moleculares como apoyo a los programas de mejoramiento genético basados en la segregación mendeliana. Estos marcadores hacen posible acelerar el desarrollo de variedades con características fenotípicas mejoradas como una mejor resistencia al ataque de patógenos o a diferentes estreses, entre otros.

A continuación, se describe un posible acercamiento metodológico para utilizar la tecnología del ADN recombinante y apoyar a la sostenibilidad de los sistemas agroindustriales. Inicialmente, se requiere realizar una base

de datos con los genes que se han encontrado que participan en el mecanismo de defensa al ataque de hongos en los diferentes transcriptomas de la interacción fruta-hongo disponibles. Con la creación de esta base de datos, se realizará la búsqueda de estos genes en los genomas disponibles de las diferentes especies de frutas mediante herramientas de bioinformática. Es muy probable que se identifique la presencia de los genes en las diferentes especies. En el caso de estos genes, no se tendrá las evidencias experimentales de su activación durante el ataque de hongos, sin embargo, su presencia en el genoma claramente sugiere su función fisiológica. Asimismo, la identificación de genes comunes en diferentes especies permitirá especular, con bases más sólidas, acerca de la presencia de un mecanismo universal de respuesta al ataque de patógenos.

Posteriormente, se realizará el análisis de 1000 pares de bases de las regiones reguladoras, empezando desde el sitio de inicio de traducción de la proteína, con el fin de identificar la presencia de elementos de respuesta al ataque de patógenos. Este acercamiento permitirá generar evidencias *in silico* de que estos genes participan en la respuesta molecular al ataque de patógenos.

Además, permitirá identificar los diferentes factores de transcripción que participan en el mecanismo molecular de respuesta. Es importante identificar estos genes, ya que su función es la activación de grupos de genes de respuesta. De acuerdo con esto, es posible, en teoría, identificar al controlador principal del mecanismo de respuesta.

Es importante comentar que no podemos visualizar un acercamiento para el control del mecanismo molecular de respuesta a hongos en frutos sin la utilización de las técnicas modernas de edición genómica o la introducción de elementos genéticos, lo cual no se considera adecuado debido a la gran controversia que existe alrededor de los organismos transgénicos. Sin embargo, la información que se generaría mediante el acercamiento metodológico mencionado podría ser utilizado para la creación de marcadores moleculares que asistan programas de mejoramiento genético, utilizando como primer acercamiento al tomate, con el fin de evaluar la eficacia de dicho acercamiento. Existe la posibilidad de utilizar inhibidores suicidas (Hajizadeh et al., 2022), pero podría tener consecuencias negativas, considerando la cercanía filogenética de los frutos y los humanos.

Conclusiones

La utilización de la TADR es relativamente costosa y los reactivos, materiales y equipos que se necesitan no se producen en México. Sin embargo, es importante comentar que México ha invertido mucho tiempo y dinero en la formación de recursos humanos altamente especializados que se han entrenado en el extranjero, incluyendo al autor por correspondencia de este capítulo. Asimismo, se ha invertido en la creación de diferentes centros de investigación que cuenten con instalaciones adecuadas para realizar acercamientos experimentales con la tecnología del ADN recombinante. De acuerdo con lo anterior, existe el personal capacitado, el equipamiento y las instalaciones para que se puedan llevar a cabo acercamientos experimentales utilizando la TADR de forma inteligente y bien dirigida. Con base en esto, se puede argumentar que sí es posible desarrollar experimentación en México utilizando la TADR para apoyar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Una vez desarrolladas las herramientas necesarias, no sería un problema llevar a cabo su aplicación en las diferentes regiones del país.

Relacionar a la tecnología del ADN recombinante únicamente con la creación de transgénicos implica una visión muy limitada de sus capacidades. En este contexto, las plantas transgénicas son, en parte, una herramienta para demostrar la función de las proteínas codificadas por los diferentes genes y, en este sentido, su rechazo es más bien de origen ideológico. Por otro lado, esta tecnología ha sido utilizada para la generación de medicinas con mayor seguridad y bajo costo, como la insulina, la hormona del crecimiento, los factores de la coagulación para los hemofílicos, las vacunas para el COVID que contienen virus recombinantes, entre otros. Asimismo, ha sido muy importante para la obtención de diferentes genomas incluyendo el del humano, lo cual tiene muchas aplicaciones potenciales. Asimismo, en la actualidad se está realizando la secuenciación de todos los genomas de virus, lo que va a permitir que podamos enfrentar la siguiente pandemia viral de forma más exitosa (Liachko, 2024).

La disponibilidad de varios genomas de plantas permite investigar la presencia de un mecanismo universal de respuesta a infecciones fúngicas, como se sugiere en el presente capítulo. Por otro lado, esta tecnología ofrece

la posibilidad de diseñar un protocolo para mejorar la resistencia de los frutos al ataque de hongos sin la utilización de compuestos químicos, lo cual puede causar un impacto positivo en los tres pilares de la sostenibilidad, contribuyendo así a un bienestar social que permanecerá sostenido en el tiempo. Esto, a su vez, puede inducir mejoras en muchos aspectos de la población como la educación, la salud, la esperanza de vida, el desarrollo de proyectos comunitarios, la mejora en las políticas públicas y más disponibilidad de trabajos mejor remunerados.

Referencias

- Alkan, N., G. Friedlander, D. Ment, D. Prusky y R. Fluhr. (2015). Simultaneous transcriptome analysis of *Colletotrichum gloeosporioides* and tomato fruit pathosystem reveals novel fungal pathogenicity and fruit defense strategies. *New Phytologist*, 205(2), 801-815. <https://doi.org/10.1111/nph.13087>
- Anaya-Dyck, J. M., M. Á. Hernández-Oñate, J. C. Tafolla-Arellano, R. Báez-Sañudo, P. Gutiérrez-Martínez y M. E. Tiznado-Hernández. (2021). La cadena productiva de guanábana: una opción para el desarrollo económico en Compostela, Nayarit. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 31(57). <https://dx.doi.org/10.24836/es.v31i57.1048>
- Báez-Flores, M. A., R. Troncoso-Rojas, M. A. Islas-Osuna, M. Rivera-Domínguez, B. Pryor, y M. E. Tiznado-Hernández. (2011). Differentially expressed cDNAs in *Alternaria alternata* treated with 2-propenyl isothiocyanate. *Microbiological Research* 166(7), 566-577. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2010.11.004>
- Banani, H., D. Spadaro, D. Zhang, S. Matic, A. Garibaldi y M. L. Gullino. (2014). Biocontrol activity of an alkaline serine protease from *Aureobasidium pullulans* expressed in *Pichia pastoris* against four postharvest pathogens on apple. *International Journal of Food Microbiology*, 182-183, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.05.001>
- Bancal, V., y R. C. Ray. (2022). Overview of food loss and waste in fruits and vegetables: From issue to resources. En: R. Ray, *Fruits and vegetable wastes: Valorization to bioproducts and platform chemicals* (pp. 3-29). Bhubaneswar: Springer.
- Barkai-Golan, R., y N. Paster. (2008). Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: part 1. *World Mycotoxin Journal*, 1(2), 147-159. <https://doi.org/10.3920/WMJ2008.x018>
- Baumgart, A., A. Morales Cruz, S. Greenblum, P. Wang, Y. Zhang, L. Yang, A. C. Garretson, C. Chen, D. Dilworth, E. Savage, Y. Yoshinaga, C. Daum y R. O'Malley. (2024). Conservation of gene regulatory elements in plants. AGBT Agricultural Meeting 2024. Phoenix, Arizona, Estados Unidos. 14-18 abril.

- Bermúdez, G. P. (2022). *Biología molecular: ADN recombinante y sus aplicaciones*. Colombia: Editorial El Manual Moderno.
- Brundtland, G. H., y M. Khalid. (1987). *World Commission on Environment and Development: Our common future*. Oxford: Oxford University Press.
- Çakmakçi, R., M. A. Salik y S. Çakmakçi. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture-Basel*, 13(5), 1073. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
- De la Peña, M. L. M., J. M. R. Parra, M. E. T. Hernández, M. P. Rodríguez, J. C. T. Arellano y K. M. Silva. (2022). Calidad como demanda intangible de mercado y organizaciones sustentables. *Revista Academia & Negocios*, 8(1), 111-124.
- Dixit, T., N. Dutta y A. Shukla. (2023). Negative impact of recombinant DNA technology on life. En: T.A. Bhat y J.M. Al-Khayri, *Genetic Engineering* (pp. 183-204). New York: Apple Academic Press.
- Djami-Tchatchou, A. T., C. J. Straker y F. Allie. (2012). 454 sequencing for the identification of genes differentially expressed in avocado fruit (cv. Fuerte) infected by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Phytopathology*, 160(9), 449-460. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2012.01925.x>
- Domínguez, J. L., K. M. M. Sarmina, D. P. Sosa, D. y A. L. Monteon. (2017). Tecnología del ADN recombinante. *Kuxulkab'*, 23(47), 41-47. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a23n47.2627>
- Ervin, D. E., L. L. Glenna y R. A. Jussaume. (2010). Are biotechnology and sustainable agriculture compatible? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(2), 143-157. <https://doi.org/10.1017/s1742170510000189>
- Farooq, M. (2023). Conservation agriculture and sustainable development goals. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 60(3), 291-298. <https://doi.org/10.21162/pakjas/23.170>
- Felfernig, A., M. Wundara, T. N. T. Tran, S. Polat-Erdeniz, S. Lubos, M. El Mansi, D. Garber y V. M. Le. (2023). Recommender systems for sustainability: overview and research issues. *Frontiers in Big Data*, 6, Article 1284511. <https://doi.org/10.3389/fdata.2023.1284511>
- García-Coronado, H., R. Troncoso-Rojas, M. E. Tiznado-Hernández, M. C. de la Cruz Otero, S. P. Díaz Camacho y M. E. Báez-Flores. (2015). Analysis of a suppressive subtractive hybridization library of *Alternaria alternata* resistant to 2-propenyl isothiocyanate. *Electronic Journal of Biotechnology*, 18:320-326. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2015.06.002>
- García, Y. H., R. Troncoso-Rojas, M. E. Báez-Flores, M. A. Hernández-Oñate y M. E. Tiznado-Hernández. (2023). RNA-Seq of tomato fruit-*Alternaria* chitin oligomer interaction reveals genes encoding chitin membrane receptors and the activation of the defense response. *Horticulturae*, 9(10), Article 1064. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101064>
- Gavrilescu, M., y Y. Chisti. (2005). Biotechnology - a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnology Advances*, 23(7-8), 471-499. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.03.004>
- Gebremichael, D.E., Z.M. Haile, F. Negrini, S. Sabbadini, L. Capriotti, B. Mezzetti y E. Ba-

- raldi. (2021). RNA interference strategies for future management of plant pathogenic fungi: Prospects and challenges. *Plants*, 10(4), 650. <https://doi.org/10.3390/plants10040650>
- Haberl, H., M. Fischer-Kowalski, F. Krausmann, H. Weisz y V. Winiwarter. (2004). Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land use policy*, 21(3), 199- 213. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.013>
- Haile, Z. M., E. G. Nagpala-De Guzmán, M. Moretto, P. Sonego, K. Engelen, L. Zoli, C. Moser y E. Baraldi. (2019). Transcriptome profiles of strawberry (*Fragaria vesca*) fruit interacting with *Botrytis cinerea* at different ripening stages. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 1131. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01131>
- Hajizadeh, M., Z. Moosavi-Movahedi, N. Sheibani y A. A. Moosavi-Movahedi. (2022). An outlook on suicide enzyme inhibition and drug design. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 19(5), 1575-1592. <https://doi.org/10.1007/s13738-021-02416-4>
- Henry-García, Y., M. E. Tiznado-Hernández, M. E. Báez-Flores, E. Carvajal-Millán, A. Rascón-Chu, J. Lizardi-Mendoza, K.G. Martínez-Robinson y R. Troncoso-Rojas. (2018). Enzymatic treatments as alternative to produce chitin fragments of low molecular weight from *Alternaria alternata*. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(15), 47339. <https://doi.org/10.1002/app.47339>
- Henry García, Y., R. Troncoso-Rojas, M. E. Báez-Flores, M. A. Hernández-Oñate y M. E. Tiznado-Hernández. (2023). RNA-Seq of tomato fruit-*Alternaria* chitin oligomer interaction reveals genes encoding chitin membrane receptors and the activation of the defense response. *Horticulturae*, 9(10), 1064 <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101064>
- Huang, Q., B. Lin, Y. Cao, Y. Zhang, H. Song, C. Huang, T. Sun, C. Long, J. Liao, y K. Zhuo. (2023). CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the susceptibility gene OsHPP04 in rice confers enhanced resistance to rice root-knot nematode. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1134653. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1134653>
- Kan, J. L., T. L. Liu, N. Ma, H. Li, X.G. Li, J. Y. Wang, B. L. Zhang, Y. H. Chang, y J. Lin. (2017). Transcriptome analysis of callery pear (*Pyrus calleryana*) reveals a comprehensive signalling network in response to *Alternaria alternata*. *Plos One*, 12(9), Article e0184988. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184988>
- Khan, N., R. L. Ray, G. R. Sargani, M. Ihtisham, M. Khayyam y S. Ismail. (2021). Current progress and future prospects of agriculture technology: Gateway to sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(9), Article 4883. <https://doi.org/10.3390/su13094883>
- Kitinoja, L., S. Saran, S. K. Roy y A. A. Kader. (2011). Postharvest technology for developing countries: challenges and opportunities in research, outreach and advocacy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(4), 597-603. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4295>
- Klapec, T., A. Wóciak-Fatla, E. Farian, K. Kowalczyk, G. Cholewa, A. Cholewa y J. Dutkiewicz. (2022). Mycobiota of berry fruits - levels of filamentous fungi and mycotoxins, composition of fungi and analysis of potential health risk for consumers. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 29(1), 28-37. <https://doi.org/10.26444/aaem/147297>

- Koch, A., D. Biedenkopf, A. Furch, L. Weber, O. Rossbach, E. Abdellatef, L. Linicus, J. Johannsmeier, L. Jelonek y A. Goesmann. (2016). An RNAi-based control of *Fusarium graminearum* infections through spraying of long dsRNAs involves a plant passage and is controlled by the fungal silencing machinery. *PLoS pathogens*, 12(10), e1005901. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005901>
- Liachko, I. (2024). Building the world's largest virome- and resistome-host interaction atlas for precision microbiomics. AGBT Agricultural Meeting 2024. Phoenix, Arizona, U.S.A. 14-18 Abril.
- Lichtfouse, E., M. Navarrete, P. Debaeke, V. Souchère, C. Alberola y J. Ménassieu. (2009). *Agronomy for Sustainable Agriculture: A Review*. 29(1), 1-6 https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_1
- Muhie, S.H. (2022). Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, Article 100446. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
- National Human Genome Research Institute. (abril 29, 2024). Recombinant DNA. ADN recombinante (rADN). <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/ADN-recombinante>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2019). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma. Licencia: CC BY-NC- SA 3.0 IGO.
- Oyom, W., Y. C. Li, D. Prusky, Z. Zhang, Y. Bi y R. Tahergorabi. (2022). Recent advances in postharvest technology of Asia pears fungi disease control: A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, Article 101771. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2021.101771>
- Rajput, M., K. Choudhary, M. Kumar, V. Vivekanand, A. Chawade, R. Ortiz y N. Pareek. (2021). RNA interference and CRISPR/Cas gene editing for crop improvement: Paradigm shift towards sustainable agriculture. *Plants*, 10(9), 1914. <https://doi.org/10.3390/plants10091914>
- Sánchez-Estrada, A., M. E. Tiznado-Hernández, J. Ojeda-Contreras y R. Troncoso- Rojas. (2009). Induction of enzymes and phenolic compounds related to the natural defense response of netted melon fruit by a bio-elicitor. *Journal of Phytopathology*, 157(1), 24-32. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2008.01440.x>
- Sánchez-Torres, P. (2021). Molecular mechanisms underlying fungicide resistance in citrus postharvest green mold. *Journal of Fungi*, 7(9), Article 783. <https://doi.org/10.3390/jof7090783>
- Secretaría del Bienestar. (2020). Se desperdician más de diez mil toneladas de alimentos cada año en México. <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/se-desperdician-mas-de-diez-mil-toneladas-de-alimentos-cada-ano-en-mexico>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://nube.siap.gob.mx/cierre-agricola/>
- Troncoso-Rojas R., A. Sánchez-Estrada, C. Ruelas, H. S. García y M. E. Tiznado-Hernández. (2005). Effect of benzyl isothiocyanate on tomato fruit infection development

- by *Alternaria alternata*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9),1427-1434. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2129>
- Troncoso R., C. Espinoza, A. Sánchez-Estrada, M.E. Tiznado y H.S. García. (2005). Analysis of the isothiocyanates present in cabbage leaves extract and their potential application to control *Alternaria* rot in bell peppers. *Food Research International*, 38(6),701-708. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.004>
- Troncoso-Rojas, R., M. E. Báez-Flores, B. Pryor, H. S. García y M. E. Tiznado-Hernández. (2013). Inter simple sequence repeat polymorphism in *Alternaria* genomic DNA exposed to lethal concentrations of isothiocyanates. *African Journal of Microbiology Research*, 7(10), 838-852. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.291>
- Valenzuela-Avilés, J. A., C. A. Contreras-Vergara, A. Cruz-Mendivil, C. A. Calderón- Vázquez, M. E. Tiznado-Hernández y M. A. Hernández-Oñate. (2023). Análisis genómico comparativo de la biosíntesis de cutícula en frutos carnosos. Congreso Interdisciplinario de Nutrición, Ciencia y Tecnología. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Sonora, México. 22-24 noviembre.
- Wang, Y. X., B. Chen, C. Y. Cheng, B. K. Fu, M. X. Qi, H. S. Du, S. S. Geng y X. F. Zhang. (2024). Comparative transcriptomics analysis reveals the differences in transcription between resistant and susceptible pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties in response to anthracnose. *Plants-Basel*, 13(4), Article 527. <https://doi.org/10.3390/plants13040527>
- Wani, N. A., U. Wernery, F. Hassan, R. Wernery y J. Skidmore. (2010). Production of the first cloned camel by somatic cell nuclear transfer. *Biology of reproduction*, 82(2), 373-379. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.081083>
- Xu, M., X. Zhang, D. Li, X. Gu, E. A. Godana, S. Dhanasekaran, L. Zhao y H. Zhang. (2021). Transcriptome analysis of postharvest grapes in response to *Talaromyces rugulosus* O1 infection. *Postharvest Biology and Technology*, 178, 111542. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111542>
- You, Y., Y. Zhou, X. Duan, X. Mao y Y. Li. (2023). Research progress on the application of different preservation methods for controlling fungi and toxins in fruit and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(33), 12441-12452. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2101982>

17. Uso de la inmunoproteómica en el CIAD como una herramienta para identificar y caracterizar alérgenos en polen de árboles en el desierto de Sonora



MARTHA BEATRIZ MORALES-AMPARANO*

ANGÉLICA ESPINOSA-PLASCENCIA**

JOSÉ ÁNGEL HUERTA-OCAMPO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.17>

Resumen

La alergia respiratoria impacta la calidad de vida de millones de personas a nivel mundial y se manifiesta comúnmente como rinitis alérgica, conjuntivitis, estornudos, dificultad para respirar y asma. Estos trastornos son ocasionados por respuestas exacerbadas del sistema inmunológico en pacientes sensibilizados por agentes ambientales generalmente inocuos y, principalmente, de naturaleza proteínica denominados alérgenos. En el Laboratorio de Proteómica del CIAD se realizan investigaciones para identificar las proteínas alergénicas presentes en pólenes del desierto de Sonora con relevancia clínica para, a partir de ese conocimiento, diseñar estrategias diagnósticas y terapéuticas para la alergia al polen en estas especies. Para ello, se han empleado técnicas proteómicas con un enfoque inmunoproteómico, utilizando Western blot para la detección de proteínas alergénicas, usando la IgE del suero de pacientes alérgicos como anticuerpo primario. Las proteínas inmunodetectadas son cortadas de un gel bidimensional de poliacrilamida y digeridas con tripsina para su identificación por cromatografía de líquidos acoplada espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) y aná-

* Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-0986>

** Maestra en Ciencias. Profesora-investigadora Asociada por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2971-5774>

*** Doctor en Ciencias en biología Molecular. Profesor-investigador titular por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4505-841X> ; correspondencia: jose.huerta@ciad.mx

lisis bioninformáticos. Hemos identificado alérgenos de relevancia clínica, como la triosa fosfato isomerasa, poligalacturonasa, enolasa y profilina, siendo esta última responsable de la reactividad cruzada entre pólenes y alimentos vegetales frescos, y la enolasa, antes considerada alérgeno exclusivo en hongos, y que ha emergido recientemente como un alérgeno relevante en el polen y otras fuentes. Aplicando inmunoproteómica en conjunto con herramientas bioinformáticas, se ha confirmado la alergenicidad y se han difundido los primeros reportes y predicciones sobre alérgenos de fuentes con relevancia clínica presentes en el desierto de Sonora. Por ejemplo: *Carya illinoensis* (nogal pecanero), *Prosopis velutina* (mezquite terciopelado) y *Parkinsonia microphylla* (palo verde). Estos pólenes predominantes en el desierto de Sonora no habían sido explorados, pero se ha comprobado que tienen un fuerte impacto en la salud y calidad de vida de las personas alérgicas en la región. La aplicación de la inmunoproteómica permitió explorar nuevas y relevantes fuentes de alérgenos, lo cual es esencial para un diagnóstico y tratamiento más eficiente y seguro. Estas investigaciones están abriendo nuevas perspectivas para la comprensión y el abordaje de esta problemática de salud pública global.

Palabras clave: *alergia, árboles del desierto, polen, proteómica.*

Introducción

Los pólenes son los aeroalérgenos más importantes en el ambiente y representan una pequeña fracción de la cantidad total de partículas biológicas presentes en el aire. No existe información suficiente que correlacione directamente el cambio climático, la producción de polen, la identificación de alérgenos del polen y la sensibilización alérgica que presentan las personas. Las investigaciones llevadas a cabo en el Laboratorio de Proteómica del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) se han enfocado en identificar y caracterizar proteínas alergénicas de importancia clínica, provenientes del polen de tres árboles como el mezquite (*Prosopis velutina*), el palo verde (*Parkinsonia microphylla*) o el nogal pecanero (*Carya*

illinoensis), que crecen en zonas desérticas y tienen importancia nutricional, de sustentabilidad y económica.

La inmunoproteómica nos ha permitido detectar proteínas específicamente reconocidas por anticuerpos de los pacientes alérgicos e identificarlas mediante espectrometría de masas y análisis bioinformáticos. Estos hallazgos se están empleando a través de una estrecha colaboración con el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) y el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICYT) para desarrollar estrategias que contribuyan al diagnóstico y tratamiento de la alergia al polen de estos árboles.

La polinización y su efecto en las enfermedades respiratorias

El desierto de Sonora es el más seco y caluroso del país. Las diferencias climáticas que se están presentando han provocado que la floración en especies nativas sea distinta a las del resto del país, por ende, los tipos de pólenes dispersos en el aire también lo son (Morales-Amparano y Huerta-Ocampo, 2023). La polinización de los árboles florales libera una gran cantidad de aeroalérgenos, haciendo inevitable la exposición de la población al polen. Esto ha generado en los últimos años un aumento en la incidencia de alergias y que éstas se presenten en etapas más tempranas y tengan una duración más prolongada, ocasionando serias repercusiones para la salud humana. En zonas áridas y semiáridas, el cambio climático potencia la emisión y el transporte de partículas finas (PM10) y ultrafinas (PM2.5) que se adhieren a las superficies de los pólenes, causando la liberación de sus componentes alérgenos. La mayoría de las partículas que cubren la superficie del polen provienen de la contaminación vial por emisiones de automóviles y su dispersión se favorece por los tipos de suelo locales (Ortega-Rosas et al., 2020).

¿Cómo se desencadena la alergia por polen?

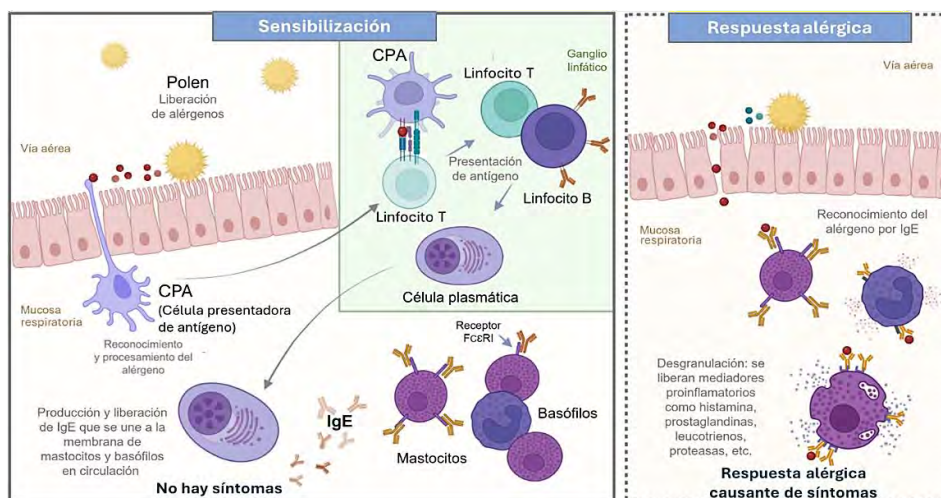
Las alergias por polen son una reacción anormal a sustancias específicas denominadas alérgenos, que generalmente son proteínas presentes en el

polen y tienen un peso molecular de 10 a 60 kDa. Estos alérgenos inflaman el tracto respiratorio y estimulan la producción de anticuerpos específicos de la clase IgE y de células sensibilizadas. Estas últimas unen su superficie a los anticuerpos IgE específicos generados contra los componentes del polen (antígenos) que ocasionaron su formación. La unión del antígeno con la IgE en la superficie de las células sensibilizadas libera moléculas que generan las manifestaciones clínicas de la alergia (Batista-Roche y Huerta-Ocampo, 2021).

Los contaminantes atmosféricos provocan un incremento en la síntesis de IgE, pudiendo inducir o aumentar la expresión de proteínas alergénicas. Las IgE se difunden inicialmente por los vasos linfáticos y después por el torrente sanguíneo. Al ingresar al espacio intersticial, se unen al receptor para IgE de alta afinidad, localizado en la membrana de mastocitos y eosinófilos, sensibilizándolos al alérgeno. Entonces, la IgE adopta una función de receptor específico para proteínas alergénicas (Oh, 2018).

Las reacciones de hipersensibilidad tipo 1 (hipersensibilidad inmediata) están mediadas por la unión de la IgE con su antígeno y ocasionan los síntomas característicos de las alergias respiratorias; estos comienzan tras una segunda exposición al alérgeno en individuos previamente sensibilizados.

Figura 17.1. Etapas de la reacción alérgica



Fuente: creación propia basada en imágenes creadas con BioRender.com

Esta unión propicia un reconocimiento cruzado, provocando una cascada de señales intracitoplasmáticas que desencadena la liberación de mediadores inflamatorios.

Al ocurrir la desgranulación de los mastocitos se libera histamina y diversas enzimas proteolíticas. También, al metabolizarse el ácido araquidónico de la membrana se liberan prostaglandinas y leucotrienos, provocando el aumento de la permeabilidad vascular, broncoconstricción, secreción de moco y la atracción de diferentes células (Bruhns et al., 2005) (Figura 1).

Estos mediadores son responsables de los síntomas (aumento de la permeabilidad vascular, contracción del músculo liso y secreción de mucosas) que, en casos severos, pueden llegar a desencadenar un choque anafiláctico con consecuencias fatales (Figura 17.1).

Árboles de zonas desérticas como potencial alergénico

En México se han realizado pocos estudios aerobiológicos y se ha encontrado que los alérgenos del polen de los árboles son los más implicados en los trastornos alérgicos. Las proteínas alergénicas del polen de diferentes árboles como el mezquite (*Prosopis velutina*), palo verde (*Parkinsonia microphylla*) o nogal pecanero (*Carya illinoensis*), son fuentes de relevancia clínica debido a la reacción alérgica que causan en los habitantes de las zonas donde crecen. El mezquite y el palo verde se distribuyen ampliamente en el desierto de Sonora; el nogal pecanero, en todo el noroeste de México, donde se cultiva por su fruto (Batista-Roche y Huerta-Ocampo, 2021, Morales-Amparano y Huerta-Ocampo, 2023).

El polen del mezquite se encuentra entre los principales grupos polínicos en México, de acuerdo con datos publicados por el INER. Un estudio aerobiológico realizado en Monterrey, Nuevo León, ubicó al polen de *Prosopis* entre los 12 más abundantes. En el área metropolitana de Monterrey el polen de mezquite representa el 2% del polen presente en su atmósfera urbana. Pero en el territorio mexicano, la prevalencia de la alergia respiratoria al polen del mezquite en personas sensibles es de un 21% (Batista-Roche y Huerta-Ocampo, 2021).

En 2016 se analizaron más de 13 mil casos de personas alérgicas en la ciudad de Hermosillo, Sonora, y se encontró que la mayor incidencia de alergias se presentó durante el mes de octubre, lo que se correlacionó con las concentraciones máximas de polen y esporas en el ambiente (Batista-Roche y Huerta-Ocampo, 2021).

En el caso del árbol de palo verde (*Parkinsonia microphilla*), su polen causa alergia debido a la gran cantidad de flores que produce y que son arrastradas por el viento. El interés de estudiar las proteínas alergénicas de esta especie se debe a que no existe información al respecto y es un árbol ampliamente plantado con fines ornamentales en parques, calles, avenidas y en proyectos de urbanización ecológica, particularmente en ciudades desérticas del norte de México y el suroeste de Estados Unidos, (Morales-Amparano et al., 2022).

Por su parte, el nogal pecanero (*C. illinoensis*) se ha considerado un árbol que genera la mayor cantidad de polen en el aire de los estados donde se produce la nuez pecanera. Además, la nuez contiene 3 proteínas (*Car i 1*, *Car i 2*, y *Car i 4*), reconocidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como alérgenos en alimentos (Morales-Amparano et al., 2021). Las condiciones ambientales y atmosféricas influyen en la dispersión del polen y, al unirse éste con partículas contaminantes, se incrementa su capacidad alergénica (Batista-Roche y Huerta-Ocampo, 2021).

Proteómica en la identificación de proteínas alergénicas en el polen

La identificación de una amplia variedad de proteínas alergénicas en el polen se puede lograr mediante herramientas proteómicas que incluyen: técnicas de separación electroforéticas, espectrometría de masas y análisis bioinformáticos, aunados a la inmunodetección, empleando la IgE presente en el suero de los pacientes alérgicos. Sin embargo, son pocos los estudios realizados donde se han identificado proteínas alergénicas en el polen de árboles que crecen en zonas desérticas. Sumado a esto, no existe un método universal para la extracción de proteínas alergénicas y éste se debe adecuar dependiendo de la naturaleza de la muestra. Es importante considerar que

el polen es una muestra recalcitrante que contiene, además de proteínas, otros componentes (pigmentos, carbohidratos, lípidos, etc.) que dificultan la extracción de proteínas con la calidad suficiente para su análisis (Mari et al., 2010).

Se ha logrado inmunodetectar proteínas alergénicas del polen con relevancia clínica de diversas fuentes desérticas, pero son relativamente pocas las proteínas caracterizadas y producidas de forma recombinante para su empleo como herramientas diagnósticas e inmunoterapéuticas.

Métodos

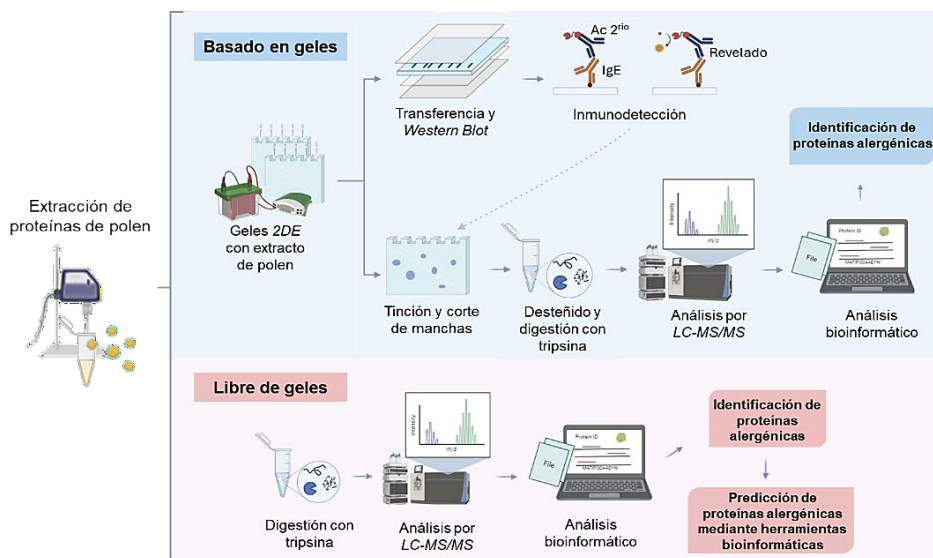
Inmunodetección bidimensional y análisis proteómico para la identificación de proteínas alergénicas

Se empleó un enfoque inmunoproteómico basado en geles, utilizando *Western blot* en dos dimensiones para la detección de proteínas alergénicas en pólenes de nogal y mezquite (Fig. 2).

El protocolo fue aprobado por los Comités de Ética e Investigación del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, México. D.F. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado. Para la obtención de las muestras se condujo el estudio de acuerdo con los principios éticos de la Declaración de Helsinki de 1975 (revisados en 1983), y con base en la Guía de Buenas Prácticas Clínicas. Se obtuvieron muestras de suero de pacientes con rinitis alérgica y/o asma que resultaron positivos (polisensibilizados) a diversos pólenes de árboles, pastos y otras fuentes mediante una prueba cutánea (Prick test). Aquellos pacientes sometidos a tratamientos con anti-histamínicos, corticosteroides o inmunoterapia fueron excluidos del estudio.

Se utilizó la IgE del suero de pacientes alérgicos como anticuerpo primario y anti- IgE humano conjugado a peroxidasa de rábano (HRP) como anticuerpo secundario. Para revelar las proteínas alergénicas se empleó un sustrato quimioluminiscente y un fotodocumentador (Chemidoc-MP, Bio-Rad). Las manchas de las proteínas inmunodetectadas se cortaron de un gel bidimensional de poliacrilamida y se digirieron con tripsina, la extracción de los péptidos se realizó de acuerdo con lo reportado por Huerta-Ocampo

Figura 17.2. Herramientas proteómicas para la inmunodetección, identificación y predicción de proteínas alergénicas del polen



Fuente: creación propia basada en imágenes creadas con BioRender.com

y colaboradores (2014), de la siguiente manera: los sobrenadantes de la digestión con tripsina se recuperaron en microtubos nuevos de 1.5 mL. El resto de la muestra de la digestión en gel se lavó bajo agitación constante a 1400 rpm (Thermomixer, Eppendorf, Alemania), una vez con agua Milli-Q y dos veces con acetonitrilo al 50% conteniendo 5% de ácido fórmico. Los sobrenadantes de todos los lavados se colectaron junto con los sobrenadantes de la digestión y se concentraron mediante vacío con la ayuda de un evaporador (Vacufugue Plus, Eppendorf, Alemania) hasta sequedad, suspendiéndolos después con 15 µL de ácido fórmico al 1%.

Los péptidos obtenidos de la digestión en gel se analizaron mediante LC-MS/MS en el Laboratorio de Residuos Tóxicos del CIAD, A.C. Las muestras se inyectaron a una columna analítica ZORBAX 300SB-C18 (1.8 µm x 2.1 mm x 100 mm; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equilibrada con la fase móvil inicial: 1% acetonitrilo (ACN) y 0.1% de ácido fórmico (FA) que se mantuvo a 35 °C. Los péptidos se separaron mediante cromatografía de líquidos de ultra desempeño utilizando el equipo 1290 Infinity (Agilent

Technologies, Santa Clara, CA, USA), empleando un flujo de 400 $\mu\text{L}/\text{min}$ y las siguientes condiciones cromatográficas: 1 min con 99% de A (H_2O con 0.1% FA) y 1% de B (ACN con 0.1% FA); seguida de un gradiente lineal hasta alcanzar 70% de B en 15 min y un gradiente final de 1 min hasta alcanzar 1% de B; con un periodo de equilibrio de 3 min (1% de B) entre cada corrida.

Los péptidos eluidos de la columna se ionizaron por electrospray con una fuente de ionización Dual AJS ESI (Agilent Technologies), aplicando 3.5 kV y se analizaron por espectrometría de masas en tándem en modo positivo en el espectrómetro de masas 6530 Accurate-Mass Q-TOF LC/MS (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) mediante un análisis dependiente de datos. Los espectros se adquirieron en el modo auto MS/MS, el rango de masas en el modo MS fue de 400 a 1700 m/z (3 espectros/s) y en el modo MS/MS de 50 a 1700 m/z (1 espectro/s), con un máximo de cinco precursores por ciclo (Huerta-Ocampo et al., 2020).

Posteriormente, se identificaron las proteínas mediante un análisis bioinformático de la siguiente manera: los datos de espectrometría de masas (archivos con extensión .d) se procesaron con el servidor Spectrum Mill MS Proteomics Workbench (Agilent Technologies) para obtener archivos con extensión .mzXML e identificar las proteínas a las que pertenecen los péptidos digeridos mediante Homology Database Search contra una base que contiene 92 600 secuencias de proteínas, obtenida a partir del ensamblado de datos transcriptómicos de *C. illinoensis* (para nogal) y para mezquite contra el proteoma de *Prosopis alba* (57 575 secuencias) disponible en el Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI por sus siglas en inglés).

Se usaron los siguientes parámetros: tripsina como proteasa específica, permitiendo la omisión de un sitio de corte, la tolerancia de masa para los iones precursores y sus iones fragmento fue de 20 ppm y 0.1 Da, respectivamente, carbamidometilación de las cisteínas como modificación fija y oxidación de las metioninas como modificación variable. Se consideraron como proteínas identificadas aquellas para las que se obtuvieron al menos dos péptidos.

Identificación libre de geles de proteínas del polen y predicción de su alergenicidad

Las proteínas solubles del polen de palo verde (*P. microphylla*) se extrajeron según el método reportado previamente por nuestro grupo de trabajo (Huerta-Ocampo et al., 2022). Se redujeron 100 µg de proteína soluble de polen con ditiotreitól 10 mM, se alquilaron con iodoacetamida 55 mM y se digirieron en líquido con tripsina grado espectrometría de masas (Pierce Biotechnology), empleando una proporción de tripsina: proteína de 1:30 por 20 h a 37 °C. Después de la digestión, los péptidos se desalaron empleando cartuchos C18 (Sep-Pak C18, Waters) y se secaron al vacío a 37 °C, utilizando el equipo Vacufuge plus (Eppendorf, Hamburgo, Alemania). Los péptidos se analizaron por espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) de la siguiente manera: se suspendieron en una solución de acetonitrilo al 10% con 0.1% de ácido fórmico y se separaron empleando un cromatógrafo de líquidos de ultra desempeño (Dionex Ultimate 3000, RSLCnano UHPLC system, Thermo Fisher Scientific, San José, CA, USA) acoplado a un espectrómetro de masas de alta resolución (Q-Exactive Plus high resolution mass spectrometer, Thermo Fisher Scientific). Los péptidos se atraparon en una precolumna (C18 PepMap 100, 5 µm, 100 Å, 300 µm diámetro interno × 5 mm) y, posteriormente, se separaron mediante un gradiente de elución de 250 min en una columna capilar a un flujo de 250 nL/min (EASY Spray Column, PepMap RSLC, C18, 3µm, 100 Å, 75µm × 150 mm). Las fases móviles fueron las siguientes: (A) ácido fórmico al 0.1% en agua y (B) acetonitrilo: agua con 0.1% de ácido fórmico, en proporción 90:10 (v/v). El espectrómetro de masas se operó en modo positivo mediante un programa de adquisición dependiente de datos. En el modo MS se filtraron los iones con un rango de 300-2000 m/z. Los 10 iones más intensos de cada escaneo en modo MS con estados de carga de 2 y superiores aislaron con una ventana de aislamiento de 1 m/z en el cuadrupolo y se fragmentaron con una energía normalizada de colisión de 27%. La masa/carga de los iones precursores se midió a una resolución de 70000 (a 200 m/z) mientras que la de los fragmentos se midió a una resolución de 17500 (Palafox-Félix et al., 2022).

La identificación de proteínas se realizó utilizando el software MaxQuant (v 2.1.4.0) y la base de datos de proteínas de *Prosopis alba*, disponible

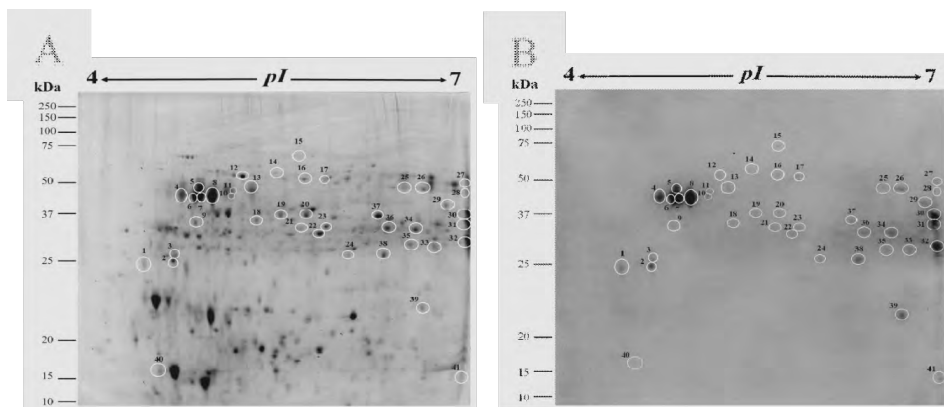
en el NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/207710/> que cuenta con 57,662 secuencias. Para predecir la alergenicidad de las proteínas del polen, las secuencias de los ortólogos filogenéticamente más cercanos de las proteínas identificadas se analizaron en AllerTop v.2.0. (Dimitrov et al., 2014) (<https://www.ddg-pharmfac.net/AllerTOP/method.html>) (Figura 2). Las proteínas potencialmente alergénicas se analizaron con la herramienta AllerCatPro 2.0 (Nguyen et al., 2022) (Disponible en: <https://allercatpro.bii.a-star.edu.sg/>).

Resultados

Proteínas alergénicas en polen de zonas desérticas identificadas mediante métodos inmunoproteómicos basados en geles

En el Laboratorio de Proteómica del CIAD hemos identificado proteínas alergénicas específicas en pólenes de árboles del desierto con relevancia clínica como el mezquite y el nogal pecanero. La inmunodetección bidimen-

Figura 17.3. A) Perfil bidimensional de proteínas de polen de *P. velutina*, teñidas con azul de Coomassie R-350. B). Inmunodetección bidimensional de proteínas alergénicas del polen de *P. velutina*, con un conjunto de sueros de pacientes alérgicos en dilución 1:15



Fuente: Huerta-Ocampo, J. Á., Batista-Roche, L. G., Morales-Amparano, M. B., Robles-Burgueño, M. d. R., Ramos-Clamont Montfort, G., Vázquez-Moreno, L., Ramírez-Jiménez, F., y Terán, L. M. (2022). Identification of Allergenic Proteins in Velvet Mesquite (*Prosopis velutina*) Pollen: An Immunoproteomics Approach. *Life*, 12 (9), 1421. <https://doi.org/10.3390/life12091421>. ISSN: 2075-1729.

sional de proteínas alergénicas del polen de *Prosopis velutina* reveló 41 manchas de proteínas reconocidas por los anticuerpos IgE del suero de los pacientes alérgicos (Figura 17.3) y el análisis por espectrometría de masas en tándem permitió identificar 24 proteínas únicas (Huerta-Ocampo et al., 2022) (Tabla 17.1).

Estas proteínas han sido ampliamente reconocidas como alérgenos del polen, de alimentos y alérgenos de contacto. Entre ellas destaca la presencia

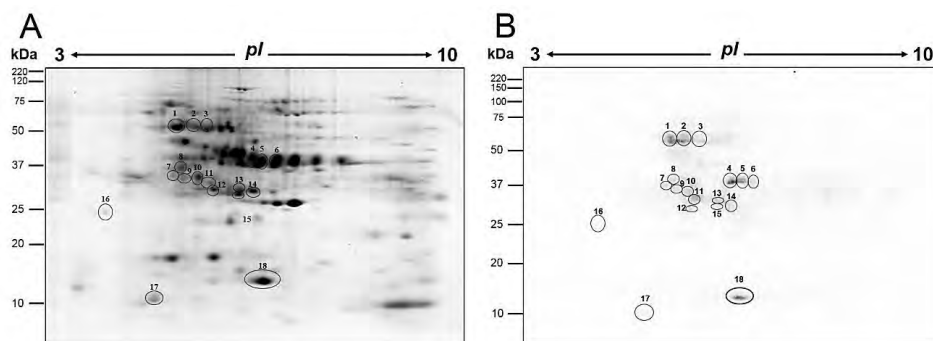
Tabla 17.1. Proteínas alergénicas identificadas en el polen de mesquite terciopelo (*Prosopis velutina*)

Proteína	Número de acceso*	Mr/pl Teórico‡	PM/CSS	Puntaje¶	Mancha
ATP synthase subunit beta	1624089683	60.1/5.9	19/44%	378	12
Carbonic anhydrase	1624114052	37.3/8.8	2/7%	34	13
Enolase	1624040022	48.0/5.8	7/18%	121	17
Fructose-bisphosphate aldolase	1624108864	38.8/6.7	13/38%	242	30
GDSL esterase/lipase	1624029014	37.9/6.1	7/18%	101	29
Glucan endo-1,3-beta-glucosidase	1624040970	38.9/8.8	5/20%	93	32
Glutelin type-D 1	1624065233	38.4/6.3	7/20%	121	36
G3PDH	1624127796	36.5/7.8	12/45%	183	31
Malate dehydrogenase, mitochondrial	1624051156	36.3/8.8	10/31%	188	37
Mitochondrial-processing peptidase	1624112156	55.2/5.9	6/13%	79	14
Nucleoside diphosphate kinase	1624076552	16.4/6.8	6/40%	109	41
Pathogenesis-related protein 1 (PR-10)	1624126639	18.1/9.0	2/17%	30	41
Polygalacturonase-like	1624065841	38.4/6.3	5/15%	83	27
Fructokinase-5	1624052972	35.3/5.9	13/44%	234	22
Profilin	1624112235	14.4/4.8	3/25%	51	40
Proteasome subunit alpha	1624127659	27.5/6.7	6/26%	109	33
Pyruvate dehydrogenase subunit beta	1624021117	40.2/5.8	4/11%	65	18
Rho GDP-dissociation inhibitor 1	1624023092	25.2/4.7	2/16%	28	2
S-adenosylmethionine synthase	1624121540	43.0/6.1	4/12%	76	26
Superoxide dismutase, mitochondrial	1624128322	26.5/7.2	4/19%	63	39
Thaumatococcus-like protein 1b	1624039760	25.8/5.0	2/10%	32	1
Triosephosphate isomerase, cytosolic	1624021851	27.2/5.9	9/52%	168	38
UDP-arabinopyranose mutase 1	1624085496	41.1/5.6	11/28%	187	20
UTP-glucose-1-p uridylyltransferase	1624020612	51.9/5.6	15/34%	273	16

* Número de acceso a la base de datos del NCBI, ‡Masa molecular teórica (kDa)/punto isoelectrico; §Número de péptidos/cobertura de secuencia de la proteína. Puntaje obtenido con el programa Spectrum Mill (Puntajes ≥24 y al menos dos péptidos fueron necesarios para una identificación más confiable de las proteínas).

Fuente: Huerta-Ocampo, J.Á.; Batista-Roche, L.G.; Morales-Amparano, M.B.; Robles-Burgueño, M.d.R.; Ramos-Clamont Montfort, G.; Vázquez-Moreno, L.; Ramírez-Jiménez, F.; Terán, L.M. (2022). Identification of Allergenic Proteins in Velvet Mesquite (*Prosopis velutina*) Pollen: An Immunoproteomics Approach. Life, 12 (9), 1421. <https://doi.org/10.3390/life12091421>. ISSN: 2075-1729.

Figura 17.4. Inmunodetección bidimensional de proteínas alergénicas del polen de *Carya illinoensis*. A) Perfil bidimensional de proteínas de polen de *Carya illinoensis* teñidas con azul Coomassie R-350. B) Inmunodetección (Western Blot bidimensional) de proteínas alergénicas del polen



Fuente: Morales-Amparano, M. B., Valenzuela-Corral, A., Ramos-Clamont Montfort, G., Vázquez-Moreno, L., Escobedo-Moratilla, A., Pastor-Palacios, G., Ovando-Vazquez, C. M., Teran, L.M. & Huerta-Ocampo, J. Á. (2021). Immunoproteomic identification of allergenic proteins in pecan (*Carya illinoensis*) pollen. *Journal of Proteomics*, 248 (2021) 104348. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2021.104348>. ISSN 1874-3919.

de las proteínas PR-10 y profilina, dos conocidas familias de panalérgenos, lo que podría explicar, en gran medida, el fenómeno de reactividad cruzada entre el polen de mezquite y otras fuentes de alérgenos.

También la aplicación del *Western blot* bidimensional permitió la detección de 18 manchas de proteínas del polen del nogal pecanero (*C. illinoensis*), reconocidas por los anticuerpos IgE presentes en un conjunto de sueros de pacientes alérgicos (Fig. 17.4).

Los datos de la espectrometría de masas y su análisis bioinformático permitieron identificar 17 proteínas alergénicas únicas en el polen de nogal (Tabla 2) (Valenzuela-Corral, 2019; Morales-Amparano et al., 2021).

Como la enolasa, que es reconocida como un alérgeno de hongos y de contacto, además de ser un alérgeno del polen. Fructocinasa, Glicer aldehído 3 fosfato deshidrogenasa y Fructosa bisfosfato aldolasa, las tres reconocidas como alérgenos en polen de coco, plantago (*Plantago lanceolata*) o girasol, entre otras proteínas relevantes (Morales-Amparano et al., 2021).

Tabla 17.2. *Proteínas alergénicas identificadas en el polen de Carya illinoensis mediante LC/MS/MS y un análisis bioinformático*

Mancha ^a	Proteína	Identificador ^b	Mr/pl Exp. ^c	Mr/pl Teórico ^d	PId/CS ^e	Puntaje ^f
1	ATP synthase subunit beta,* [§]	XP_018849756.1	53.6/5.2	59.8/5.6	13/38%	766
2	Enolase	XP_018806299.1	52.2/5.5	52.6/6.3	2/5%	159
3	ATP synthase subunit alpha*	XP_018843285.1	51.4/5.7	55.8/6.2	4/10%	245
4	Malate dehydrogenase-like [§]	XP_018808212.1	41.0/6.4	36.0/6.5	4/17%	151
4	G3PDH, cytosolic* [§]	XP_018846382.1	41.0/6.4	36.7/6.7	3/10%	91
5	Fructose-bisphosphate aldolase [§]	XP_018812677.1	39.0/6.6	38.8/6.9	4/19%	241
6	L-lactate dehydrogenase	PON40627.1	38.5/6.8	37.8/6.8	2/13%	114
7	Malonyl-CoA: ACP transacylase 1-2	XP_018819156.1	34.4/5.1	44.7/8.2	2/8%	120
8	Enoyl-ACP-reductase	XP_018825271.1	36.5/5.3	41.6/7.7	5/19%	171
9	Thiamine thiazole synthase 2	XP_018820652.1	31.0/5.3	38.0/5.4	2/7%	91
10	Pyridoxal 5'-phosphate synthase	XP_018810049.1	33.9/5.6	33.5/5.8	2/8%	144
11	Malate dehydrogenase [§]	XP_018826582.1	32.8/5.7	43.8/7.6	3/13%	91
13	Carbonic anhydrase*	XP_018823093.1	30.7/6.2	36.7/7.0	3/13%	116
14	Triosephosphate isomerase [§]	XP_018823301.1	29.7/6.4	27.5/6.0	4/28%	144
15	Triosephosphate isomerase [§]	XP_018823301.1	28.6/6.2	27.5/6.0	4/27%	110
17	Profilin* [§]	XP_018846365.1	11.3/4.8	14.3/5.0	2/19%	111
18	Nucleoside diphosphate kinase B	XP_018819438.1	15.0/6.6	16.3/6.3	2/16%	52

^a Los números de mancha corresponden a la Figura 4. ^b Los identificadores corresponden a la base de datos del NCBI. ^c Masa molecular/punto isoelectrico experimentales. ^d Masa molecular/punto isoelectrico teóricos. ^e Péptidos identificados/cobertura de secuencia. ^f valores de score > 47 indican identidad o extensa homología p < 0.05. [§]Glicoproteínas * Proteínas reportadas como alérgenos en el polen [§] Proteínas alergénicas no reportadas en el polen.

Fuente: Morales-Amparano, M. B., Valenzuela-Corral, A., Ramos-Clamont Montfort, G., Vázquez-Moreno, L., Escobedo-Moratilla, A., Pastor-Palacios, G., Ovando-Vazquez, C. M., Teran, L.M. & Huerta-Ocampo, J. Á. (2021). Immunoproteomic identification of allergenic proteins in pecan (*Carya illinoensis*) pollen. *Journal of Proteomics*, 248 (2021) 104348. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2021.104348>. ISSN 1874-3919.

Identificación de proteínas de polen y predicción de su alergenicidad empleando herramientas libres de geles y análisis bioinformáticos

Complementando las investigaciones realizadas utilizando Western blot bidimensional, hemos identificado proteínas alergénicas presentes en el polen de palo verde (*P. microphylla*), empleando una estrategia libre de geles. Este enfoque permitió identificar con éxito 808 proteínas, entre éstas, 79 se predijeron como supuestos alérgenos utilizando la herramienta bioinformática AllerTop v.2.0 y, a su vez, se analizaron en el software AllerCatPro 2.0. (Morales-Amparano et al., 2022). Las proteínas alergénicas putativas

Tabla 17.3. *Proteínas alergénicas putativas en el polen de Parkinsonia microphylla y sus alérgenos homólogos en otras fuentes*

<i>Proteína alergénica putativa en palo verde</i>	<i>Alérgeno reconocido</i>	<i>Especie</i>	<i>% Identidad</i>
Proteína de unión luminal 5	Cor a 10	<i>Corylus avellana</i>	93
Peptidil-prolil cis-trans isomerasa 1	Ara h 18	<i>Arachis hypogaea</i>	91
Proteína relacionada al choque térmico 80	Hev b HSP80	<i>Hevea brasiliensis</i>	89
Profilina	Que ac 2	<i>Quercus acutissima</i>	88
Metionina sintasa	Sal k 3	<i>Salsola kali</i>	87
Malato deshidrogenasa, mitocondrial	Citr l MDH	<i>Citrullus lanatus</i>	85
Superóxido dismutasa [Mn], mitocondrial	Hev b 10	<i>Hevea brasiliensis</i>	83
Lactoilglutación liasa GLX1	Ory s Glioxalasa I	<i>Oryza sativa</i>	77
60S proteína ribosomal ácida P2A	Pru du 5	<i>Prunus dulcis</i>	76
Proteína relacionada a patogénesis (PR10)	Gly m 4	<i>Glycine max</i>	68
Glucano endo-1,3-beta-glucosidasa	Hev b 2	<i>Hevea brasiliensis</i>	64
60S proteína ribosomal ácida P1	Alt a 12	<i>Alternaria alternata</i>	51
Poligalacturonasa	Pla a 2	<i>Platanus acerifolia</i>	51
Fosfoglicerato quinasa, citosólica	Cand a PGK	<i>Candida albicans</i>	51
Isoforma homóloga de calnexina	Pen ch 31	<i>Arthroderma benhamiae</i>	50
Poligalacturonasa	Pla a 2	<i>Platanus acerifolia</i>	50
Proteína de choque térmico 90-5	Hev b HSP80	<i>Hevea brasiliensis</i>	44
Pectinesterasa	Act d 7	<i>Actinidia deliciosa</i>	43
Exopoligalacturonasa	Ole e 14	<i>Olea europaea</i>	43
Proteasa similar a subtilisina SBT1.4	Cuc m 1	<i>Cucumis melo</i>	41
Cadena beta de tubulina	Lep d 33	<i>Lepidoglyphus destructor</i>	40
Peroxidasa 31	Tri a Peroxidasa	<i>Triticum aestivum</i>	39
Disulfuro-isomerasa	Alt a 4	<i>Arthroderma benhamiae</i>	35
Piruvato quinasa isomerasa A	Pan h 9	<i>P. hypophthalmus</i>	34
Piruvato quinasa 1, citosólica	Sal s 9	<i>Salmo salar</i>	33
Proteína de choque térmico de 70 kDa 17	Mala s 10	<i>Malassezia sympodialis</i>	31
Exopoligalacturonasa	Ole e 14	<i>Olea europaea</i>	31
MLP- proteína 423	Act d 11	<i>Actinidia deliciosa</i>	27
Factor de elongación 1-gamma	Per a 5	<i>Periplaneta americana</i>	27
Coatómero subunidad alfa-2	Bla g RACK1	<i>Blattella germanica</i>	26
Coatómero subunidad beta-2	Bla g RACK1	<i>Blattella germanica</i>	24
D-3-fosfoglicerato deshidrogenasa 2	Asp f FDH	<i>Aspergillus fumigatus</i>	24
Glutación S-transferasa F9	Per a 5	<i>Periplaneta americana</i>	24
Proteasoma subunidad beta tipo 6	Zea m 20S	<i>Zea mays</i>	23
Xiloglucano endotransglucosilasa/hidrolasa 2	Asp f 16	<i>Aspergillus fumigatus</i>	22

Fuente: Martha Beatriz Morales-Amparano, Daniela Álvarez-Campa, Magdalena Hernández-Ortiz, Sergio Encarnación-Guevara, Luis Manuel Terán-Juárez y José Ángel Huerta-Ocampo. (2022). Proteomics and bioinformatics tools reveal allergenic composition of Parkinsonia microphylla pollen. Avances en Ciencias e Ingeniería, 13(3), 23-30 ISSN: 0718-8706. <https://www.executivebs.org/publishing.cl/avances-en-ciencias-e-ingenieria-vol-13-nro-3-ano-2022-articulo-3/>.

identificadas se clasificaron en función de su identidad de secuencia con las proteínas alergénicas de la base de datos del Subcomité de Nomenclatura de Alérgenos.

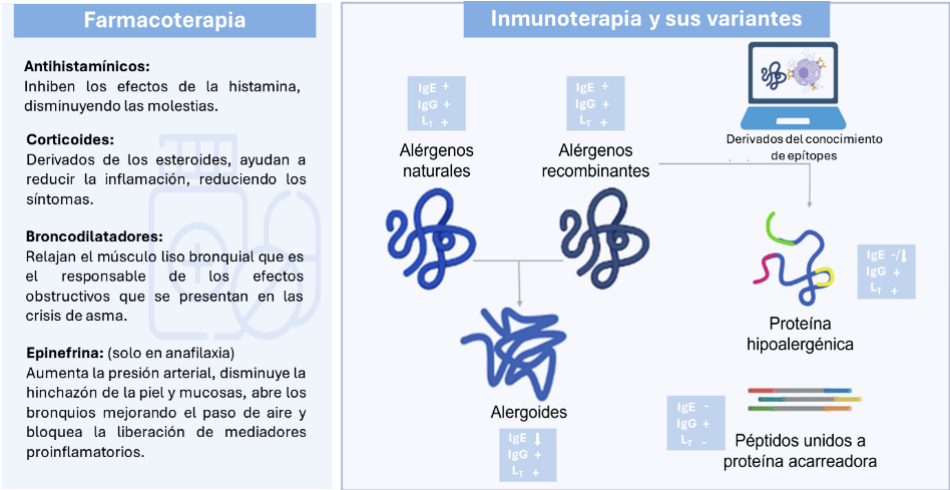
Encontramos que existe evidencia de alergenicidad para 36 proteínas (Tabla 17.3). Cinco de éstas, identificadas y predichas como alergénicas, fueron reportadas también en el polen de mezquite al probarse con suero de los pacientes alérgicos (Huerta-Ocampo et al., 2022). Esto confirma la eficacia de la utilización de los análisis predictivos y revela la importancia del palo verde como una fuente relevante de aeroalérgenos.

Discusión

De la identificación de proteínas alergénicas al desarrollo de diagnósticos y tratamientos para la alergia al polen

El desarrollo de nuevas modalidades de diagnóstico y tratamiento de la alergia respiratoria requieren de estudios específicos que determinen las proteínas responsables de la respuesta alérgica en cada una de las fuentes aler-

Figura 17.5. Opciones para el tratamiento de la alergia respiratoria



Fuente: creación propia basada en imágenes creadas con BioRender.com

génicas. Es ampliamente reconocido que, a diferencia del tratamiento farmacológico dirigido únicamente a tratar los síntomas, la inmunoterapia alérgeno-específica (para la cual existen diversas modalidades, sin embargo, no son el objeto de este capítulo), es el tratamiento más efectivo y perdurable contra la alergia respiratoria (Calderón et al., 2012) y requiere, al igual que el diagnóstico, que los alérgenos estén identificados y bien caracterizados (Figura 17.5).

Conclusiones

En el Laboratorio de Proteómica del CIAD, y gracias a nuestras colaboraciones con el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias y el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., hemos aplicado la inmunoproteómica en conjunto con herramientas bioinformáticas para generar los primeros reportes y predicciones sobre alérgenos de pólenes con relevancia clínica y que son predominantes entre las especies de árboles del desierto como *Prosopis velutina* (mezquite terciopelado), *Parkinsonia microphylla* (palo verde) y *Carya illinoensis* (nogal pecanero). En algunos casos (por ej. la profilina y enolasa de polen del nogal pecanero), hemos avanzado en la generación y caracterización de versiones recombinantes de estas proteínas alérgicas, que requieren de una validación de su equivalencia antigénica con las proteínas de la fuente natural y que son la clave para el desarrollo de nuevas modalidades diagnósticas y terapéuticas. Nuestro objetivo es desarrollar una estrategia inmunoterapéutica segura para los pacientes.

Referencias

- Batista-Roche, L. G., y Huerta-Ocampo, J. Á. (2021). Mezquite: una planta alérgica de relevancia clínica en México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-15. DOI:10.22201/fesz.23958723e.2021.390.
- Bruhns, P., Frémont, S., y Daëron, M. (2005). Regulation of allergy by Fc receptors. *Current Opinion in Immunology*, 17(6), 662-669. DOI: 10.1016/j.coi.2005.09.012.
- Calderón M., Cardona, V., y Demoly, P. (2012). EAACI 100 Years of Immunotherapy Ex-

- perts Panel. One hundred years of allergen immunotherapy European Academy of Allergy and Clinical Immunology celebration: review of unanswered questions. *Allergy*. 67(4): 462-476. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2012.02785.x.
- Dimitrov, I., Bangov, I., Flower, D. R., y Doytchinova, I. (2014). AllerTOP v. 2—a server for in silico prediction of allergens. *Journal of molecular modeling*, 20, 2278. DOI: 10.1007/s00894-014-2278-5.
- Huerta-Ocampo, J. A., Barrera-Pacheco, A., Mendoza-Hernández, C. S., Espitia-Rangel, E., Mock, H. P., y Barba de la Rosa, A. P. (2014). Salt stress-induced alterations in the root proteome of *Amaranthus cruentus* L. *Journal of Proteome Research*. 13(8): 3607-3627. DOI: 10.1021/pr500153m.
- Huerta-Ocampo, J. Á., Valenzuela-Corral, A., Robles-Burgueño, M. D. R., Guzmán-Partida, A. M., Hernández-Oñate, M. Á., Vázquez-Moreno, L., Pavón-Romero, G. F., y Terán, L. M. (2020). Proteomic identification of allergenic proteins in red oak (*Quercus rubra*) pollen. *World Allergy Organization Journal*, 13(3), 100-111. DOI: 10.1016/j.waojou.2020.100111.
- Huerta-Ocampo, J. Á., Batista-Roche, L. G., Morales-Amparano, M. B., Robles-Burgueño, M. D. R., Ramos-Clamont Montfort, G., Vázquez-Moreno, L., Ramírez-Jiménez, F., Terán, L. M. (2022). Identification of allergenic proteins in velvet mesquite (*Prosopis velutina*) pollen: An immunoproteomics approach. *Life*, 12, 1421. DOI:10.3390/life12091421.
- Mari, A., Ciardiello, M. A., Tamburrini, M., Rasi, C., y Palazzo, P. (2010). Proteomic analysis in the identification of allergenic molecules. *Expert Review of Proteomics*, 7(5), 723-34. DOI: 10.1586/ep.10.44.
- Morales-Amparano, M. B., y Huerta-Ocampo, J. A. (2023). Sonora: Un nicho propicio para la alergia respiratoria. *Revista Nuestra Tierra*, 39, 3-5. https://erno.geologia.unam.mx/uploads/nuestra-tierra/archivos/39/Revista_Nuestra_tierra_Ed39-f.pdf
- Morales-Amparano, M. B., Valenzuela-Corral, A., Ramos-Clamont Montfort, G., Vázquez-Moreno, L., Escobedo-Moratilla, A., Pastor-Palacios, G., Ovando-Vázquez, C., Terán, L. M., y Huerta-Ocampo, J. A. (2021). Immunoproteomic identification of allergenic proteins in pecan (*Carya illinoensis*) pollen. *Journal of Proteomics*, 248(104348), 1-6. DOI: 10.1016/j.jprot.2021.104348. Morales-Amparano, M.B., Álvarez-Campa, D., Hernández-Ortiz, M., Encarnación-
- Guevara, S., Terán-Juárez, L. M., y Huerta-Ocampo, J. A. (2022). Herramientas proteómicas y bioinformáticas revelan la composición alérgica del polen de *Parkinsonia microphylla*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 13 (3), 23-30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9174260>
- Morales-Amparano, M. B. (2023). Obtención e identificación de determinantes antígenicos de proteínas alérgicas del polen de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) aplicables al diagnóstico y terapia de la alergia respiratoria. [Tesis de doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Sede Hermosillo].
- Nguyen, M. N., Krutz, N. L., Limviphuvadh, V., Lopata, A. L., Gerberick, G. F., y Maurer-Stroh, S. (2022). AllerCatPro 2.0: a web server for predicting protein allergenicity

- potential. *Nucleic Acids Research*, 50(W1), W36-W43. DOI: doi.org/10.1093/nar/gkac446.
- Oh, J. W. (2018). Allergy and Pollen. En: *Pollen Allergy Changing World. A guide to scientific understanding and clinical practice*. (pp. 1-8). Hanyang University College of Medicine, Seoul, South Korea. Springer, Singapore. DOI:10.1007/978-981-10-5499.
- Ortega-Rosas, C. I., Meza-Figueroa, D., Vidal-Solano, J. R., González-Grijalva, B., y Schiavo, B. (2020). Association of airborne particulate matter with pollen, fungal spores, and allergic symptoms in an arid urbanized area. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(5), 1761-1782. DOI:10.1007/s10653-020-00752-7.
- Palafox-Félix, M., Huerta-Ocampo, J. Á., Hernández-Ortíz, M., Encarnación-Guevara, S., Vázquez-Moreno, L., Guzmán-Partida, A. M., y Cabrera, R. (2022). Proteomic analysis reveals the metabolic versatility of *Amycolatopsis* sp. BX17: A strain native from milpa agroecosystem soil. *Journal of Proteomics*, 253, 104461. DOI: 10.1016/j.jprot.2021.104461

18. Impacto de la sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente en la calidad del pan



FRANCISCO VÁSQUEZ-LARA*

ALMA ROSA ISLAS-RUBIO**

NINA GISELLA HEREDIA-SANDOVAL***

MARÍA DEL CARMEN GRANADOS-NEVÁREZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.18>

Resumen

Las harinas tratadas térmicamente pueden tener aplicaciones importantes dentro del procesamiento de alimentos, entre ellas en la elaboración de pan. Se planteó como objetivo modificar las propiedades funcionales en harina de avena (HA), aplicando tratamientos térmicos (80, 100 y 130 °C) para incidir en su capacidad de panificación. Se realizaron sustituciones del 10 y 20% de harina de trigo (HT) con HA tratada térmicamente. La HT y las mezclas de HT-HA utilizadas fueron caracterizadas analizando la distribución del tamaño de la partícula, el color y la capacidad de retención de agua. A las masas se les determinó la capacidad de fermentación. En pan, se midió el envejecimiento mediante el perfil de textura a los 0, 2 y 7 días. Además, se realizó un análisis sensorial por panelistas no entrenados que determinaron su preferencia sobre el pan obtenido de las diferentes formulaciones. Los resultados mostraron una mayor capacidad fermentativa cuando se aplicó

* Doctor en Ciencias, Tecnología y Gestión Alimentaria. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2197-6507> ; correspondencia: favo@ciad.mx

** Doctora en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-4065>

*** Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-9082>

**** Química Bióloga. Técnico Titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-3608>

tratamiento térmico de 100 °C en HA y niveles de sustitución del 10% ($160.13 \text{ cm}^3 \pm 5.96$), así como del 20% ($163.93 \text{ cm}^3 \pm 4.11$) con respecto al control HT ($136.32 \text{ cm}^3 \pm 4.62$). En cuanto al envejecimiento del pan medido al segundo día, se obtuvieron valores de $9.77 \text{ N} \pm 2.63$ en las mezclas HT-HA 10% (130 °C) y de $9.49 \text{ N} \pm 1.56$ en HT-HA 20% (100 °C), menores al obtenido en HT ($17.39 \text{ N} \pm 1.28$). En el análisis sensorial, los panelistas mostraron una mayor aceptación por el pan elaborado con las mezclas HT-HA al 10% y 20% tratadas a 100 °C y la mezcla HT-HA al 10% tratada a 80 °C, además del pan elaborado solo con HT. Se estableció que es posible elaborar un pan con buenas propiedades texturales y sensoriales utilizando hasta un 20% de sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente.

Palabras clave: *tratamiento térmico, perfil de textura, análisis sensorial.*

Introducción

La dependencia actual de la harina de trigo en la región noroeste del país es considerable. Debido a la escasez de trigo para elaborar harinas panaderas, los molineros se ven obligados a importar este grano. Una alternativa para abordar el desabasto de trigo panadero es la utilización de harinas compuestas, las cuales consisten en una mezcla de harinas derivadas de tubérculos ricos en almidón y harinas ricas en proteínas con cereales diferentes al trigo (Seibel, 2006). Entre las harinas más estudiadas para la producción de panes compuestos se encuentran las de maíz, cebada, yuca y garbanzo (Ali et al., 2000). Además, las proteínas de leguminosas pueden utilizarse con éxito en productos horneados, obteniendo un producto enriquecido y con un mejor equilibrio de aminoácidos (Bojňanská et al., 2012).

La avena se considera un cultivo valioso debido a sus atributos nutricionales. En los últimos años, su consumo se ha popularizado como un alimento saludable gracias a su contenido de compuestos bioactivos, como los beta-glucanos, avenantramidas, tocoles, esteroides, ácido fítico y avenacósidos. Estos compuestos contribuyen a la reducción del riesgo de enferme-

dades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2, trastornos gastrointestinales y cáncer (Martínez y Peñas, 2017).

Por otra parte, se ha estudiado cómo la aplicación de tratamientos térmicos (TT) en harinas puede mejorar sus propiedades funcionales. Las harinas tratadas térmicamente permiten desarrollar formulaciones de harinas compuestas con proporciones más altas del ingrediente de sustitución, generando productos de panificación con una vida útil más larga, textura más fina, miga húmeda y un sabor más dulce. Aunque el mecanismo por el cual el TT mejora la harina no se conoce completamente, se sabe que produce desnaturalización de proteínas y gelatinización parcial de los gránulos de almidón. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue sustituir parcialmente la harina de trigo con harina de avena tratada térmicamente y evaluar las características texturales y sensoriales del pan compuesto.

Métodos

Materias primas

La harina de trigo (HT, marca Los Gallos) y la harina de avena (HA, marca Granvita), junto con el aceite de girasol, la levadura (marca Nevada), el azúcar y la sal, fueron adquiridos en una tienda local en Hermosillo, Sonora, México.

Tratamientos térmicos en harinas

La harina de avena (HA) se sometió a tratamientos térmicos a 80, 100 o 130 °C (Horno Modelo Fagor 2CF-3V) durante 30 minutos. Posteriormente, la HA se introdujo en una cámara de fermentación (Modelo KBF720 Binder, Tuttingen, Alemania) durante 17 horas a 25 °C y 15% de HR. Finalmente, se elaboraron mezclas de harina de trigo (HT) y HA tratada térmicamente en proporciones de 90:10 y 80:20 (p/p), respectivamente.

Caracterización de las harinas

Distribución del tamaño de la partícula (DTP). Se analizó la DTP de las harinas en términos de $d(0.1) \mu\text{m}$, $d(0.5) \mu\text{m}$ y $d(0.9) \mu\text{m}$, representando el diámetro máximo del 10%, 50% y 90% de las partículas, respectivamente, además de la media del volumen ponderado $D[4,3] \mu\text{m}$. Se utilizó un equipo de dispersión por láser (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, UK) con una unidad Scirocco (Dry Powder Unit).

Determinación del color y la capacidad de retención de agua (CRA). Para la medición del color se utilizó un colorímetro Konica Minolta (Modelo Chroma Meter CR-400, Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Los parámetros evaluados fueron L^* (luminosidad), a^* (variación de rojo a verde) y b^* (variación de amarillo a azul). La capacidad de retención de agua (CRA) se analizó según el método 56-11.02 (AACC, 2000).

Caracterización de las masas

Elaboración de las masas. Las masas se elaboraron de acuerdo con el método propuesto por Verdú et al. (2015). La capacidad fermentativa se determinó por el método propuesto por Soleimani Pour-Damanab et al. (2011).

Caracterización del pan

Elaboración de los panes. Se colocaron 250 g de masa en moldes de panificación, los cuales se introdujeron en la cámara de fermentación (90% HR y 40°C) por 1 hora. Finalmente, se hornearon en un horno, modelo Fagor 2CF-3V, a 200°C durante 15 minutos.

Análisis de perfil de textura (TPA). Este análisis se realizó en la miga del pan, cortada en cilindros de 4 cm de alto y 3.1 cm de diámetro. Se empleó un texturómetro TA-XT Plus (Texture Analyser Stable Micro Systems, Surrey, UK) con el dispositivo TA-40 (40 mm de diámetro). La velocidad del ensayo fue de 1.7 mm/s para comprimir la miga al 50% de su altura. El tiempo entre las compresiones fue de 5 segundos. Los parámetros evaluados fueron: fuerza, gomosidad, masticabilidad y resiliencia (Verdú et al., 2015).

Análisis sensorial de los panes. Se llevó a cabo con 24 panelistas no entrenados que expresaron su nivel de agrado hacia cada uno de los panes elaborados. Los atributos analizados fueron: color, aroma, sabor, textura y aceptación general. Se utilizó una escala hedónica de 8 puntos (0-8), donde 0 representa “muy desagradable” y 8 “muy agradable”.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con un ANOVA de una vía mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI con un nivel de confianza del 95%. Además, para el perfil de textura, se desarrolló un ANOVA multifactorial en el que se analizaron los factores porcentaje de sustitución, tratamiento térmico y tiempo de almacenamiento, así como sus interacciones. El análisis sensorial se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con el programa InfoStat, versión actualizada 2020. Los valores con una $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos.

Resultados y discusión

Dtp y color

El tamaño de partícula de las harinas, expresado como el volumen medio ponderado ($D [4,3] \mu\text{m}$), fue mayor para la mezcla HT 20% (80 °C) en comparación con HT y el resto de las mezclas, con un valor de $147.03 \pm 13.33 \mu\text{m}$ (Tabla 1). El tamaño de la partícula determina la calidad de las harinas, ya que influye en sus propiedades funcionales y en las propiedades texturales de los alimentos. Gómez (1987) menciona que las partículas de menor tamaño son responsables de una mayor absorción de agua, viscosidad, plasticidad y suavidad de la masa. La variación de la DTP puede deberse a diferencias en la matriz almidón-proteína del endospermo de los cereales. Así, los valores más altos de $D [4,3] \mu\text{m}$ en las muestras analizadas corresponden a las muestras con un mayor nivel de sustitución de HA

(Tabla 18.1). En este sentido, se ha reportado que los trigos duros y suaves varían en la continuidad de la matriz proteica, la adhesión al almidón-proteína y los espacios intracelulares dentro del endospermo (Glenn y Saunders, 1990).

Tabla 18.1. Distribución del tamaño de partícula en HT y en las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C

Harinas	Tratamiento térmico de HA (°C)	Distribución de tamaño de partícula (µm)			
		d (0.1) *	d (0.5) *	d (0.9) *	D [4,3]**
HT		25.53 ± 1.15 ^a	92.32 ± 0.63 ^b	181.11 ± 0.80 ^d	99.42 ± 0.88 ^c
HT: HA 10%	80	21.01 ± 0.07 ^b	89.82 ± 0.30 ^d	198.14 ± 1.86 ^c	113.21 ± 2.28 ^b
HT: HA 20%	80	20.08 ± 0.21 ^c	94.23 ± 1.72 ^a	260.95 ± 21.39 ^a	147.03 ± 13.33 ^a
HT: HA 10%	100	21.07 ± 0.16 ^b	90.44 ± 0.50 ^{cd}	200.29 ± 2.47 ^c	113.92 ± 3.07 ^b
HT: HA 20%	100	19.88 ± 0.11 ^c	91.28 ± 0.59 ^c	226.57 ± 4.03 ^b	118.61 ± 2.61 ^b
HT: HA 10%	130	21.28 ± 0.09 ^b	89.98 ± 0.26 ^d	195.53 ± 1.47 ^c	105.53 ± 1.10 ^c
HT: HA 20%	130	19.93 ± 0.12 ^c	91.10 ± 0.63 ^c	224.54 ± 3.58 ^b	116.78 ± 4.48 ^b

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. *Representan el diámetro máximo del 10%, 50% y 90% de partículas, respectivamente. **Representa el tamaño medio del volumen ponderado del tamaño de partícula. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente (p>0.05). Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, los valores de L* y a* disminuyeron al incrementar el nivel de sustitución (Tabla 18.2). Mientras que para b*, los valores permanecieron estadísticamente iguales, excepto para HT 20% con TT a 130 °C, donde se observó un incremento significativo en a* y b*. El color es un parámetro que se ve afectado por la fuente botánica de la harina (Torbica, 2012). Estos resultados se explican porque la HA es más oscura que la HT, por lo que, al incrementar el nivel de sustitución, disminuyó el valor de L*. Además, pudieron influir el proceso de molienda, el tamaño de la partícula y los carotenoides presentes en la muestra (Protonotariou, 2014). Harinas con valores altos de L* indican una mayor refinación y, por lo tanto, una mayor pérdida de vitaminas y minerales. Los procedimientos de molienda y las tasas de extracción tienen una gran influencia en varios componentes del grano, como cenizas, proteínas, pigmentos y el contenido de almidón dañado que, a su vez, influyen en el color de las harinas. Además, el tamaño de las partículas en las harinas se ha relacionado con diferencias en las especies de trigo, la dureza del grano y el contenido de humedad; el proceso de molienda es otra posible fuente de variación.

Tabla 18.2. *Determinación del color de HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C*

Harinas	Tratamiento térmico de HA (°C)	Color		
		L*	a*	b*
HT		95.94 ± 0.17 ^a	4.58 ± 0.03 ^b	2.76 ± 0.09 ^{bc}
HT: HA 10%	80	94.86 ± 0.16 ^c	4.30 ± 0.01 ^f	2.79 ± 0.10 ^b
HT: HA 20%	80	93.95 ± 0.17 ^d	4.39 ± 0.03 ^d	2.79 ± 0.17 ^b
HT: HA 10%	100	95.10 ± 0.14 ^b	4.29 ± 0.01 ^f	2.63 ± 0.06 ^c
HT: HA 20%	100	93.85 ± 0.18 ^d	4.35 ± 0.02 ^e	2.88 ± 0.08 ^b
HT: HA 10%	130	94.77 ± 0.08 ^c	4.45 ± 0.01 ^e	2.80 ± 0.06 ^b
HT: HA 20%	130	92.99 ± 0.21 ^e	4.68 ± 0.03 ^a	4.41 ± 0.13 ^a

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. L* (luminosidad), a* (variación de rojo a verde), b* (variación de amarillo a azul). Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente ($p > 0.05$).

Fuente: elaboración propia.

Capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad fermentativa

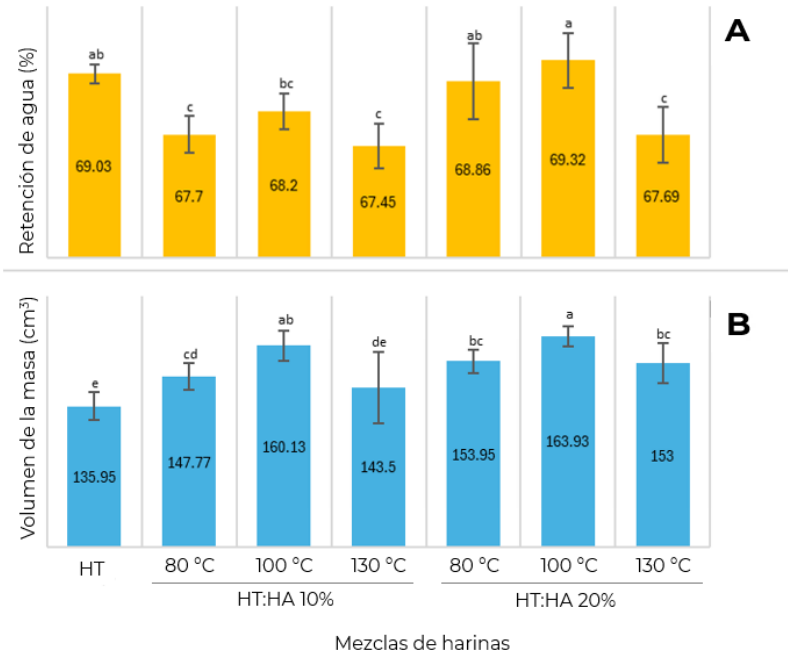
La Figura 1 muestra la CRA y la capacidad fermentativa (volumen de la masa) de la HT y las mezclas de HT con HA. La HT y la mezcla HT al 20% tratada a 80 °C o 100 °C mostraron los valores más altos de CRA (69.03, 68.86 y 69.32%, respectivamente), sin presentar diferencias significativas entre ellas. Los altos contenidos de fibra de la HA podrían afectar la CRA, con una tendencia a incrementarse al aumentar el porcentaje de sustitución. Las propiedades de hidratación están influenciadas por las proteínas y los polisacáridos presentes en la harina, y también se ven afectadas por el proceso de molienda, debido al daño que causan en las estructuras del grano y almidón, lo cual puede ser un factor importante en el incremento de la CRA en las harinas.

La CRA depende, en gran medida, del grado de molienda y el método utilizado, además de la variación en el contenido de almidón dañado, que es uno de los factores principales del incremento en su variabilidad. La CRA nos da información acerca de la funcionalidad de las harinas, así como de su habilidad para absorber agua durante el proceso de mezclado y liberar esa misma agua durante el proceso de panificación. También nos da una idea del grado de refinación de las harinas, ya que al reducir el tamaño de

partícula se genera un incremento en el almidón dañado, lo que afecta negativamente la capacidad de la harina para el desarrollo adecuado del producto final.

La capacidad fermentativa, medida como el volumen de la masa durante 1 hora de fermentación, se muestra en la Figura 1B. Los valores más altos corresponden a las mezclas de HT al 10% y 20% tratadas a 100 °C (163.93 y 160.13 cm³, respectivamente), superando considerablemente el volumen obtenido por la HT (139.95 cm³). Esto podría tener un efecto importante en el volumen y las propiedades texturales del pan, parámetros considerados importantes de calidad que determinan las preferencias del consumidor al momento de comprar este tipo de alimentos. Este comportamiento puede estar relacionado con el aporte de beta- glucanos de la avena, que normalmente se utilizan como ingredientes en alimentos funcionales, pero también

Figura 18.1. Capacidad de retención de agua (A) y capacidad fermentativa (B) de HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C



Fuente: elaboración propia.

mejoran las propiedades viscoelásticas en formulaciones de panes libres de gluten (Lazaridou y Biliaderis, 2007).

La formación de la masa es uno de los procesos más importantes en la industria de la panificación, y puede ser afectada por el contenido de proteína y su calidad, así como por la formación de una matriz proteína-almidón que actúa como una membrana capaz de estabilizar las células de gas en expansión. El amasado es crucial para el proceso de panificación, ya que crea las burbujas iniciales que proporcionan los puntos de nucleación, los cuales serán inflados con el CO₂ producido durante la fermentación. La estructura de una masa fermentada es una dispersión discreta de burbujas en una matriz proteica continua (embebida con gránulos de almidón), donde la viscoelasticidad de las masas permite que las burbujas se expandan y retengan gas. Diferentes estudios han mostrado que el gas generado en la fermentación no es retenido cuando la masa tiene contenidos de humedad por debajo del 35% del peso total de la masa, pero la retención de gas mejora cuando el contenido de agua está cercano o por encima del 44% (Chio-tellis y Campbell, 2003).

Análisis de perfil de textura (TPA)

El envejecimiento del pan está relacionado con los cambios indeseables que se presentan, además de la contaminación microbiana, en el tiempo que pasa desde su elaboración hasta su consumo. Para evaluar la estabilidad del pan durante su almacenamiento, se analizó el TPA a los 0, 2 y 7 días. Los resultados se muestran en la Tabla 3. El día 0 se observó un incremento en fuerza, gomosidad y masticabilidad en los panes elaborados con HT y HA 20% (130 °C), lo cual indica que al día 0 todas las mezclas de HA (tratada térmicamente), excepto las mencionadas anteriormente, generaron panes más blandos, un parámetro muy importante al momento de consumir un producto de panificación. El día 2 y 7 se observó un comportamiento similar, con la incorporación del pan obtenido de HA 10% (80 °C). La gomosidad y masticabilidad aumentaron a medida que se incrementó el tiempo, mientras que la resiliencia disminuyó.

La blandura o dureza de la miga es uno de los atributos de textura más

importantes debido a la percepción de frescura del producto, en este caso pan, que nos brinda una estimación de la calidad del mismo. En cuanto a la textura de la miga del pan, las propiedades mecánicas, como la firmeza y la elasticidad, son de las más importantes, ya que frecuentemente se relacionan con las características asociadas a la palatabilidad/masticabilidad (Hernández y Durán, 2012). Además, muestran una influencia importante al ser analizadas sensorialmente, pues definen la aceptabilidad de este tipo de producto.

La firmeza de la miga puede ser causada por cambios en la estructura del almidón. El almidón en la harina de trigo está formado por polímeros lineales y ramificados de D-glucosa. La porción lineal, llamada amilosa, está formada por 300 a 3 000 unidades de glucosa conectadas por enlaces alfa 1-4; mientras que la porción de amilopectina ramificada está formada por 2 000 a 200 000 unidades de glucosa unidas por enlaces alfa 1-4 y alfa 1-6. La amilosa constituye el 25 al 30% del gránulo de almidón y la amilopectina el 70 al 75%. Durante el horneado, los gránulos de almidón se hinchan y las cadenas lineales se difunden fuera del gránulo. Después del enfriamiento del pan, las cadenas lineales se juntan para proveer fuerza y darle forma al pan. Las cadenas ramificadas del almidón permanecen dentro del gránulo durante el horneado y se juntan lentamente durante el almacenamiento, lo que hace que la miga se vuelva más firme con el tiempo. Esto explica los incrementos de fuerza en los diferentes panes medidos a los siete días de almacenamiento.

Además del ANOVA simple, se realizó un ANOVA multifactorial para el perfil de textura, donde se analizaron los siguientes factores: porcentaje de sustitución, tratamiento térmico y tiempo de almacenamiento, así como sus interacciones. Esto permitió determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la fuerza, la gomosidad, la masticabilidad y la resiliencia. En el caso de la fuerza, se estableció que el factor tiempo de almacenamiento tiene un efecto significativo, así como la interacción entre el porcentaje de sustitución y el tratamiento térmico. Para la gomosidad y masticabilidad, se observó un comportamiento similar al de la fuerza, donde los efectos principales están definidos por el tiempo de almacenamiento y la interacción entre el porcentaje de sustitución y el tratamiento térmico. En el caso de la resiliencia, los efectos principales estu-

vieron definidos por el porcentaje de sustitución, tratamiento térmico y tiempo de almacenamiento, y por las interacciones entre el porcentaje de sustitución y el tratamiento térmico, así como entre el tratamiento térmico y el tiempo de almacenamiento, mostrando todas ellas un efecto estadísticamente significativo con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 18.3. *Perfil de textura del pan elaborado con HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C a los 0, 2 y 7 días de almacenamiento*

Días	Pan	Tratamiento térmico de la HA (°C)	Fuerza (N)	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
Día 0	HT	–	6.25 ± 0.54 ^a	5.04 ± 0.40 ^a	4.76 ± 0.57 ^a	0.46 ± 0.01 ^a
	HT:HA 10%	80	4.02 ± 0.97 ^b	3.34 ± 0.78 ^b	3.31 ± 0.79 ^b	0.43 ± 0.01 ^c
	HT:HA 20%	80	2.57 ± 0.47 ^d	2.16 ± 0.36 ^d	2.14 ± 0.37 ^d	0.40 ± 0.02 ^d
	HT:HA 10%	100	3.22 ± 0.45 ^{cd}	2.70 ± 0.38 ^c	2.58 ± 0.49 ^{cd}	0.44 ± 0.02 ^{ab}
	HT: HA 20%	100	3.45 ± 0.80 ^{bc}	2.85 ± 0.63 ^{bc}	2.79 ± 0.61 ^{bc}	0.41 ± 0.01 ^d
	HT:HA 10%	130	3.21 ± 0.57 ^{bcd}	2.74 ± 0.46 ^{bcd}	2.71 ± 0.48 ^{bcd}	0.46 ± 0.01 ^a
	HT:HA 20%	130	5.47 ± 0.57 ^a	4.59 ± 0.47 ^a	4.53 ± 0.45 ^a	0.44 ± 0.01 ^{ab}
Día 2	HT	–	17.39 ± 1.28 ^a	10.37 ± 0.74 ^{ab}	9.71 ± 0.76 ^{ab}	0.26 ± 0.01 ^{bc}
	HT: HA 10%	80	16.33 ± 1.95 ^a	9.93 ± 1.15 ^b	9.36 ± 1.07 ^b	0.30 ± 0.02 ^{bc}
	HT:HA 20%	80	11.04 ± 1.28 ^{bc}	6.66 ± 0.80 ^d	6.23 ± 0.80 ^d	0.29 ± 0.01 ^c
	HT: HA 10%	100	13.09 ± 0.97 ^b	8.49 ± 0.46 ^c	7.97 ± 0.66 ^c	0.33 ± 0.02 ^a
	HT:HA 20%	100	9.49 ± 1.56 ^c	6.09 ± 0.92 ^d	5.67 ± 0.84 ^d	0.30 ± 0.01 ^{abc}
	HT: HA 10%	130	9.77 ± 2.63 ^c	5.79 ± 1.24 ^d	5.25 ± 1.63 ^d	0.29 ± 0.03 ^{bc}
	HT: HA 20%	130	17.83 ± 2.83 ^a	11.23 ± 2.03 ^a	10.55 ± 1.88 ^a	0.31 ± 0.03 ^{ab}
Día 7	HT	–	19.45 ± 0.81 ^c	10.46 ± 0.36 ^{cd}	9.71 ± 0.31 ^{bc}	0.24 ± 0.02 ^{ab}
	HT: HA 10%	80	26.79 ± 3.28 ^a	13.80 ± 1.70 ^{ab}	12.83 ± 1.54 ^a	0.25 ± 0.01 ^{bc}
	HT: HA 20%	80	17.71 ± 1.83 ^{cd}	8.72 ± 0.81 ^{de}	7.95 ± 0.81 ^{cd}	0.22 ± 0.01 ^d
	HT: HA 10%	100	22.99 ± 4.29 ^b	12.33 ± 1.99 ^{bc}	11.47 ± 1.86 ^{ab}	0.26 ± 0.02 ^{ab}
	HT: HA 20%	100	19.64 ± 2.90 ^c	9.99 ± 1.71 ^d	9.16 ± 1.56 ^{cd}	0.23 ± 0.01 ^{cd}
	HT: HA 10%	130	13.92 ± 2.68 ^d	8.00 ± 1.36 ^e	7.33 ± 1.36 ^d	0.27 ± 0.01 ^a
	HT: HA 20%	130	27.75 ± 4.13 ^a	14.58 ± 1.99 ^a	12.92 ± 2.35 ^a	0.26 ± 0.03 ^{ab}

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente ($p > 0.05$).

Fuente: elaboración propia.

Análisis sensorial

Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 18.4. Utilizando el modelo no paramétrico de Kruskal-Wallis, se observó que los efectos más

significativos en los diferentes parámetros sensoriales analizados fueron sobre el nivel de agrado del sabor y la aceptación general. En cuanto al agrado del sabor, los panelistas no mostraron diferencias significativas en las distintas formulaciones de pan, excepto en la elaborada con HA 20% (130 °C). En términos de aceptación general, las formulaciones más favorecidas fueron aquellas en las que el porcentaje de sustitución de harina de trigo fue del 10% con harina de avena, sin importar el tratamiento térmico al que esta última haya sido sometida. La formulación menos aceptada fue aquella en la que se utilizó el 20% de harina de avena tratada a 130 °C, observándose una semejanza con las evaluaciones de color, aroma y textura, donde esta misma formulación obtuvo los valores más bajos registrados por los panelistas.

Tabla 18.4. *Análisis sensorial del pan elaborado con HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C*

<i>Pan</i>	<i>Tratamiento térmico de la HA (°C)</i>	<i>Color</i>	<i>Aroma</i>	<i>Sabor</i>	<i>Textura</i>	<i>Aceptación general</i>
HT	–	6.35 ± 1.85 ^{bc}	5.74 ± 1.63 ^{abc}	6.31 ± 1.29 ^b	6.25 ± 1.07 ^{bc}	6.56 ± 1.15 ^c
HT: HA 10%	80	6.46 ± 1.35 ^{bc}	6.25 ± 1.46 ^{bc}	6.20 ± 1.35 ^b	6.11 ± 1.48 ^{bc}	6.41 ± 1.18 ^{bc}
HT: HA 20%	80	5.87 ± 1.17 ^{ab}	5.56 ± 1.32 ^{ab}	5.70 ± 1.12 ^b	5.92 ± 1.50 ^{bc}	5.77 ± 0.93 ^b
HT: HA 10%	100	6.57 ± 1.29 ^c	6.61 ± 1.39 ^c	6.30 ± 1.34 ^b	6.74 ± 1.26 ^c	6.61 ± 1.21 ^c
HT: HA 20%	100	5.90 ± 0.96 ^{ab}	5.69 ± 1.25 ^{ab}	5.86 ± 1.33 ^b	5.85 ± 1.21 ^{ab}	6.20 ± 0.85 ^{bc}
HT: HA 10%	130	5.84 ± 1.63 ^{bc}	5.97 ± 1.43 ^{abc}	5.69 ± 1.40 ^b	5.88 ± 1.35 ^b	5.69 ± 1.26 ^b
HT: HA 20%	130	4.97 ± 1.31 ^a	5.15 ± 1.41 ^a	4.57 ± 1.46 ^a	5.01 ± 1.11 ^a	4.59 ± 1.48 ^a

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente (p>0.05).

Fuente: elaboración propia.

Conclusión

Es posible elaborar un pan con buenas propiedades texturales y sensoriales, utilizando hasta un 20% de sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente.

Referencias

- AACC. (2000), *Approved Methods of Analysis*. 11th ed. The American Association of Cereal Chemists; St. Paul, MN, Estados Unidos.
- Ali, H. K., H. M. Esam y M. D. Fathy. (2000). Influence of malt on rheological and baking properties of wheat cassava composite flours. *LWT-Food Science and Technology* 33: 159-164. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0629>
- Bojňanská, T., H. Francáková, M. Líšková y M. Tokár. (2012). Legumes-The alternative raw materials for bread production. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 1: 876-886. https://www.researchgate.net/publication/266886484_Legumes-The_alternative_raw_materials_for_bread_production
- Chiotellis, E., y G. M. Campbell. (2003). Proving of Bread Dough II. Measurement of gas production and retention. *Trans IChemE*, Vol. 81, Part C, 207-216. <http://doi.org/10.1205/096030803322437974>
- Glenn, G. M., y R. M. Saunders. (1990). Physical and structural properties of wheat endosperm associated with grain texture. *Cereal Chemistry* 67 (2) 176-182. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1990/Documents/67_176.pdf
- Gómez, M. H., L. W. Rooney, R. D. Waniska y R. L. Pflugfelder. (1987). Dry corn masa flour for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32 (5) 372- 377.
- Hernández, O. M., y O. D. Duran. (2012). Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* 10 (2): 61-74. Universidad de Pamplona. Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90326388001>
- Lazaridou, A., y C. G. Biliaderis. (2007). Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science* 46 (2) 101-118. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.003>
- Martínez-Villaluenga, C., y E. Peñas. (2017). Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms *Current Opinion in Food Science* 14:26-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.004>
- Protonotariou, S., A. Drakos, V. Evageliou, C. Ritzoulis y I. Mandala. (2014). Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 134, 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.02.008>
- Seibel, W. (2006), "Composite flour", *Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement*, in Popper, L., Schafer, W. and Freund, W. (pp. 193-198). (Eds), Verlag Agri Media, Hamburg.
- Soleimani Pour-Damanab, A. R., A. Jafari y Sh. Rafiee. (2011). Monitoring the dynamic density of dough during fermentation using a digital imaging method. *Journal of Food Engineering* (107) 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.010>
- Torbica, A., M. Hadnadev y T. D. Hadnadev. (2012). Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International*, 48 (1) 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.001>

Verdú, S., F. Vázquez, E. Ivorra, A. J. Sánchez, J. M. Barat y R. Grau. (2015). Physicochemical effects of chia (*Salvia hispánica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science* (65) 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.011>

Tema 6

POLÍTICAS ALIMENTARIAS Y SOCIALES

19. Evaluación de la política de etiquetado frontal en alimentos para las regiones de México, 2016-2020-2022



CARLOS GABRIEL BORBÓN-MORALES*

JUAN CARLOS GUIMOND-RAMOS**

JUAN MEJÍA TREJO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.19>

Resumen

El presente capítulo examina la influencia de la política de etiquetado frontal en productos alimentarios con alto contenido energético en México, enfocándose en el consumo y gasto de los hogares urbanos entre los años 2016 y 2022. El detonante de esta política es el incremento sostenido de la obesidad y las enfermedades crónicas, ligadas al consumo excesivo de productos ultraprocesados. Las autoridades mexicanas han promovido etiquetas frontales informativas, que buscan modificar las decisiones de compra al proporcionar datos claros sobre el valor nutricional directamente en el paquete. Este tipo de intervención intenta contrarrestar la tendencia al sobrepeso y mejorar la calidad de las elecciones alimenticias. El análisis se realizó con base en microdatos representativos a nivel nacional y regional, empleando métodos que distinguen el efecto de la política respecto a otros factores externos. Los resultados muestran una eficacia variable del etiquetado frontal, predominando el descenso en el consumo de productos como galletas y mermeladas, especialmente en las regiones centro y sur del país. Por el contrario, en el noroeste, la disminución se limita primordialmente

* Doctor en Ciencias Económicas. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-3608> ; correspondencia: cborbón@ciad.mx

** Doctor en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2143-4089>

*** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor-investigador titular en la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0558-1943>

a un solo producto. Factores como el nivel educativo, el contexto socioeconómico y los hábitos culturales inciden en la interpretación y la utilidad del etiquetado, limitando en ocasiones su impacto en la modificación de conductas alimentarias. Asimismo, la respuesta regional evidencia que la universalidad de la política enfrenta limitaciones notables. En conclusión, el etiquetado frontal de alimentos es una herramienta efectiva, pero su alcance se ve mediado por múltiples dimensiones sociales y educativas. Se recomienda adaptar la política a las especificidades regionales para potenciar su impacto en la salud pública y el bienestar nutricional.

Palabras clave: *etiquetado frontal, gasto en alimentos, contenido energético, regiones.*

Introducción

En México se verifica un incremento del consumo de alimentos con altos contenidos calóricos, también conocidos como ultra procesados, los cuales propician el desarrollo de enfermedades no transmisibles en la población (Dávila-Torres et al., 2015). La ENSANUT (2023) estima que 75.2% de la población mexicana adulta tiene sobrepeso y obesidad, lo que ha desencadenado en la agudización de enfermedades coronarias y diabetes *mellitus*, padecimientos que se posicionan como las principales causas de mortalidad en México.

Con el propósito de reducir la incidencia de lo anteriormente descrito, los gobiernos han impulsado la aplicación de políticas destinadas a modificar la intención de compra de estos productos (Thow et al., 2018). Algunas de estas políticas se han enfocado en la aplicación de impuestos a la compra, mientras que otras han utilizado etiquetados que informan al consumidor sobre los contenidos, a fin de que le permitan evaluar la calidad de los productos a consumir (OPS, 2020).

La FAO y la OMS (2001) exponen en sus Declaraciones Nutricionales de Salud (DNS) que éstas se refieren a cualquier representación que afirme, sugiera o implique que un alimento posee propiedades nutritivas particulares o especiales, y precisan, además, que dichas declaraciones deben sustentarse en evidencia científica suficiente y cumplir criterios específicos para

no inducir a error al consumidor. Ainsworth et al. (2000) definen que los equivalentes de ejercicio (EE) son las calorías contenidas en los alimentos y se refieren al gasto energético requerido para “quemarlas”. Por su parte, la NOM-51-SCFI/SS1-2010 especifica que el etiquetado frontal nutricional (EFN) o los sellos de advertencia frontal (SAF) son símbolos octagonales de color negro que expresan el aporte energético de los alimentos.

También Grunert et al. (2010), explican que las guías diarias de alimentación (GDA) informan al consumidor sobre las cantidades nutricionales de los alimentos. Por su parte, respecto a los logos nutricionales (LN), para Galán et al. (2017), estos son útiles en tanto que traducen las tablas con cifras y los términos incomprensibles de la información nutricional mediante un logotipo simple colocado sobre la parte frontal. En este tenor, las recomendaciones diarias (RD), según la Guía de Alimentos para la Población Mexicana (2010), clasifica a los alimentos de acuerdo con el grupo al que pertenecen y a sus propiedades, identificándolos con colores representativos. Por su parte, el semáforo nutricional (SN) es un sistema de etiquetado frontal que marca, con un código de colores a manera de semáforo (rojo, amarillo y verde), si el alimento es más o menos saludable (Méjean et al., 2013).

Santos et al. (2019) señalan en su análisis sistemático sobre los efectos de los etiquetados en el consumo, que algunos autores encontraron que la información nutricional y de salud tuvo un impacto variable en el tamaño de porciones consumidas (Brown et al., 2018); mientras que otros autores refieren que hubo un efecto positivo moderado (Christoph y An, 2018). Hawley et al. (2013) concluyen que el SN ayudó a identificar productos más saludables.

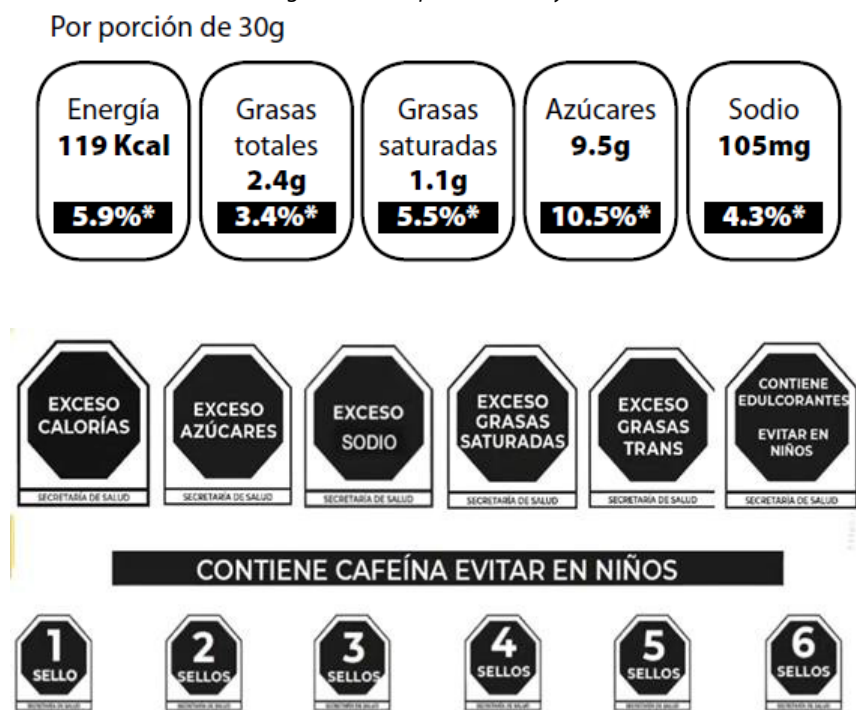
Asimismo, Hersey et al. (2013) consideran que facilitó la interpretación y selección de productos saludables. También Kaur et al. (2017) y Sanjari et al. 2017 explican que tuvo un efecto sustancial en las opciones dietéticas. Finalmente, Sebastian et al. (2015) expresaron que el precio, lugar de compra/consumo, dimensiones sensoriales, hábitos dietéticos, interpretación de logotipos y la educación se asociaron con la elección de productos.

Otros autores, como Aponte (2017) y Capriata y Calo (2022), destacan que las ventajas del sello de advertencia son que proporcionan información precisa para los consumidores y mejoran la comprensión de los consumidores sobre los nutrientes y los ingredientes de los alimentos ultra procesados.

Las desventajas reportadas por Crespo (2021) y Aponte (2017) son que los consumidores en ocasiones no comprenden adecuadamente la información, lo que reduce su efectividad. Trejo et al. (2021) mencionan que los sellos de advertencia pueden afectar la competitividad de las empresas productoras que no se ajusten a los estándares del etiquetado, exponiéndose a perder mercado. Por su parte, la Asociación de Consumidores, como la Asociación Mexicana de Consumidores (AMC), argumentaba que la falta de información clara y precisa sobre los nutrientes e ingredientes de los alimentos puede llevar a la toma de decisiones erróneas por parte de los consumidores, lo que puede afectar negativamente su salud y bienestar (Secretaría de Salud, 2021).

Desde la academia, Santos et al. (2019) exhibieron que las etiquetas pueden influir en la elección positiva de los consumidores. Asimismo, Hernández et al. (2019) destacaron que la comprensión de la información nu-

Figura 19.1. *Etiquetados GDA y SAF*



Fuente: Stern et al. (2011); Alianza por la salud alimentaria (2020).

tricional puede ser limitada debido a la falta de educación y competencias de lectura, escritura y cálculo. Por su parte, Trejo et al. (2019) observaban que la falta de información clara y precisa sobre los nutrientes e ingredientes de los alimentos puede llevar a la toma de decisiones erróneas por parte de los consumidores.

En la figura 19.1 se puede apreciar como la GDA aborda el aporte energético de los nutrimentos con base en las estimaciones requeridas para una dieta promedio de 2,000 kcal (Grunert et al., 2010), mientras que los SAF son símbolos octagonales de color negro en frente del empaque, que expresan cuando el producto supera el aporte energético recomendado (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2021; Secretaría de Economía, 2020).

El objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto de la política de etiquetado en alimentos de alto contenido energético en el gasto de los hogares de localidades urbanas en las regiones de México durante los años 2016, 2020 y 2022.

Metodología

Selección de datos

A partir de los micro datos del INEGI (2022), representativos y con un 95% de confianza, se eligieron los periodos 2016-2022 y 2020-2022, que coinciden con los periodos de etiquetados GDA y SAF, respectivamente. La base de datos de más de un millón trescientos mil registros incluye variables tales como: estados agrupados en regiones de México, nombre del producto ACE seleccionados según tabla 19.1, gasto trimestral promedio de los hogares (GTP), el cual se deflactó a precios del 2019 (para descontar la inflación de cada año).

Posteriormente, con base en NAFIN (2023), se agruparon los estados en cinco regiones: noroeste, norte-noreste, occidente, centro y sur. Esta regionalización tiene que ver con las características comunes de su economía, tanto en empresas como en los hogares, entre las que se encuentran: orienta-

ción del gasto, tipos de créditos solicitados, tasas de interés, plazos de crédito, entre otras.

Tabla 19.1. *Perfiles nutrimentales en la fase 1 del SAF*

Concepto	Energía	Azúcares	Grasas saturadas	Grasas trans	Sodio
Sólidos en 100 g de producto	> 275 kcal totales	> 10% del total de energía proveniente de azúcares libres.	> 10% del total de energía proveniente de grasas saturadas	> 1% del total de energía proveniente de grasas trans	> 350 mg
Líquidos en 100 ml de producto	> 70 kcal totales o > 10 kcal azúcares libres	Sin sello las bebidas con <10 kcal de azúcares libres			Bebidas sin calorías: > 45 mg de sodio
Leyenda para usar	Exceso calorías	Exceso azúcares	Exceso grasas saturadas	Exceso grasas trans	Exceso sodio

Fuente: Secretaría de Economía (2020).

Método de diferencia en diferencias

De acuerdo con Gertler et al. (2017), no existen reglas tácitas para decir qué técnica es mejor que otra; sin embargo, proponen que algunos aspectos a tomar en cuenta son que identifique el impacto causal de un programa y que ofrezca una comparación válida para estimar el contrafactual. Por lo que, para analizar el efecto del etiquetado en la elección de compra, se utilizó el método de diferencia en diferencias. Este método permite aislar el efecto de otros factores que pudiesen influir en la elección de compra, por lo que se utilizó para estimar el efecto del etiquetado de forma indirecta mediante el gasto en las zonas urbanas de cada región. Se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$\delta = (Y_{-}(\text{tratado}, \text{después}) - Y_{-}(\text{control}, \text{después})) - (Y_{-}(\text{tratado}, \text{antes}) - Y_{-}(\text{control}, \text{antes}))$$

Ecn.1

Donde:

δ Es equivalente a la diferencia del gasto promedio trimestral (GPT) de los hogares en alimentos ACE.

$y_{tratado, después}$ es GPT del grupo urbano (tratado) después de implementar la política.

$y_{control, después}$ es GPT del grupo rural (control) después de implementar la política.

$y_{tratado, antes}$ es GPT del grupo urbano (tratado) antes de implementar la política.

$y_{tratado, antes}$ es GPT del grupo rural (control) antes de implementar la política.

De acuerdo con el procedimiento de DD, se estiman los parámetros β y δ a partir de la siguiente expresión:

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 \text{Trat}_i + \beta_3 \text{Desp}_i + \delta (\text{Trat}_i * \text{Desp}_i) + \varepsilon_i \dots$$

ecn2

Donde

y_i Es el promedio de GPT

Trat_i Es una variable dicotómica: 1 si es el grupo tratado y 0 si es el grupo control
 Desp_i Es una variable dicotómica: 1 para el GPT después de implementar la política y 0 para el GPT antes de implementar la política

δ Estimador de diferencia en diferencias

$(\text{Trat}_i * \text{Desp}_i)$ Es la interacción entre ambos grupos antes y después de la política

Así, de acuerdo con DD para cada uno de los parámetros estimados:

β_1 Control (rurales) antes de aplicar la política; $\text{Trat} = \text{cero}$ y $\text{Desp} = \text{cero}$

$\beta_1 + \beta_2$ Tratamiento (urbano) antes de la política

$\beta_1 + \beta_3$ Control (rurales) después de la política

$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \delta$ Tratamiento(urbanas) después de la política es el promedio de GPT

Resultados

Impacto del etiquetado a nivel nacional

Según el INEGI (2022), el gasto corriente monetario promedio trimestral por hogar fue de \$39 965.00, de los cuales se gastan \$15 059.00 (38%) en alimentos y bebidas. De este gasto en alimentación, \$12 031.00 (80%) se gastan dentro del hogar y \$2 957 (20%) fuera del hogar. Asimismo, se estima que \$4 119 (27%) del total del gasto en alimentación se destina a comprar alimentos ACE. En esta sección se exhibe el comportamiento del GTP de los hogares como indicador indirecto respecto al impacto del GDA y el SAF. Así, el signo negativo de los datos revela que el etiquetado impactó en la disminución del GTP. Por su parte, el número expresa la cantidad en pesos que se dejaron de gastar. Según la tabla 19.2, a nivel nacional sólo dos productos muestran disminución: galletas, dulces y ates- jaleas-mermeladas. Para SAF disminuyeron los dos anteriores más helados y paletas. En el resto de los casos aumentó el gasto, o bien, los cambios no fueron significativos.

Tabla 19.2. Impacto de las políticas de etiquetado SAF y GDA a nivel nacional en 2016, 2020 y 2022

Etiquetados	Nacional				
	SAF		GDA		VA (%)
Producto	GTP	p	GTP	p	
Galletas dulces (Gd)	-147	***	-148	***	-0.01
Galletas saladas (Gs)	53.98	***	56.18	***	-0.04
Pan empaquetado (Pe)	26.66	***	32.23	***	-0.17
Pastillos empaquetados (Pae)	16.77	0.84	35.44	0.68	-0.53
Botanas y frituras (Bf)	12.09	0.09	11.91	0.09	0.02
Sopas instantáneas (Si)	12.26	0.38	9.33	0.48	0.31
Papas fritas (Pf)	9.7	0.29	28.3	***	-0.66
Chocolate en tableta (Ct)	0.4	0.98	14.24	0.48	-0.97
Ates, jaleas y mermeladas (Ajm)	-94	0.03	-8.8	0.85	9.68
Helados y paletas (Hp)	-1.24	0.96	40.6	0.06	-1.03
Bebidas azucaradas (Ba)	70.8	***	64	***	0.11
Bebidas alcohólicas (Bah)	40.36	***	33.2	0.03	0.22

Nota: El coeficiente se refiere al GTP de los hogares, con precios del 2019 VA: variación anual de GDA a SAF.
(***) Significativo al 95% de confianza y 5% de error
Fuente: elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

Impacto del etiquetado a nivel regional

Respecto a SAF y GDA, en la tabla 19.3 se advierte que en la región noroeste sólo hubo impacto en el consumo de galletas dulces. Mientras que con GDA se dejaron de gastar \$53.8. Para SAF se gastaron \$60.9 menos como efecto de los sellos. Por su parte, en la región noreste-norte, ninguna de las dos etiquetas tuvieron efecto en ninguno de los productos. En el caso de la región Occidente, el gasto en galletas dulces se redujo en \$26.8 GDA y \$15.2 SAF, mientras que en las bebidas alcohólicas la disminución fue de \$24.4 GDA y \$7.6 SAF. El indicador de variación porcentual muestra que en la región noroeste en galletas dulces, SAF aumentó 13% más que en GDA. En Occidente disminuyó en 43% de GDA a SAF.

En el caso de las regiones centro y sur, el etiquetado SAF y GDA ha sido efectivo en todos los productos, salvo en las bebidas azucaradas (Tabla 4). En la región centro, el consumo de galletas dulces disminuyó \$36.6 con SAF y \$47.27 con GDA. Otro alimento que tuvo mayor decremento del gasto fueron los helados y las paletas, con una reducción de \$28.53 SAF y \$34.97 GDA. Por su parte, las políticas de etiquetado también han sido particularmente efectivas en la región sur, donde hubieron las mayores disminuciones del gasto en alimentos ACE. Salvo en las bebidas alcohólicas y las bebidas azucaradas, la disminución del gasto es mayor a \$50 en cada uno de los productos, siendo la mayor disminución en el consumo de galletas dulces con una reducción de \$93.7 SAF y de \$97.4 GDA. Por su parte, la variación de GDA a SAF en ambas regiones muestra una disminución de menos del 1%.

Tabla 19.3. Impacto de las políticas de etiquetado SAF y GDA por región y producto en 2016, 2020 y 2022

Región	Región noroeste					Región norte-noreste					Región occidente				
	Año	SAF	GTP	p	GDA	IP (%)	SAF	GTP	p	GDA	IP (%)	SAF	GTP	p	IP (%)
Producto															
Gd		-60.9	***	***	-53.8	***	13	12.5	***	16.7	***	-25	-15.2	***	-43
Gs		13.9	***	***	19.9	***	-30	79.3	***	82.1	***	-3	17.6	***	577
Pe		27.7	***	***	32.2	***	-14	91.0	***	94.0	***	-3	25.7	***	158
Pae		14.1	***	***	22.0	***	-36	94.0	***	95.8	***	-2	14.2	***	5572
Bf		9.8	***	***	15.8	***	-38	86.0	***	86.7	***	-1	15.9	***	686
Si		21.2	***	***	25.4	***	-17	93.7	***	95.8	***	-2	19.5	***	473
Pf		15.6	***	***	21.9	***	-29	90.7	***	93.5	***	-3	17.7	***	311
ct		18.2	***	***	23.5	***	-23	92.7	***	95.2	***	-3	18.5	***	559
Ajm		18.9	***	***	25.4	***	-26	93.8	***	97.0	***	-3	18.2	***	601
Hp		11.7	***	***	21.2	***	-45	89.9	***	93.1	***	-3	13.9	***	1801
Ba		76.6	***	***	70.9	***	8	63.0	***	58.8	***	7	56.0	***	20
Bah		14.0	***	***	18.5	***	-24	84.4	***	86.8	***	-3	-7.6	***	-69

Nota: El coeficiente se refiere al GTP de los hogares, con precios del 2019 VA: Variación anual de GDA a SAF.

(***) Significativo al 95% de confianza y 5% de error.

Fuente: elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

Tabla 19.4. *Impacto de las políticas de etiquetado SAF y GDA por región y producto en 2016, 2020 y 2022*

Región	Región centro					Región sur				
	SAF		GDA		IP (%)	SAF		GDA		IP (%)
Año	GTP	p	GTP	p		GTP	p	GTP	p	
Gd	-36.7	***	-47.3	***	-0.2	-93.7	***	-97.4	***	-0.04
Gs	-20.1	***	-35.0	***	-0.4	-48.9	***	-54.4	***	-0.10
Pe	-17.0	***	-29.3	***	-0.4	-45.2	***	-51.0	***	-0.12
Pae	-26.5	***	-37.3	***	-0.3	-59.6	***	-61.7	***	-0.03
Bf	-14.7	***	-28.9	***	-0.5	-45.3	***	-51.7	***	-0.12
Si	-16.7	***	-30.3	***	-0.4	-49.1	***	-54.7	***	-0.10
Pf	-18.0	***	-29.0	***	-0.4	-48.6	***	-52.0	***	-0.07
ct	-18.5	***	-32.4	***	-0.4	-51.2	***	-56.0	***	-0.08
Ajm	-20.7	***	-33.4	***	-0.4	-53.3	***	-57.8	***	-0.08
Hp	-28.5	***	-35.0	***	-0.2	-59.1	***	-58.9	***	0.00
Ba	50.5	***	43.8	***	0.15	41.8	***	35.5	***	0.18
Bah	-3.23	***	-16.5	***	-0.8	-12.8	***	-18.8	***	-0.32

Nota: El coeficiente se refiere al GTP de los hogares, con precios del 2019 VA: variación anual de GDA a SAF. (***) Significativo al 95% de confianza y 5% de error.

Fuente: elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

Impacto por estado seleccionado

Se eligieron los estados más relevantes de las regiones antes evaluadas. Se tomaron como ejemplo las galletas y dulces (que fueron los productos más impactados por SAF). En la tabla 19.5 se aprecia que Sonora es el estado donde más impactó SAF con una disminución de \$132; Ciudad de México, \$127.6; Jalisco, \$126; Yucatán, \$83.7 y Nuevo León, \$69.4. Expresado en porcentajes se tiene que, respecto al nacional, solo en tres estados tuvieron

Tabla 19.5. *Impacto de las políticas de etiquetado SAF en México por región y estado seleccionado (2016, 2020 y 2022)*

Producto	Regiones					Nacional
	Noroeste	Norte-Noreste	Occidente	Centro	Sur	
	Sonora	Nuevo León	Jalisco	CDMX	Yucatán	
Galletas, dulces	-131.5(***)	-69.4(***)	-126.1(***)	-127.6(***)	-83.7(***)	-107.66
% respecto al total nacional	22%	-36%	17%	19%	-22%	

Nota: El coeficiente se refiere al GTP de los hogares, con precios del 2019 VA: variación anual de GDA a SAF. (***) Significativo al 95% de confianza y 5% de error.

Fuente: elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

mayor efecto estas políticas: Sonora (22%), Ciudad de México (19%) y Jalisco (17%).

Discusión y conclusiones

En concordancia con algunos autores (Hersey, 2013; Kaur, 2017; Brown et al., 2018 y Christoph, 2018), los resultados apuntan que, en general, la política de etiquetado SAF en México tuvo un efecto positivo en la modificación de los hábitos de compra, por encima de las GDA, expresados como la disminución del GTP de los hogares en los productos referidos. También los resultados coinciden con Brown et al. (2018), en cuanto a que el SAF tuvo un impacto variable para cada región. Uno de los hallazgos es que la política SAF muestra un impacto diferenciado no sólo dependiendo de la región, sino del producto, toda vez que el indicador de gasto expresa indirectamente la capacidad de ingresos, la disponibilidad, los gustos, preferencias, valores sociales y elementos culturales.

No obstante, la explicación de las causas de este comportamiento diferenciado escapa al objetivo de esta investigación. A decir de Hernández et al. (2019), 40.6% de los mexicanos lee el etiquetado nutrimental y apenas 24% de ellos pueden interpretar correctamente la información. Por otro lado, para Trejo et al. (2021), los factores individuales y contextuales también pueden influir en la efectividad del etiquetado, tales como el entorno en el que las personas compran sus alimentos, la preferencia sobre el sabor, el precio, el contexto cultural, el nivel socioeconómico, el nivel educativo, el género, la edad y la predisposición e interés de adoptar una alimentación saludable pueden limitar la efectividad del etiquetado.

En conclusión, la política de etiquetado en México mostró un impacto diferenciado en las localidades urbanas del país. Respecto a los productos, el etiquetado no fue efectivo en las bebidas azucaradas. Aunque el estudio concluye que la política del etiquetado frontal es una herramienta efectiva para promover la elección de alimentos saludables y reducir el consumo de alimentos no saludables, se observa una variabilidad en su impacto a nivel regional. Mientras que las regiones del centro y sur del país experimentaron un efecto positivo en los productos analizados, excepto en las bebidas azuca-

radas, en las regiones del noroeste sólo fue efectivo en las galletas y dulces, mientras que en la región norte-noroeste se obtuvieron resultados diferentes. Respecto a los estados, Sonora SAF tuvo un mayor efecto en galletas y dulces, por encima del promedio nacional. Los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para la política pública en México. La implementación de los sellos frontales en alimentos ultra procesados parece ser una estrategia efectiva para reducir el consumo de estos productos y promover la elección de opciones más saludables. Sin embargo, es necesario plantear la necesidad de políticas regionales que permitan el descenso del gasto y consumo de este producto en específico, atendiendo la particularidad de cada región del país.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONAHCYT por haber otorgado la beca al estudiante de doctorado en Desarrollo Regional CIAD, A.C.

Referencias

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O'Brien, W. L., Bassett, D. R., Jr, Schmitz, K. H., Emplainscourt, P. O., Jacobs, D. R., Jr., y Leon, A. S. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(9 Suppl), S498-S504. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00009>
- Alianza por la salud alimentaria. (2020). Etiquetado frontal de advertencia en México: Un paso adelante para combatir la epidemia de obesidad y diabetes y fortalecer nuestro sistema inmune.
- Aponte Correa M.B. (2017). Conocimiento de etiquetado nutricional de alimentos procesados y su influencia en el estado nutricional de los estudiantes. [Tesis licenciatura en medicina, Universidad nacional de Loja]. Repositorio institucional de la Universidad Deusto. <http://dkh.deusto.es/comunidad/thesis/recurso/el-impacto-que-producenlos-beneficios/d2cbe57e-6c68-4c5c-89b5-b2c7d1b0ecb3>
- Brown, H. M., Rollo, M. E., de Vlieger, N. M., Collins, C. E., y Bucher, T. (2018). Influence of the nutrition and health information presented on food labels on portion size consumed: a systematic review. *Nutrition reviews*, 76(9), 655-677. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy019>

- Capriata, M. D., Calo, M.C. (2022). Revisión del etiquetado frontal: utilización, comprensión, ventajas y desventajas en consumidores de diversos países del mundo. [Tesis de licenciatura en Nutrición]. Repositorio de la Universidad FASTA. Facultad de Ciencias Médicas. <http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/handle/123456789/2253>
- Christoph, M. J., y An, R. (2018). Effect of nutrition labels on dietary quality among college students: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition reviews*, 76(3), 187-203. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux069>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2021). Guía para los responsables de los productos sujetos a la modificación a la NOM-051- SCFI/SSA1-2010.
- Crespo Azconzábal Ailén (2021). Ley de etiquetado frontal de alimentos: Tan necesaria como desafiante. [Tesis de licenciatura en Derecho, Universidad de San Andrés]. Repositorio institucional de la Universidad de San Andrés. <https://repositorio.udea.edu.ar/jspui/bitstream/10908/18796/1/%5BP%5D%5BW%5D%20T.%20Ab.%20Crespo%20Azconz%C3%A1bal,%20Ail%C3%A9n.pdf>].
- Data México. (2023). Complejidad económica por industrias. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/economic_complexity/1#territorial-economic-complexity.
- Dávila-Torres, J., De Jesús González-Izquierdo, J., y Barrera-Cruz, A. (2015). Panorama de la obesidad en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, 53(2), 240-249. http://revistamedica.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista_medica/article/viewFile/21/54
- Galán P., González R., Julia C., Hercberg S., Varela-Moreiras G., Aranceta-Bartrina J. Pérez-Rodrigo C., y Serra-Majem L. (2017). El logotipo nutricional NutriScore en los envases de los alimentos puede ser una herramienta útil para los consumidores españoles. *Revista Española Nutrición Comunitaria*. 23(2):86-93 ISSN 1135-. DOI:10.14642/RENC.2017.23.2.5221
- Gertler, P. J.; Martínez, S.; Premand, P.; Rwlings, L. B. y Vermeersch, Ch. M. J. (2017). La evaluación de impacto en la práctica 2a. ed. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo y Banco Mundial.
- Grunert, K. G., Wills, J. M., y Fernández-Celemín, L. (2010). Nutrition knowledge, and use and understanding of nutrition information on food labels among consumers in the UK. *Appetite*, 55(2), 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.05.045>
- Guía de alimentos para la población mexicana. (2010). Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. Recuperado de: <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/salud/guia-alimentos.pdf>
- Hawley, K. L., Roberto, C. A., Bragg, M. A., Liu, P. J., Schwartz, M. B., y Brownell, K. D. (2013). The science on front-of-package food labels. *Public health nutrition*, 16(3), 430-439. <https://doi.org/10.1017/S1368980012000754>
- Hernández-Nava, Liliana Guadalupe, Egnell, Manon, Aguilar-Salinas, Carlos Alberto, Córdova-Villalobos, José Ángel, Barrigüete-Meléndez, Jorge Armando, Pettigrew, Simon, Hercberg, Serge, Julia, Chantal, y Galán, Pilar. (2019). Impacto de diferentes etiquetados frontales de alimentos según su calidad nutricional: estudio compara-

- tivo en México. *Salud Pública de México*, 61(5), 609-618. Epub 07 de agosto de 2020. <https://doi.org/10.21149/10318>
- Hersey, J. C., Wohlgenant, K. C., Arsenault, J. E., Kosa, K. M., y Muth, M. K. (2013). Effects of front-of-package and shelf nutrition labeling systems on consumers. *Nutrition reviews*, 71(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/nure.12000>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI]. (2022). Encuesta Nacional Ingreso Gasto (ENIGH) [2016,2018,2020,2022]. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/>
- Instituto Nacional de Salud Pública [INSP]. (2023). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Continua 2023. ENSANUT. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2023/index.php>
- Kaur, A., Scarborough, P., y Rayner, M. (2017). A systematic review, and meta- analyses, of the impact of health-related claims on dietary choices. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 14(1), 93. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0548-1>
- Méjean, C., Macouillard, P., Péneau, S., Hercberg, S., y Castetbon, K. (2013). Perception of front-of-pack labels according to social characteristics, nutritional knowledge and food purchasing habits. *Public health nutrition*, 16(3), 392-402. <https://doi.org/10.1017/S1368980012003515>
- Nacional Financiera [NAFIN]. (2023). Características financieras de las regiones de México. <https://www.nafin.com/portalfn/content/financiamiento/impulso-nafin-estados.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2001). Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comisión del Codex Alimentarius. Ginebra, 2-7 de julio de 2001. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/x7311s/x7311s00.htm#Contents>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2020). El etiquetado frontal como instrumento de política para prevenir enfermedades no transmisibles en la Región de las Américas. Recuperado de: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/53013>
- Sanjari, S. S., Jahn, S., y Boztug, Y. (2017). Dual-process theory and consumer response to front-of-package nutrition label formats. *Nutrition reviews*, 75(11), 871-882. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux043>
- Santos-Antonio, G., Bravo-Rebatta, F., Velarde-Delgado, P., y Aramburu, A. (2019). Efectos del etiquetado nutricional frontal de alimentos y bebidas: sinopsis de revisiones sistemáticas. *Revista panamericana de salud pública= Pan American journal of public health*, 43, e62. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2019.62>
- Sebastian-Ponce, M. I., Sanz-Valero, J., y Wanden-Berghe, C. (2014). Información percibida por los consumidores a través del etiquetado sobre las grasas presentes en los alimentos: revisión sistemática [Information perceived by consumers through food labeling on fats: a systematic review]. *Nutricion hospitalaria*, 31(1), 129-142. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8396>
- Secretaría de Economía. (2020). Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1- 2010 (NOM-051) (Vol. 4).

- Secretaría de Salud. (2022). Etiquetado frontal de alimentos y bebidas. Hablemos de salud. Recuperado de: <https://www.gob.mx/promosalud/acciones-y-programas/etiquetado-de-alimentos>
- Stern, D., Tolentino, L., y Barquera, S. (2011). Revisión del etiquetado frontal: análisis de las Guías Diarias de Alimentación (GDA) y su comprensión por estudiantes de nutrición en México. Instituto Nacional de Salud Pública, 53, 37.
- Thow, A. M., Jones, A., Hawkes, C., Ali, I., y Labonté, R. (2018). Nutrition labelling is a trade policy issue: lessons from an analysis of specific trade concerns at the World Trade Organization. *Health Promotion International*, 33(4), 561-571. <https://doi.org/10.1093/heapro/daw109>
- Trejo-Osti, Luis Eduardo, Ramírez-Moreno, Esther, & Ruvalcaba-Ledezma, Jesús Carlos. (2021). Efecto del etiquetado frontal de advertencia de alimentos y bebidas. La experiencia de otros países de América Latina. *Journal of Negative and No Positive Results*, 6(7), 977-990. Epub 18 de diciembre de 2023.

20. Políticas públicas integrales de discriminación social positiva en atención a la niñez: ¿por qué y para qué en Sonora, México?



ANA ISABEL VALENZUELA QUINTANAR*

BERENICE OCHOA NOGALES**

ADRIÁN ISRAEL YÁÑEZ QUIJADA***

BEATRIZ OLIVIA CAMARENA GÓMEZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.20>

Resumen

El propósito de este capítulo es describir el inicio, desarrollo y proceso de consolidación de los estudios realizados en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo para abordar la vulnerabilidad socio ambiental, caracterizada por la presencia de agrotóxicos y carencias sociales que afrontan las infancias que residen en localidades agrícolas del estado de Sonora. Se presenta una trayectoria de más de 15 años de investigaciones que han develado una panorámica compleja para la niñez de la entidad y que justifiquen la necesidad de impulsar políticas públicas integrales de discriminación social positiva para generar escenarios alternativos plausibles para las infancias de Sonora que residen en contextos rurales de alta vocación agrícola. Sin duda, reforzar esta línea de investigación permitirá valorar los avances regionales en el segundo objetivo prioritario del Programa Nacional de Protección de Niñas, Niños y Adolescentes 2021-2024 y contribuir al diseño de programas de intervención comunitaria que, acorde con las particularidades

* Doctora en Farmacia. Profesora-investigadora Titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7114-1933>

** Doctora en Desarrollo Regional. Profesora-investigadora de Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1912-0702>

*** Doctor en Desarrollo Regional. Profesor titular en Universidad Pedagógica Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4685-6683>

**** Doctora en Medio Ambiente, Sociología y Comunicación. Profesora Investigadora Titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7417-6012> ; correspondencia: betica@ciad.mx

de cada contexto socioambiental, permitan “garantizar, precisamente, el pleno ejercicio, respeto, protección y promoción de los derechos humanos relacionados con el desarrollo, que incluye el acceso a la educación, vivienda digna, entornos de bienestar y medio ambiente saludable, de todas las niñas, niños y adolescentes” (DOF, 31-12-21).

Palabras clave: *infancias, justicia ambiental, agrotóxicos, vulnerabilidad social.*

Introducción

Este documento presenta un resumen del inicio y el desarrollo de una línea de investigación emergente en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., centrada en estudiar contextos agrícolas de vulnerabilidad socioambiental caracterizados por la presencia de agrotóxicos y carencias sociales con el propósito de mostrar sus posibles afectaciones en grupos de población infantil. Se presenta una trayectoria de más de 15 años de investigaciones realizadas en esta línea en el CIAD, A.C., las cuales han develado una panorámica compleja para la niñez que reside en localidades rurales con alta vocación agrícola y justifican reforzar este tipo de estudios desde una perspectiva transdisciplinar y longitudinal, así como la necesidad de diseñar e impulsar políticas públicas integrales de discriminación social positiva en atención a la niñez mexicana.

Contexto ambiental y social de localidades rurales con prácticas agrícolas intensivas en Sonora, México

Es conocido que los sistemas de producción intensivos, o bien, de monocultivos, han afectado los ecosistemas naturales, ya sea por alterar su capacidad en la regulación del clima, en la fertilidad del suelo y/o en el control de enfermedades transmitidas por vectores (Hernández et al., 2017). Aproximadamente el 80% de los 1,500 millones de hectáreas de las tierras cultivables en el mundo son dedicadas a monocultivos (Nicholls et al., 2015) y en México, ocupa el 70%, esto es, 20.8 millones de hectáreas (INEGI, 2020). Esta

forma de producir representa la agricultura moderna, de riego y con uso intensivo de agua, tecnificada, con una visión industrial, rentable, comercial y generadora de divisas. Con base en la llamada Revolución Verde, se pretendía acabar con el hambre en el mundo, objetivo aún lejano de alcanzar (Arquinzones, 2022). Para obtener altos rendimientos en la producción de cultivos y satisfacer las demandas del mercado de alimentos y de biocombustibles, se utiliza maquinaria pesada, agrotóxicos (fertilizantes, herbicidas, fungicidas, plaguicidas organoclorados, plaguicidas organofosforados, piretroides, entre otros); prácticas que contribuyen a la degradación de los suelos, a la pérdida de biodiversidad y atentan contra la seguridad alimentaria. De ahí la preocupación por los efectos de los agrotóxicos en el ambiente y en la salud humana, lo cual deriva en el llamado a producir alimentos inocuos, asequibles y sostenibles (Rozas, 2021).

En Sonora, México, el sistema de producción agrícola convencional trajo beneficios económicos importantes al elevarse la producción de cultivos como el trigo, algodón, ajonjolí, cártamo, maíz, frijol, garbanzo, cebada, sorgo, alfalfa, papa, cítricos, entre otros; cultivos que dejaron de ser rentables al reorientarse la política económica al mercado exterior y aumentar, además, el precio de los insumos, tanto por la creciente escasez del agua y el mayor uso de agrotóxicos, como por la demanda internacional de otro tipo de cultivos, condiciones que propiciaron la reconversión de cultivos a frutas y hortalizas en Sonora. El hecho es que tal reconversión de cultivos mantuvo el uso de sustancias químicas de diversas familias de moléculas, diseñadas para “persistir” desde un corto tiempo hasta 20 años o más, las cuales tienen diferentes grados de toxicidad, así como una persistencia y capacidad de acumulación (en el aire, agua y suelo) y son, por ende, potenciales contaminantes de lagos, ríos y mantos freáticos, que pueden integrarse a las cadenas alimentarias (de Garbino, 2004; Arroyo y Fernández, 2013; Leal et al., 2014).

Los primeros estudios realizados para probar la presencia de agrotóxicos en distintas localidades y poblaciones de Sonora fueron hechos a través de matrices ambientales, de alimentos y biológicas. Aldana-Madrid et al. (2008a) reportaron la presencia de plaguicidas en granos almacenados de maíz, frijol, garbanzo y trigo: malatión y paratión (nd- 25 ± 15 ng/g); p, p'-DDT, p, p'-DDE, y p, p'-DDD (nd- 12 ± 3 ng/g), deltametrina y cipermetrina (nd- 366 ± 253 ng/g). Solo la cipermetrina estuvo por arriba de los

límites máximos permitidos (CICOPLAFEST 1998; FAO/WHO 1999). En el estudio de Aldana-Madrid et al. (2008b) se encontraron residuos de plaguicidas en nopales frescos: diazinón ($\text{nd- } 132 \pm 22.3 \text{ ng/g}$), malatión ($\text{nd- } 14 \pm 1.0 \text{ ng/g}$), clorpirifos ($\text{nd- } 17.0 \pm 3 \text{ ng/g}$) y paratión metílico ($\text{nd- } 60 \pm 20 \text{ ng/g}$). Por otro lado, en otro estudio de Aldana-Madrid et al. (2011) se analizaron piretroides (cialotrina, ciflutrina, cipermetrina, fenvalerato y deltametrina) en vegetales. El 9% ($n = 345$) de las muestras tuvo presencia de piretroides de ($4\text{-}573 \text{ ng/g}$).

En el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Valenzuela et al. (2008) analizaron muestras de hortalizas, provenientes de Guaymas y la región de Pesqueira, Sonora, y encontraron residuos de malatión ($0.08 \mu\text{g/g}$) y paratión ($0.06 \mu\text{g/g}$) en tomate; también, hubo presencia de *p, p'*-DDE (diclorodifenildicloroetileno) en chile verde y tomate ($0.41\text{-}2.02 \text{ ng/g}$ y $1.82\text{-}2.58 \text{ ng/g}$, respectivamente), mientras que en el chile Caribe se encontraron residuos de endrín ($0.18\text{-}0.76 \text{ ng/g}$). Para avanzar en esta línea de investigación, se planteó, posteriormente, identificar la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en 69 campos en las principales zonas agrícolas del norte, centro y sur de Sonora, en el marco de un proyecto financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental de CONACYT (Valenzuela et al., 2015). Los resultados de tal proyecto mostraron concentraciones desde no detectables (nd) hasta 448 ng/g , con mayor incidencia del *p, p'*-DDE, seguido de *p, p'*-DDT, *p, p'*-DDD (diclorodifenildicloroetano), endosulfán, γ -clordano, α -clordano, Heptacloro-epóxido, aldrín, endrín, isodrín (Leal et al., 2014).

Esos hallazgos evidenciaron la necesidad de indagar en el conocimiento y la percepción de las poblaciones residentes en las localidades cercanas a campos agrícolas sobre el potencial riesgo de la presencia de plaguicidas. Se contó, entonces, con financiamiento del CONACYT (k0001-2013-01) en el marco del proyecto “Estrategia de Comunicación para la prevención de Riesgos por Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) en grupos vulnerables de comunidades rurales con alta vocación agrícola”. Se realizaron estudios descriptivos con base en encuestas, cuyos resultados refieren el bajo conocimiento que tiene la población en estudio (jornaleros agrícolas y sus familias) de la acción y de los riesgos a la salud ocasionados por la exposición a plaguicidas (Silveira et al., 2016). También se evaluó la percepción de

riesgo y se encontró que las poblaciones no tomaban precauciones ante la presencia de plaguicidas; se resaltó la falta de programas educativos que afrontaron tales brechas de información para mitigar los impactos ambientales a la salud y la necesidad de impulsar proyectos de alcance longitudinal, multi y transdisciplinar (Camarena-Gómez et al., 2014; Silveira et al., 2016).

Un estudio de matrices ambientales más reciente realizado en CIAD por García-Hernández et al. (2021) tomó muestras de suelos agrícolas en el valle del Yaqui y las analizaron mediante extracción acelerada con disolventes y su posterior cuantificación por cromatografía de gases con detectores selectivos. Se encontró la presencia de plaguicidas organoclorados, organofosforados y piretroides con concentraciones superiores a los niveles de acción establecidos por la guía canadiense de calidad del suelo, y se recomendó una evaluación de riesgos de seguimiento para valorar los efectos potenciales.

Incorporación de modelos ambientales: el EJA (enfoque de justicia ambiental) como primer acercamiento multidisciplinario

Hasta ahora, los estudios realizados en CIAD en relación con los plaguicidas habían priorizado el enfoque toxicológico, pues el objetivo prioritario había sido identificar la presencia de tales contaminantes en distintas matrices ambientales. Los resultados mostraron la presencia de residuos tóxicos en varios tipos de matrices y, a la vez, la complejidad de la problemática socioambiental asociada al uso de tales contaminantes. Se reconoce, por tanto, la necesidad de incorporar otras aproximaciones conceptuales a los estudios, siendo una de ellas el EJA. Este enfoque emerge en el campo de la investigación científica contemporánea para abordar las complejas intersecciones entre la degradación ambiental y las desigualdades sociales (Eskenazi et al., 1999; Brulle y Pellow, 2006; Mohai et al., 2009, EJJ, 2021). Esta perspectiva teórica, y los estudios empíricos asociados, ponen de manifiesto la relación directa e indirecta entre la exposición a riesgos ambientales y la posición socioeconómica de las comunidades, por ejemplo, la mayor exposición de los pueblos originarios y de las poblaciones en desventaja social a la contaminación y a otros peligros ambientales (Landrigan et al., 2010).

El citado EJA se incorpora, entonces, a un proyecto del CIAD que aborda la problemática socio-ambiental relacionada con la presencia de agrotóxicos (Ochoa, 2018). Se trata de un estudio cuantitativo, de alcance relacional y comparativo, basado en un muestreo representativo por conglomerados, con base en los resultados obtenidos a través de un cuestionario, un test psicológico y la metodología de USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) para la Evaluación del Riesgo en Salud por ingesta potencial de plaguicidas organoclorados (POCs), presentes en el suelo superficial agrícola. Su población objetivo fueron niñas y niños de 6 a 14 años, distribuidos en trece localidades rurales con presencia potencial de agrotóxicos y una localidad urbana distante de campos agrícolas como “grupo de referencia o de menor exposición”. Los resultados mostraron (con base en el índice de riesgo) que existió un mayor potencial de exposición a agrotóxicos en las localidades agrícolas ubicadas en la zona sur del Estado de Sonora; que la vulnerabilidad por exposición presentó diferencias significativas dependiendo del género, más acentuada en Etchojoa, Hermosillo y Guaymas; la prevalencia de condiciones socioeconómicas adversas en todas las localidades consideradas en el estudio, siendo estas más intensas en grupos de pueblos originarios; enfermedades recurrentes similares, sin diferencias significativas por tipo de localidad, área geográfica, ni condición de género u origen; y en desarrollo cognitivo, los indicadores más bajos se presentaron en el grupo de población rural, más acentuado en Los Pocitos y en la región sur de Sonora (Ochoa et al., 2018).

El estudio de poblaciones infantiles vulnerables y la problemática ambiental

Uno de los estudios pioneros en Sonora que abordó la problemática ambiental y los posibles impactos en poblaciones infantiles fue el de Gillette et al. (1998), cuyas muestras fueron comunidades del Valle del Yaqui que habían sido expuestas a plaguicidas. Los hallazgos indicaron problemas de motricidad y alteraciones en el desarrollo cognitivo.

Posteriormente, Meza et al. (2013) evaluaron la exposición a diferentes plaguicidas organoclorados en niños yaqui y mayo de Sonora para generar

niveles basales poblacionales de estos agrotóxicos. Se realizó un estudio transversal en 165 niños (de 6 a 12 años) de 10 comunidades de ambos valles durante 2009. Se analizaron muestras de sangre y orina. El 100% de las muestras analizadas de sangre tenían niveles detectables de p, p' -DDE que oscilan entre 0.25 y 10.3 ng/ml. Sin embargo, el lindano, el p, p' -DDT, el aldrín y el endosulfán se detectaron en un porcentaje mucho menor al de la población (36, 24, 9 y 3%, respectivamente).

Como se describe en el apartado previo, el estudio de Ochoa (2018), además de evaluar aspectos socioeconómicos de la población expuesta a agrotóxicos, incorporó también el funcionamiento cognitivo de la población infantil, utilizando como primera aproximación a tal variable la prueba de matrices progresivas de Raven. Se identificó que la población infantil residente en localidades agrícolas con presencia de plaguicidas presentaba un coeficiente intelectual menor que sus contrapartes en localidades urbanas. Entre las limitaciones que reconoce este estudio están el haber obviado el impacto que otras variables de tipo socio-cultural pudieran generar en los resultados obtenidos y uno de los instrumentos aplicados.

Así, otra investigación que se realizó como continuación del estudio previo (Yáñez et al., 2020), adiciona a la línea de investigación modelos de vulnerabilidad social, la amenaza ambiental y baterías psicométricas de mayor alcance o precisión respecto a la edición del funcionamiento cognitivo. Su objetivo fue evaluar la vulnerabilidad social con el desempeño cognitivo en grupos de población infantil que viven en contextos de amenaza ambiental. El diseño del estudio fue no experimental, de correlación-comparativo y se llevó a cabo en dos fases.

Participaron niños de seis a doce años, residentes en Hermosillo, Sonora, México ($n = 432$), 88% en localidades agrícolas y el 11.8% restante en un contexto urbano. En la primera fase participaron 184 sujetos y en la segunda 248 sujetos. Se utilizaron indicadores del Índice de Vulnerabilidad Social, la prueba de AMAI (Asociación Mexicana de Agencias de Inteligencia de Mercado y Opinión), la escala de matrices progresivas y la prueba WISC IV (Escala de Inteligencia Wechsler para niños-IV). Se observó una correlación negativa entre la vulnerabilidad social en contextos de amenaza y el desempeño cognitivo ($r = -0.437$) y se identificaron dos conglomerados, el denominado “Mayor Vulnerabilidad Social” ($n = 115$) y el nombrado “Menor

Vulnerabilidad Social” ($n = 41$). El estudio concluyó con la necesidad de integrar variables biofísicas y sociales al análisis del desempeño cognitivo de los infantes.

Política nacional de atención a la niñez, planteamientos aplicables a la población infantil residente en contextos rurales, agrícolas

Los resultados de los estudios hasta aquí referidos permiten afirmar que, en Sonora, la población infantil que vive en escenarios rurales con uso histórico o actual de prácticas agrícolas intensivas, desde antes de su nacimiento se enfrentará a amenazas ambientales propiciadas, primero, por la exposición de su madre a contaminantes ambientales y, después, por una serie de carencias asociadas con los ingresos y escolaridad de sus padres, una infraestructura deficiente y la escasez de servicios públicos en las localidades y viviendas rurales (salud, educación, energía, agua, drenaje, etc.). Ese conjunto de condiciones afectará a todos los habitantes, especialmente a la población infantil, por ser más vulnerable al contexto de la amenaza ambiental por presencia de agrotóxicos.

Yañez (2020) refiere precisamente una asociación negativa entre la vulnerabilidad social y el funcionamiento cognitivo de los niños residentes en el medio rural. Esto último, al igual que un cociente intelectual cercano al límite, representa un riesgo en el desarrollo de los individuos porque trunca su crecimiento potencial, situación que coadyuva a reproducir el ciclo de enfermedades ambientales (WHO, 2002), así como el llamado círculo perverso de la pobreza (Mergler, 2012). Desde la perspectiva del enfoque de justicia ambiental, las afectaciones que enfrentan los niños y las niñas que residen en localidades rurales, agrícolas, en Sonora, revela que los perjuicios ambientales afectan más a la población en situación de mayor desventaja social. Atender tal problemática exige atender los factores asociados a la precariedad social (pobreza, bajo nivel escolar de los padres, infraestructura deficiente en localidad, servicios de salud y educación escasos, desconocimiento de problemática asociada a agrotóxicos y pocas o nulas prácticas de prevención y cuidado en el trabajo y hogar, entre otros).

En esa línea, al revisar los servicios de atención a la primera infancia que se ofrecen en México, se reconoce que, si bien existen múltiples modalidades de atención para el desarrollo infantil temprano, se carece de instancias que articulen de manera sistemática los procesos y los esfuerzos que realizan las instituciones y las dependencias involucradas. Incluso, la mayoría de ellas no elabora reportes ni manuales con estándares de calidad para asegurar el desarrollo integral de los niños y niñas (Mexicanos primero, 2019; Sotomayor, Carranza y Ruiz, 2024). Por tanto, se exhorta a impulsar la articulación de esos procesos y esfuerzos a nivel intra e inter-institucional en atención a la niñez. El reto implica diseñar una política de atención a la niñez que no obvие las causas estructurales de la pobreza, la polaridad y la marginación social que reproducen las desigualdades sociales; que se adopte un enfoque integral para atender la salud, la alimentación y la educación de la niñez y la familia rural; que se exija y/o sancione a las empresas que utilizan y fomentan prácticas nocivas para el medio ambiente y la sociedad; en suma, una política que articule los procesos y esfuerzos realizados por distintos actores e instituciones en atención a la niñez mexicana.

Un avance en ese sentido ha sido la Agenda de la infancia y la adolescencia 2019-2024 de la Unicef-México con el propósito de consolidar el Sistema Nacional de Protección Integral de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes (SIPINNA), instancia que aprobó la creación de una Política Integral de Primera Infancia. Actualmente, México cuenta con una Estrategia Nacional de Atención a la Primera Infancia (ENAPI) e instrumentos para orientar su aplicación práctica (Caja de Herramientas para la Implementación Territorial de la Ruta Integral de Atenciones). La estrategia reconoce que su efectividad descansa en un trabajo intersectorial que, desde la perspectiva de los derechos, articule el desarrollo de planes, programas y acciones para la atención integral que debe asegurarse para cada niño y niña del país, de acuerdo con su edad, contexto y condición. Para lograrlo, plantea cinco estrategias de política integral: (1) invertir sostenidamente y diseñar estrategias intersectoriales; (2) enriquecer las prácticas de crianza de las familias; (3) fortalecer los servicios clave de atención, optimizando los mecanismos y el personal ya existentes; (4) contar con un sistema de medición y rendición de cuentas; y (5) usar la evidencia para corregir e innovar.

En cuanto al título de este trabajo: “Políticas Públicas integrales de discriminación social positiva en atención a la niñez: ¿por qué y para qué en Sonora, México?, la respuesta al porqué está en esos datos del contexto ambiental y en las condiciones de precariedad social que prevalecen en las localidades agrícolas de Sonora. La respuesta a la segunda interrogante, el para qué, nos lleva a considerar la necesidad de atender las desigualdades estructurales que detonan las afectaciones ambientales de manera diferenciada (por género, grupo de edad, origen étnico, lugar de residencia) para aplicar el criterio de discriminación social positiva en atención a los grupos de población en mayor desventaja social que tienden a ser más afectados por la exposición a agrotóxicos. Queda pendiente analizar cómo está operando esta estrategia nacional, particularmente en Sonora, pues una problemática tan compleja requiere una ruta metodológica clara que permita hacerla operativa en cada territorio. Nuestra tarea es y será coadyuvar para llevarla a esos escenarios rurales en los que vive la población infantil de Sonora.

Reflexiones finales

Los estudios realizados en Sonora referidos en este documento permitieron identificar matices diferenciados de precariedad social y amenaza ambiental de acuerdo al tipo de localidad (rural o urbana), región agrícola (norte, centro y sur) y su pertenencia (o no) a un grupo indígena. Se evidencia que las condiciones ambientales y sociales en localidades rurales de Sonora que han hecho un uso de prácticas agrícolas intensivas (histórico o actual) impactan negativamente el desarrollo de la población infantil residente en tales sitios. Se ha confirmado que el entorno en el que se desenvuelven los niños que residen en localidades rurales, con uso histórico o actual de prácticas agrícolas intensivas, se caracteriza por condiciones de vulnerabilidad social. Esta vulnerabilidad en entornos de amenaza ambiental tiende a potenciar el riesgo de salud por exposición a agrotóxicos, ya que las condiciones sociales son un factor determinante en dicha relación.

Los resultados de los estudios, a pesar de sus limitaciones, justifican la necesidad de atender con políticas integrales de discriminación social positiva a la población infantil que vive en contextos de precariedad social en

localidades rurales de Sonora, donde hay un uso actual o histórico de prácticas agrícolas intensivas. México, al parecer, pretende avanzar en esa vía. El Sistema Nacional de Protección Integral de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes (SIPINNA) así lo plantea, al igual que la reciente Estrategia Nacional de Atención a la Primera Infancia (ENAPI) y la Caja de Herramientas para la Implementación Territorial de la Ruta Integral de Atenciones (RIA).

Agradecimientos

Al CONAHCYT por el financiamiento otorgado a los proyectos citados al inicio de este documento.

Referencias

- Aldana-Madrid, M. L., Valdez-Hurtado, S., Vargas-Valdez, N. D., Salazar-Lopez, N. J., Silveira-Gramont, M. I., Loarca-Piña, F. G. y Burgos-Hernández, A. (2008a). Insecticide residues in stored grains in Sonora, Mexico: quantification and toxicity testing. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 93-96
- Aldana-Madrid, M. L., del Carmen García-Moraga, M., Rodríguez-Olibarria, G., Silveira-Gramont, M. I. y Valenzuela-Quintanar, A. I. (2008b). Determinación de insecticidas organofosforados en nopal fresco y deshidratado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2), 133-133.
- Aldana-Madrid, M. L., Valenzuela-Quintanar, A. I., Silveira-Gramont, M. I., Rodríguez-Olibarria, G., Grajeda-Cota, P., Zuno-Florian, F. G., y Miller, M. G. (2011). Residual pyrethroids in fresh horticultural products in Sonora, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87, 436- 439.
- Arquinzones Amaro, N. (2022). Cambiar el mundo, aumentar los alimentos. La Revolución Verde y su impacto en América Latina. Universidad Jaime I. <http://hdl.handle.net/10234/200395>
- Arroyo, H. A., y Fernández, M. C. (2013). Tóxicos ambientales y su efecto sobre el neurodesarrollo. *Medicina (Buenos Aires)*, 73(Supl. 1), 93-102.
- Brulle, R. J., y Pellow, D. N. (2006). Environmental justice: Human health and environmental inequalities. *Annual Review of Public Health*, 27(1), 103-124.
- Camarena-Gómez B., Ochoa-Nogales B., Valenzuela-Quintana A. (2014). —Comunicación y percepción del riesgo por compuestos orgánicos persistentes en jornaleros agrícolas de Sonora, México—. *Polis Vol. 39: 2-19. Revista Latinoamericana*. ISSN electrónico 0718-6568. <http://polis.revues.org/10504>

- De Garbino, J. P. (2004). Exposición a Plaguicidas y Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) en la Infancia: Cómo, cuándo ¿y dónde? ¿Cuáles son las consecuencias? Organización Mundial de la Salud. 1211 Ginebra 27, Suiza. https://www.rapaluruaguay.org/sitio_1/agrotoxicos/COPs/PestPopsChildren.pdf
- Environmental Justice Foundation, EJF. (2021). Environmental Justice Foundation Homepage. <https://ejfoundation.org/>
- Eskenazi, B., Bradman, y A. Castorina, R. (1999). Exposures of children to organophosphate pesticides and their potential adverse health effects. *Environ. Health Perspect.*, 107 (Suppl 3), pp. S409-S419.
- García-Hernández, J., Leyva-Morales, J. B., Bastidas-Bastidas, P. J., Leyva-García, G. N., Valdez-Torres, J. B., Aguilar-Zarate, G., Betancourt-Lozano, M. (2021). A comparison of pesticide residues in soils from two highly technified agricultural valleys in north-western Mexico. *J Environ Sci Health B*. 56(6):548-565. doi: 10.1080/03601234.2021.1918977. Epub 2021 May 17. PMID: 33999759.
- Guillette, E. A, Meza, M. M., Aguilar, M. G., Soto, A. D., y Garcia, I. E. (1998). An anthropological approach to the evaluation of pre-school children exposed to pesticides in Mexico. *Environ. Health Perspect* 106(6):347-353. <https://doi.org/10.1289%2Fehp.98106347>
- Hernández, M. Y., Macario, P. A., y López-Martínez, J. O. (2017). Traditional agroforestry systems and food supply under the food sovereignty approach. *Ethnobiology Letters*, 8(1), 125-141.
- INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda 2020.
- Landrigan, P., Rauh, V.A., y Gálvez. M.P. (2010) Environmental justice and the health of children. *Mount Sinai J. Med.*, 77, pp. 178-187.
- Leal Soto, S. D., Valenzuela Quintanar, A. I., Gutiérrez Coronado, M. D. L., Bermúdez Almada, M. D. C., García Hernández, J., Aldana Madrid, M. L., y Valenzuela Navarro, C. P. (2014). Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas. *Terra latino-americana*, 32(1), 1-11.
- Mergler, D. (2012). Neurotoxic exposures and effects: gender and sex matter. Hanninen Lecture 2011. *Neurotoxicology*, 33(4), pp. 644-51. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22664101> [Accessed January 28, 2013].
- Meza, M. M., Valenzuela, A. I., Balderas, J. J., Yañez, L., Gutiérrez, M. L., Cuevas A., y Gandolfi, A. J. (2013). Exposure assessment of organochlorine pesticides, arsenic, and lead in children from the major agricultural areas in Sonora, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 64: 519-527.
- Mexicanos Primero. (2019). México: Primer Informe de Progreso de Políticas de Primera Infancia. Diálogo Interamericano. https://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2019/08/Mexico-Indesign_FINAL.pdf
- Mohai, P. Lantz, P. Morenoff, J. y House J. (2009). Racial and socioeconomic disparities in residential proximity to polluting industrial facilities: evidence from the American's changing lives study. *Am. J. Public Health*, 99 (Suppl 3), pp. S649-S656.
- Nicholls, C. I., M. A. Altieri, A. Henao, R. Montalba, y E. Talavera. (2015). Agroecología y el Diseño de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático. REDAGRES and SOCLA, Lima, Perú.

- Ochoa, B., Camarena, B., Valenzuela, A., y Silveira, M. (2018). Condiciones socioeconómicas y de salud de grupos de población infantil que residen en localidades rurales de Sonora, México. *Estudios Sociales*, 28(51),
- Ochoa, B. (2018). Población infantil vulnerable en contextos socio-ambientales rurales con presencia de agroquímicos. [Tesis de Doctorado no publicada. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora, México].
- Rozas, F. M. E. (2021). De los plaguicidas en infantes. *Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina, RAP-AL*.
- Silveira, M. I., Aldana, L., Valenzuela, A., Ochoa, C., Jasa, G. y Camarena, B. (2016). Necesidades educacionales sobre riesgo de plaguicidas en el contexto socio-ambiental de las comunidades agrícolas de Sonora. *Nova scientia*, 8(16), 371-401.
- Sotomayor, A., Carranza, K. y Ruiz, F. (2024). México: Segundo Informe de progreso de políticas de primera infancia. *Pacto por la Primera Infancia y Mexicanos Primero. Diálogo Interamericano*.
- Valenzuela, A. I., Camarena, B. O., Gutiérrez, M. L., Grajeda, P., Silveira, M. I., Aldana, M. L., Meza, M. M., y García, J. (2015). Desarrollo de una metodología que permita llevar a cabo el inventario, caracterización y verificación de sitios potencialmente contaminados con compuestos orgánicos persistentes en las principales zonas agrícolas del estado de Sonora. *Informe Técnico Final-CONACYT*.
- Valenzuela, A. I., Ortega, M. I., Ballesteros, M. N., Gutiérrez, M. L., Grajeda P., Cabrera, R. M., Saucedo, S., y Contreras, A. (2008). Evaluación directa a plaguicidas de jornaleros agrícolas e indirecta por consumo de agua y alimentos y su impacto en la expresión del síndrome metabólico. *Informe Técnico Final- CONACYT*
- WHO. (2002). World Health International. <https://www.who.int/publications/i/item/9241562072>
- Yañez, Q., A., Camarena, G., B., y Morales, V., R. (2020). Evaluación de tareas cognitivas de infantes en vulnerabilidad socioambiental utilizando una versión corta del WISC-IV. *Revista de Psicología y Ciencias del Comportamiento de la Unidad Académica de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 11 (1), 34.

Sobre los autores

Abril Valdez, Elba

Doctora en Ciencias y Humanidades para el Desarrollo Interdisciplinario por la Universidad Autónoma de Coahuila y el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestra en Salud Pública por el Instituto Nacional de Salud Pública y Licenciada en Psicología por la Universidad de Sonora. Desde 1994 labora en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., y ha participado en la autoría de publicaciones científicas. Su línea de investigación son el desarrollo humano y vulnerabilidad social en temáticas de género, salud sexual, comportamientos de riesgo y juventud. Publicaciones recientes: *Factores sociodemográficos asociados a la compra de alimentos con sellos de advertencia en población mexicana* (2025); *Escalas de prácticas de inclusión hacia las personas trans en Instituciones de Educación Superior: validación y adaptación en Sonora México* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9233-1197>

Aguilar Rendón, Karla Guadalupe

Maestra en Ciencias con especialidad en Acuacultura por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), subsede Mazatlán, Sin., México. Posee una licenciatura en Ingeniería Bioquímica con especialidad en ambiental por el Instituto Tecnológico de Mazatlán. Actualmente se encuentra laborando en industrias del sector privado, no obstante, ha participado en varias investigaciones durante el tiempo que laboró en CIAD como responsable Técnico del Laboratorio

de Bacteriología-Bioensayos. Dentro de sus participaciones se encuentra, principalmente, el estudio y desarrollo de enfermedades infecciosas en camarones y peces de cultivo, así como el diagnóstico bacteriológico y molecular de estos patógenos. Recientemente participó como coautora en los artículos científicos: *Phage cocktail against Vibrio parahaemolyticus causing acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Penaeus vannamei: genomic, biological, and pathological characterization* (2025). *Time-dependent post-mortem histomorphological changes in Penaeus vannamei following humane euthanasia* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4688-4657>

SCOPUS: 57211311913

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Karla-Aguilar-Rendon>

Alemán Mateo, Heliodoro

Doctorado en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), A. C. Licenciado en Nutrición, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Investigador Titular “C” (ITC). Coordinación de Nutrición. CIAD. Miembro activo e ininterrumpido del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) desde el 2001. Actualmente SNII Nivel II. Área de Interés: nutrición geriátrica, gasto y requerimientos energéticos, validación de diferentes metodologías para evaluar la grasa corporal y la masa muscular en las extremidades. Asimismo, ha diseñado diversos modelos predictivos para estimar el gasto energético total y la masa grasa, así como la masa muscular en condiciones de envejecimiento y obesidad. Las alteraciones del estado de nutrición, particularmente el riesgo de desnutrición. Recientemente reportó la asociación causal del riesgo de desnutrición con el desarrollo de la sarcopenia. Dentro de las publicaciones más recientes se encuentran las siguientes: *Prevalence of overweight and obesity and determinants associated with BMI Z-scores in Indigenous Yaqui school children from Sonora: a representative survey* (2025). *Predictive equation derived from 6 497 doubly labelled water measurements enables the detection of erroneous self-reported energy intake* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1582-2475>

SCOPUS: 6603318293

Asiáin Hoyos, Alberto

Doctor en Filosofía por el Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling, Escocia. (2009). Obtuvo la maestría en Biología Marina en el Cinvestav-IPN, Yucatán (1991). Y es egresado como ingeniero Pesquero en Acuicultura del Instituto Tecnológico del Mar, Veracruz (1987). En la actualidad es Profesor Investigador Titular en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México. Es Investigador Nacional nivel 1. Socio fundador y expresidente de Acuacultores Veracruzanos A.C. (AVAC). Miembro fundador de Red Tilapia México. Miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Acuicultura. Algunas de sus publicaciones más recientes son los siguientes artículos: *Exposure of rainbow trout farming territory and livelihoods to potential effects of global warming in Veracruz, Mexico.* (2024); *Current status of the global production chain of giant river prawn (Macrobrachium rosenbergii)* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8520-6734>

Báez-Flores, María-Elena

Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, (CIAD, A. C., Unidad Hermosillo), obtuvo su maestría en el CIAD, A. C., Unidad Culiacán. Cursó su licenciatura en la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) donde, desde el 2010 a la fecha, se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo adscrita a la Unidad de Investigaciones en Salud Pública “Dra. Kaethe Willms” de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la UAS. Se ha desempeñado como coordinadora de posgrado y actualmente es profesora del área de microbiología, donde es titular de las materias de micología y virología, así como de microbiología molecular, impartiendo clases en licenciatura y posgrado. La Dra. Báez-Flores pertenece a la Asociación Americana de Microbiología (ASM) y es integrante de las redes: Red Nacional de Atención al Sector Agroalimentario (RASA), Nodo Noroeste de la Red-RASA y Antimicrobial Resistance Insights (AMRInsights, The Netherlands). Sus principales líneas de investigación son: genómica microbiana, resistencia a antimicrobianos, microbiología molecular, metagenómica y RNA-Seq. Miembro del SNII nivel 1 con distinción PRODEP. Sus publicaciones más recientes son: *Biosphere Plastic Contamination and Microbial Alternatives for a Sustainable Degradation of Plastic Waste* (2025) y *Genomic Profiling of Antibiotic-Resistant Escherichia coli Isolates from Surface Water of Agricul-*

tural Drainage in North-Western Mexico: Detection of the International High-Risk Lineages ST410 and ST617. 2022 (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1389-3568>

Beltrán-Barrientos, Lilia M.

Doctora en Ciencias (2017) y Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Licenciatura en Nutrición por la Universidad Autónoma de Querétaro (2011). Realizó dos estancias de investigación en el Tecnológico Nacional de México-ITV, con apoyo de las convocatorias de Estancias Posdoctorales Nacionales del CONACYT (2018-2019 y 2019-2020). Del 2020 al 2022 fue contratada como asistente de investigación en el CIAD. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I (2019-2025). Y, actualmente, se encuentra realizando una estancia de investigación en el CIAD con apoyo de la convocatoria de Estancias Posdoctorales de Investigadores por México (2022-a la fecha). Ha impartido 11 cursos, dos a nivel licenciatura y ha colaborado en 9 cursos a nivel posgrado. Ha dirigido una tesis de licenciatura y participado en 6 comités de Maestría y 2 de Doctorado en Ciencias. Actualmente forma parte de 1 comité de Maestría y 2 de Doctorado en Ciencias. Su obra global consiste en 32 artículos indizados JCR y cuatro capítulos de libro. En el ámbito de divulgación, ha presentado 3 conferencias, 12 trabajos en diferentes congresos internacionales, 2 foros académicos nacionales y 3 ferias de ciencia. Es miembro de la Red de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico en Alimentos Funcionales y Nutracéuticos del CONAHCYT y Red para el Fomento de la Calidad e Inocuidad en Queserías Artesanales en Iberoamérica CYTED. Sus líneas de investigación se han enfocado principalmente al estudio de alimentos tradicionales mexicanos que, además de nutrir, aportan beneficios adicionales a la salud. En particular, ha trabajado con alimentos orientados a coadyuvar en la reducción del riesgo de enfermedades crónicas de alta prevalencia, como las cardiovasculares y neurodegenerativas, entre otras. Además, su productividad científica ha contribuido de manera significativa al avance del conocimiento sobre alimentos funcionales, que es un campo estratégico para la salud pública y de gran relevancia frente a problemas nacionales prioritarios, así como la prevención de enfermedades crónicas y la promoción de una alimentación saludable, en congruencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la OMS y los objetivos de la Administración Pública Federal.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-6216>

SCOPUS: 57189456881

Bolaños Villar, Adriana Verónica

Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD, A. C.) y Licenciada en Químico Biólogo con especialidad en Tecnología de Alimentos por la Universidad de Sonora. Se desempeña como investigadora asociada en el CIAD, A. C., donde trabaja en la línea de investigación: nutrición y salud en diferentes etapas de la vida y en condiciones fisiológicas especiales, con un enfoque particular en la salud y nutrición materno-infantil. Recientemente publicó el artículo de revisión *Apoyo y protección del derecho a amamantar en mujeres que trabajan* (2024) y de investigación original *Effectiveness of printed infographics to promote breastfeeding in the Sonora population* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8603-1809>

SCOPUS: 7004426375

Borbón-Morales, Carlos Gabriel

Doctor en Ciencias Económicas (Universidad Autónoma de Baja California), Maestro en Ciencias Sociales con especialidad en Estudios Regionales (El Colegio de Sonora) y Licenciado en Economía con especialización en Política Económica (Universidad de Sonora). Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador Titular C en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A. C.) y también como profesor de asignatura en la Universidad de Sonora, donde imparte cursos en licenciatura y posgrado. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI, nivel 1) desde 2012, con trayectoria académica certificada por el CONAHCYT y una participación activa en el Sistema Nacional de Innovación de Investigadores (SNII). Forma parte de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Innovación (AMIDI, RENIECYT 2200092), donde es cofundador y curador de la biblioteca digital y editor en jefe de la revista internacional *Scientia et Praxis*. Ha colaborado en redes académicas con instituciones como IPN, CIBNOR, CIATEJ, CUCEA-UDG y la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador), además de fungir como consultor experto de FAO-ONU en cadenas agroalimentarias. Sus principales líneas de investigación abarcan redes de valor agropecuarias,

economía del comportamiento aplicado al desarrollo regional, innovación social con enfoque en retorno financiero-social de la inversión, análisis de mercados agrícolas, evaluación de políticas públicas en seguridad alimentaria y desarrollo sostenible de áreas naturales protegidas. Entre sus publicaciones más recientes destacan: *Educación universitaria en tiempos del COVID-19: Relación entre modalidad virtual y afrontamiento al riesgo de los estudiantes* (2024) y *Determinación de co-movimientos de los precios del tomate en Estados Unidos y variables macroeconómicas en México para 2023* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-3608>

Cabrera Ruiz, Rosina

Doctora en Ciencias y Maestra en Ciencias con énfasis en Bioquímica por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Es Ingeniera Bioquímica con especialidad en Ciencia y Tecnología de los Alimentos por el Instituto Tecnológico de Los Mochis. Actualmente, es Investigadora por México SECIHTI, adscrita a la Subsede Hidalgo del CIAD, localizado en el Distrito de Educación, Salud, Ciencia, Tecnología e Innovación de Hidalgo. La Doctora Cabrera es miembro de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS). La línea de investigación que desarrolla es bioquímica de proteínas e interacciones moleculares para el estudio de sistemas de comunicación celular involucrados en interacciones bacteria-patógeno y microorganismo-planta de sistemas agrícolas. Dentro de los artículos científicos más relevantes publicados recientemente se encuentran: *Proteomic and metabolomic analysis reveals that Amycolatopsis sp. BX17 synthesizes antifungal metabolites against Fusarium graminearum through the shikimate pathway* (2024) y *Proteomic analysis reveals the metabolic versatility of Amycolatopsis sp. BX17: A strain native from milpa agroecosystem soil* (2022).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9653-9806>

SCOPUS: 54416858900

Caire Juvera, Graciela

Es doctora en Ciencias por el CIAD, A. C. (2002), cuenta con una Maestría en Salud Pública en la Universidad de Arizona (2006) y licenciatura en Químico-Biólogo en Tecnología de Alimentos por la Universidad de Sonora (1991). Es Investigadora

Titular “C” en la Coordinación de Nutrición del CIAD, SNII nivel 2. Su trabajo lo realiza en los temas de epidemiología, estilo de vida, biomarcadores y salud mental en sobrevivientes de cáncer de mama y de próstata. Sus publicaciones más recientes son: *Association Between Interleukin 6 and C-Reactive Protein Serum Levels and Body Composition Compartments and Components in Breast Cancer Survivors* (2024). *Changes in Diet, Physical Activity, Alcohol Consumption, and Tobacco Use in Adults During the COVID-19 Pandemic: A Systematic Review* (2023); *Dietary patterns, cooking methods and breast cancer risk in Mexico: An exploratory case-control study* (2022).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1562-795X>

SCOPUS: 16506357300

correo electrónico: gcaire@ciad.mx

Calderón de la Barca, Ana María

Doctora en Ciencias de la vida, M.C. en Nutrición y Alimentos y Lic. Química. Es investigadora titular C del CIAD. SNII Nivel 2. Tiene membresía de Cereal and Grains Association y de la American Society of Nutrition. Red académica nacional: Microbioma Mx. Líneas de investigación: proteínas dietarias con efectos adversos en la salud y soluciones con alimentos de uso dietario especial, desarrollo de técnicas para la detección de respuesta inmune anómala, regímenes de lactancia, amamantamiento y factores asociados a salud infantil. Algunas de sus publicaciones son: *Heat-Modified Cornstarch by a Homemade Process with Glucose Extended-Release for Possible Dietary Treatment of Glycogen Storage Diseases* (2025). *Breastfeeding Shapes the Gut Microbiota and Its Structure Is Associated with Weight Gain Trajectories in Mexican Infants.* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6684-9320>

SCOPUS: 6601990830

Camarena Gómez, Beatriz Olivia

Doctora en Medio Ambiente, Sociología y Comunicación por la Universidad de Salamanca (España), Maestra en Metodología de la Ciencia por el Instituto Politécnico Nacional (México), y Licenciada en Economía por la Universidad de Sonora. Actualmente es titular de la Coordinación de Programas Académicos del

CIAD, A. C., y participa en el Programa de Estudios Ambientales y Socioculturales del Desarrollo en la Coordinación de Desarrollo Regional del mismo centro. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Forma parte del grupo de Contaminantes Químicos del CIAD, así como de la Red Nacional de Toxicología y del Laboratorio Nacional de Toxicología y Socioambiental recientemente reconocido por la SECIHTI. Sus principales líneas de investigación son: educación y comunicación ambiental y desarrollo infantil en entornos de vulnerabilidad socio ambiental. Es autora por correspondencia de *El contexto social y la ecociudadanía como factores condicionantes de las prácticas de consumo sustentable* (2023) y participó en la coordinación del libro *Educación Ambiental en el siglo XXI: del trayecto de construcción a imperiosa necesidad* (2020).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7417-6012>

Carrasco Escalante, José Crisóforo

Doctor en Ciencias, con especialidad en Desarrollo Regional, por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Obtuvo la Maestría en Mercadotecnia y Negocios Internacionales en la Universidad Autónoma de Durango y la Licenciatura en Comercio Internacional en la Universidad Autónoma de Sinaloa. Se desempeña como Profesor e investigador de tiempo completo titular C en la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde es profesor con perfil PRODEP. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores a Investigadoras de la SECIHTI (nivel candidato). Sus líneas de investigación se ubican en el área de la gestión tecnológica organizacional y el desarrollo regional. Destacan entre sus publicaciones más recientes su participación como autor principal en el artículo “*Shrimp aquaculture, absorption capacity and competitiveness: an analysis based on the case of Ahome, Mexico*” (2024) y autor por correspondencia del artículo *Conocimiento y actitud emprendedora en estudiantes económico-administrativos* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9979-4079>

Córdova Moreno, María Alejandra

Maestra en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., y Licenciada en Psicología Clínica por la Universidad de Sonora. Durante trece años se desempeñó como psicóloga de las y los estudiantes de los

programas de posgrado del CIAD en la Coordinación de Programas Académicos. Actualmente es asistente de investigación de la Coordinación de Desarrollo Regional del mismo Centro, donde colabora en proyectos y estudios sobre desarrollo humano y vulnerabilidad social. Asimismo, cursa el Doctorado en Investigación Interdisciplinaria con Orientación en Estudios Sociales en la Universidad Autónoma de Coahuila. Coautora de los artículos: *Rol de género y percepción de bienestar y felicidad en universitarios del noroeste de México* (2022), *Identidad y violencia de género en parejas de jóvenes universitarios del Norte de México* (2021).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3625-1437>

Cubillas Rodríguez, María José

Doctora en Ciencias y Humanidades para el Desarrollo Interdisciplinario (Universidad Autónoma de Coahuila, UAdeC-UNAM). Cuenta con una maestría en Educación (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey) y Licenciatura en Psicología (Universidad de Sonora). Su área de investigación son los estudios del desarrollo humano y vulnerabilidad social con énfasis en educación, salud, violencia y género. Actualmente es profesora investigadora del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., adscrita al Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras nivel I. Publicaciones recientes: *Autoridad pedagógica y estereotipos de género en la práctica docente universitaria* (2025). *Centralidad del trabajo e identidad laboral de mujeres profesionistas jóvenes de Sonora, México* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9188-9938>

Delgadillo Tiburcio, María Soledad

Doctor Honoris Causa por el Colegio de Postgraduados México. Licenciada en Biología de la Universidad Veracruzana. Diplomado en Acuacultura por la Auburn University (Alabama). Operador de plantas de tratamiento de agua potable y de aguas negras Grado II Imperial Valley College California. Certificado como maestro vocacional UCSD. En la actualidad es consultora independiente: jefe de acuacultura y pesca en Veracruz y colaboradora en investigación en el Colegio de Postgraduados. Trabajos realizados en la granja de bagre De Jumpert y Reid, en Wilmot, AR. Estados Unidos. Hatchery manager of the Experimental research station at

UA, Pine Bluff, Arkansas. Hatchery & water quality at Pacific Aqua farms, Niland, CA. Manager of California Desert Fish farm, Niland, CA. Capacitación y extensio- nismo acuícola para PESA/FAO en México. Directora de la granja acuícola Sanagro S.A. de C.V., Hermosillo, Sonora. Directora de empresa de tilapia como: Agroindus- trias Pargo SPR de RL; Tecnopez SPR de RL; Acuícola Campo Viejo SPR de RL; Cultivos Virgen, Soc. Cooperativa. Actualmente es miembro fundador de la red tilapia México, LNC RTM. Autor y coautor de publicaciones como *el ABC del em- prendedor acuícola rural* (2025) y *el ABC de la reproducción y reversión sexual de la tilapia para productores rurales* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2371-6813>

SCOPUS: 6506073837

Domínguez Ibáñez, Sandra Elvia

Doctora en Ciencias y Humanidades para el Desarrollo Interdisciplinario en la Universidad Autónoma de Coahuila y el Centro de Investigaciones Interdisciplina- rias en Ciencia y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestra en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C y Licenciada en Psicología por la Universidad de Sonora. Actual- mente es investigadora asociada y docente del Centro de Investigación en Alimenta- ción y Desarrollo, A.C., en el cual labora desde 1988. Adscrita en 2025 al Sistema Nacional de Investigadoras/es, nivel I. Colabora en la línea de investigación de desarrollo humano y vulnerabilidad social. Ha contribuido en la autoría de publi- caciones científicas sobre el desarrollo del niño, educación, salud, género y conduc- ta alimentaria. Publicaciones recientes: *Conductas de riesgo alimentario, percepción corporal e índice de masa corporal en universitarios del Noroeste de México* (2025); *Análisis y reflexiones sobre normatividad del CIAD para prevenir, atender y sancionar las violencias de género en las IES* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3402-0969>

Esparza Romero, Julián

Doctorado en Epidemiología en el Departamento de Epidemiología y Bioesta- dística del Colegio de Salud Pública de la Universidad de Arizona. Es Maestro en Ciencias en Nutrición por el Centro de Investigación en Alimentación y Des-

arrollo (CIAD) y Químico-Biólogo por la Universidad de Sonora. Actualmente es Profesor-Investigador titular responsable de la Unidad de Investigación en Obesidad y Diabetes en la Coordinación de Nutrición del CIAD. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras nivel II y presidente del Colegio de Profesionales en Salud Pública de Sonora. El trabajo del Dr. Esparza se ha enfocado en el estudio de la epidemiología de la diabetes tipo 2, la obesidad y otros factores de riesgo cardiovasculares, así como sus determinantes en adultos indígenas de Sonora. En escolares y preescolares indígenas su trabajo se ha enfocado en el estudio del estado de nutrición e inseguridad alimentaria, así como de sus determinantes. Otro enfoque de su trabajo es la evaluación de programas de prevención en obesidad y diabetes, con énfasis en la promoción de estilos de vida saludables. Publicaciones recientes: *Prevalence of overweight and obesity and determinants associated with BMI Z-Scores in Indigenous Yaqui Schoolchildren from Sonora: A Representative Survey* (2025). *Effectiveness of a lifestyle change program on insulin resistance in Yaqui indigenous of Sonora, Mexico: PREVISY*. (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9748-2031>

SCOPUS: 6507598594

Espinosa-Plascencia, Angélica

Maestra en Ciencia de los Alimentos y Nutrición por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Obtuvo la Licenciatura en Biología en la Universidad de Guadalajara. Se ha desempeñado como investigadora asociada en el área de Toxicología de Alimentos y Ecotoxicología por más de 20 años, adscrita al Laboratorio de Análisis Biológicos, Coordinación de Ciencia de los Alimentos, del CIAD, A. C. Trabaja en proyectos relacionados con la evaluación de antibióticos en sistemas acuícolas y la evaluación de aflatoxinas en productos cárnicos. Actualmente es investigadora asociada en el Laboratorio de Proteómica del CIAD, participando en proyectos relacionados con el análisis e identificación de proteínas en muestras vegetales y animales. Recientemente ha publicado los artículos: *Las aflatoxinas, un tóxico que continúa presente en los alimentos y sus efectos biológicos en los humanos y en los animales* (2023) y *Aprovechamiento agroecológico y alimentario del mezquite: Una revisión* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2971-5774>

Flores-Méndez, Lizeth C.

Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Obtuvo la Maestría en Ciencias y Licenciatura en Biotecnología en la Universidad Politécnica de Sinaloa. En la actualidad es docente e integrante del grupo de investigación del Laboratorio de Investigación Biomédica y Biotecnológica de la Universidad Autónoma de Occidente UR Mazatlán, donde realiza investigaciones sobre metabolismo y biomarcadores de estrés en la salud de organismos. También es miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos de la Organization for Women in Science for the Developing World y, recientemente, ingresó al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII). Sus publicaciones recientes incluyen: *The effect of agavin on the intestinal antioxidant response and its relationship to gut microbiota and plasma cortisol in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) subjected to overcrowding stress. Integrative RNA-Seq analysis of host-parasite interactions* y *Microbiota shifts in the gills of two fish species infected with monogeneans*.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5235-5880>

Gallegos Aguilar, Ana Cristina

Maestra en Ciencias en nutrición del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C y Licenciada en Químico Biólogo con especialidad en Análisis Clínicos por la Universidad de Sonora. A lo largo de su trayectoria profesional ha trabajado con grupos vulnerables tanto con adultos mayores, adultos, así como con adolescentes y escolares en el diagnóstico clínico y seguimiento en los diferentes programas de intervención con estos grupos de población. Su experiencia en el trabajo comunitario con población indígena data desde el desarrollo de su tesis de Licenciatura sobre la prevalencia de la diabetes tipo 2 y enfermedades crónico-degenerativas en la etnia pima del estado de Sonora y, posteriormente, su tesis de posgrado referente a factores de riesgo asociados a la diabetes y enfermedades cardiovasculares en adultos residentes de Hermosillo, Sonora. Asimismo, ha participado en varios programas de intervención educativo en seris y yaquis, que tuvieron como objetivo la promoción de cambios en el estilo de vida para lograr la reducción de factores de riesgo como el sobrepeso/obesidad, marcadores lipídicos, glucosa, insulina y factores de inflamación en adultos con riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 y, recientemente, en niños. Dichos programas tuvieron muy buen recibimiento en las etnias y obtuvieron resultados alentadores. Publicaciones re-

cientes: *Prevalence of Overweight and Obesity and Determinants Associated with BMI Z-Scores in Indigenous Yaqui Schoolchildren from Sonora: A Representative Survey* (2025). *Diagnosis of Nutritional Status, Dyslipidemia and Associated Risk Factors among Yaqui Indigenous School Age Children* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1909-0627>

Gallo-Reynoso, Juan Pablo

Doctor en Biología por la Universidad de California, Santa Cruz. Obtuvo su maestría en Zoología y la Licenciatura en Biología en la Universidad Autónoma de México. Es investigador titular C del CIAD subsele Guaymas. Realiza investigaciones sobre ecología de poblaciones, ecofisiología de los mamíferos marinos acuáticos y aves marinas, especialmente en las relaciones entre la adaptación, la fisiología, la ecología y el comportamiento. Participa en proyectos con la Universidad de California Santa Cruz, con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, con organizaciones de la sociedad civil y otras instituciones académicas.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-6037>

SCOPUS: 55989774000

Gamboa-Alvarado, José Guadalupe

Doctor en Ciencia de la Carne (Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia). Tiene una maestría en Producción Animal en área mayor de Ciencia de la Carne (Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia) y la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna). En la actualidad es Profesor-Investigador titular B en la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, Oaxaca. Las principales líneas de investigación son producción, calidad e inocuidad de carne y leche y sus derivados. Recientemente se publicó el artículo: *caracterización molecular de Staphylococcus aureus SARM en quesos frescos artesanales del mercado de Puerto Escondido* (2024) y el capítulo del libro: *la caprinocultura como identidad, cultura y patrimonio alimentario en Huajuapán de León: un análisis sobre el potencial económico y su impacto en el desarrollo económico local* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2673-5980>

García Hernández, Jaqueline

Doctora en Ciencias. Profesora-investigadora titular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, CIAD, donde se desempeña desde el año 2001. Sus estudios profesionales los realizó en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Campus Guaymas y sus estudios de posgrado los realizó en la Universidad de Arizona en el departamento de Agua, Suelos y Ciencias Ambientales. Sus líneas de investigación son las ciencias ambientales, con especialidades en calidad del agua, ecotoxicología, salud en aves, humedales de tratamiento y compostaje. Ha dirigido proyectos de investigación en colaboración con instituciones, organizaciones de la sociedad civil y comunidades.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5251-0526>

Academia: <https://independent.academia.edu/JaquelineGarc%C3%ADaHern%C3%A1ndez>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=786jGg-sAAAAJ&hl=en>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Jaqueline-Garcia-Hernandez>

García Rico, Leticia

Doctora en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora. Obtuvo la maestría con especialidad en Nutrición y Alimentos en el Centro de Investigación y Desarrollo, A.C. (CIAD) y la Licenciatura en Química por la Universidad Autónoma de Baja California. Realizó una estancia de investigación en el Laboratorio de Contaminación Metálica del Instituto de Agroquímicos y Tecnología de Alimentos, Valencia, España. Desde 1990 labora como investigadora en CIAD, donde realiza investigaciones sobre seguridad alimentaria con énfasis en los riesgos a la salud humana y ecológicos. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel II) y del grupo de investigación: Contaminantes Metálicos, Alimentos, Ambiente y Salud.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1618-2238>

Gardea-Béjar, Alfonso

Doctor en Ciencias por la Universidad de Oregon. Obtuvo su maestría en Ciencias en esta misma universidad y su Licenciatura en Fruticultura por la Universidad

Autónoma de Chihuahua. Es investigador titular C del CIAD subsede Guaymas. Sus líneas de investigación son el manejo protegido y el control de cultivos, la conservación de recursos naturales, las respuestas fisiológicas a tratamientos en productos hortofrutícolas y el estudio postcosecha de productos hortofrutícolas. Realiza proyectos de innovación rural con pequeños productores agrícolas y ganaderos, colabora con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en proyectos de conservación de especies, así como colaboraciones con instituciones académicas y el sector social.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6842-2678>

González-Córdova, Aarón Fernando

Doctor en Ciencias en Alimentos (2011) por el Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Veracruz (TecNM-ITV), Maestro en Ciencias con especialidad en Nutrición y Alimentos (1999) por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Ingeniero Bioquímico Administrador (1996) por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Campus Guaymas y Técnico en Alimentos (1992) por el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 43. Es profesor investigador titular adscrito al Laboratorio de Química y Biotecnología de Productos Lácteos y de Calidad, Autenticidad y Trazabilidad de los Alimentos en la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal del CIAD (2000 a la fecha), en donde ha desarrollado investigación en química y biotecnología de productos lácteos, alimentos funcionales fermentados y calidad, autenticidad y trazabilidad de los alimentos. Desde hace más de 20 años trabaja apoyando a las pequeñas productoras y productores de quesos artesanales en México, promoviendo la quesería artesanal, tanto en México como en el extranjero. Su obra global incluye 160 artículos indizados JCR publicados con 4,964 citas a la obra (excluyendo autocitas) e índice $h = 38$, tres libros editados por editoriales de reconocido prestigio internacional, 15 capítulos en libros y 11 patentes otorgadas; así como múltiples actividades de divulgación de la ciencia, tecnología e innovación. En el rubro de formación de recursos humanos, ha dirigido las tesis cinco Doctores y Doctoras en Ciencias, 23 Maestros y Maestras en Ciencias y de 21 estudiantes de Licenciatura. Actualmente dirige las tesis de tres estudiantes de doctorado y uno de maestría. Desde 2015 es coordinador de la Red de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico en Alimentos Funcio-

nales y Nutracéuticos (Red AlFaNutra) que, a través de la conjunción de esfuerzos colaborativos entre más de 18 instituciones pública de educación superior y de centros de investigación, promueve una alimentación saludable y funcional, sobre todo, a través de la revalorización de los alimentos tradicionales de las dietas ancestrales y la disminución de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Desde 2022 es coordinador de la Red para el Fomento de la Calidad e Inocuidad en Queserías Artesanales en Iberoamérica (QuesArte Iberoamérica) del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Cyted). En 2021, a partir de la declaratoria de la FAO para conmemorar el Día Internacional de Concienciación sobre la Pérdida y el Desperdicio de Alimentos, organizó “Las Crónicas del Desperdicio” como un medio para coadyuvar la concienciación sobre el impacto que causan las pérdidas y el desperdicio de los alimentos. Es Investigador Nacional del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SINII) desde 2009, actualmente Nivel 3 (2025-2029). Desde junio de 2016 a la fecha, es titular de la Coordinación de Vinculación del CIAD de la cual se desprende la Oficina de Transferencia de Tecnología (OTT) y el Centro de Patentamiento (CePat), entre otras iniciativas que se encargan del quehacer institucional de la vinculación, la gestión tecnológica y el impulso a la innovación.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0674-4217>

SCOPUS: 6603013016

González-Mendoza, Víctor Manuel

Doctor en Ciencias en la especialidad de Biotecnología de Plantas en la UGA-Cinvestav-IPN, campus Guanajuato. Es ingeniero Bioquímico de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FCQB-UAS). Actualmente, es Investigador por México SECIHTI, comisionado al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), en su subsede en Hidalgo. Es parte del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, nivel SNII-I. Dentro de sus líneas de investigación se encuentran: la interacción planta-microorganismo y su papel en aliviar el estrés biótico y/o abiótico; la genómica comparativa de microorganismos adaptados a ambientes extremos y el metabolismo secundario en respuesta al estrés ambiental. Sus publicaciones más relevantes son: *Phospholipases C and D and their role in biotic and abiotic stresses* (2021); *Phospholipid signaling*

pathway in Capsicum chinense suspension cells as a key response to consortium infection (2021).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0082-9954>

SCOPUS: 55584945000

Granados-Nevárez, María del Carmen

Química Bióloga con especialidad en Tecnología de Alimentos en la Universidad de Sonora (México). Se desempeña como técnico titular C en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo desde hace 32 años, periodo en el cual ha apoyado en proyectos de investigación y en la formación de recursos humanos en licenciatura y posgrado. Actualmente, trabaja en el área de Ciencia y Tecnología de Cereales. Ha colaborado como coautor de las siguientes publicaciones: *Análisis de imagen aplicada a propiedades morfológicas en galletas de trigo y avena* (2025); *Phenolic Acids, Antioxidant Capacity, and Estimated Glycemic Index of Cookies Added with Brewer's Spent Grain* (2020).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-3608>

Guimond-Ramos, Juan Carlos

Doctor y Maestro en Desarrollo Regional del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Egresado de la Licenciatura en Psicología por parte de la Universidad Autónoma de Guadalajara, Campus Tabasco. Actualmente consultor en Intenova, Innovación y Desarrollo. Sus principales líneas de investigación son: especialista en estudios socioeconómicos orientados al gasto y consumo en alimentos, análisis de autoeficacia, asociatividad y redes sociales en el sector social y agroindustrial. Experiencia de 12 años en proyectos sociales centrados en productos y empresas agroindustriales. Publicaciones recientes: *Innovación para una alimentación saludable: el etiquetado frontal herramienta de cambio conductual en Jalisco, México* (2025); *Revisión sistematizada de la aplicación de políticas destinadas a la reducción del consumo de alimentos con alto contenido energético del 2013-2023* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2143-4089>

Heredia-Sandoval, Nina Gisella

Doctora en Ciencias en el área de tecnología de alimentos por el CIAD. Realizó la Maestría en Ciencias en Nutrición y Alimentos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Es Licenciada en Químico-Biólogo con especialidad en Tecnología de los Alimentos por la Universidad de Sonora. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel I. Actualmente es investigadora posdoctoral por México en el Laboratorio de Tecnología de Cereales del CIAD, con el proyecto titulado “Elaboración de análogos de carne a partir de granos extruidos: evaluación de propiedades mecánicas, fisicoquímicas y sensoriales”. Sus publicaciones recientes son: *Orange Cookies with Type-4 Resistant Starch: Physical, Nutritional, and Sensorial Characteristics as Evaluated by Patients with Irritable Bowel Syndrome* (2024); *Image analysis applied to morphological properties in wheat and oat cookies* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-9082>

SCOPUS: 56297569400

Hernández González, Crisantema

Doctora en Ciencias Marinas (Cinvestav-IPN Unidad Mérida). Obtuvo la maestría en Acuicultura y la Licenciatura en Biología pesquera en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Actualmente es coordinadora académica del CIAD Subsele Mazatlán, investigadora titular D, nivel III del Sistema Nacional de Investigadores y miembro de la Academia Mexicana de las Ciencias. Su investigación se ha centrado en el cultivo de organismos acuáticos (peces y camarones), así como el desarrollo de alimentos y requerimientos nutricionales de especies nuevas de peces marinos, y la revalorización de subproductos agroindustriales y pesqueros para la obtención de compuestos bioactivos para el desarrollo de alimentos funcionales para acuicultura. Ha sido responsable de más de 13 proyectos multidisciplinarios con fondos mixtos de la SECYT bajo un modelo pentahélice y con incidencia social destacada. Imparte consultorías a empresas nacionales e internacionales I+D+i. Autora de tres patentes de alimentos de especies de peces de importancia comercial. Miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Acuicultura y del Laboratorio Nacional Red tilapia México, de las redes temáticas ALFA-NUTRA y PDA 12.3 Valorización de residuos y reducción de pérdidas y desperdicios. Miembro del Consejo Asesor Científico Técnico de la Secretaría de Pesca

y acuacultura y de la Red de Divulgadores de Ciencia y Tecnología de CONFIE del Estado de Sinaloa. Fue galardonada con el premio al mérito científico “Dr. César Abelino Ordorica Falomir” 2024 de Sinaloa. Sus publicaciones de 2025 son: *The effect of agavin on the intestinal antioxidant response and its relationship to gut microbiota and plasma cortisol in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) subject to overcrowding stress. Effects of fermented and unfermented soybean meals on growth, body composition, and digestive enzymes in juvenile white snook (Centropomus viridis)*.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8912-3354>

Hernández Mendoza, Adrián

Doctorado en Ciencias de los Alimentos en el Instituto Tecnológico de Veracruz. Estudios de Maestría en Ingeniería Bioquímica y Químico Farmacéutico Biólogo por parte de la Universidad Veracruz, campus Xalapa. Es graduado del Programa de Desarrollo y Sustentabilidad para el Ecosistema de Innovación en Sonora por la Universidad de Harvard. Además, ha realizado diversas estancias de investigación en la Universidad de Wisconsin-Madison, Estados Unidos, y cuenta con un entrenamiento Posdoctoral en el Instituto de Tecnología Química y Biológica de la Universidad Nova de Lisboa, Portugal. Su obra global acumulada incluye: 1 libro, 22 capítulos de libro y 131 artículos publicados en revistas internacionales indizadas en el JCR del ISI. Ha acumulado un total de 5110 citas, con un índice h 39 en la base de datos SCOPUS. Ha participado en la formación de más de 90 estudiantes entre licenciatura, maestría y doctorado, y en la impartición de cursos en programas de maestría y doctorado. Ha impartido más de 45 seminarios y conferencias plenarias por invitación y ha contribuido con más de 100 comunicaciones en congresos nacionales e internacionales. Se desempeña como Profesor-Investigador titular “C” en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo-Unidad Hermosillo, y actualmente es miembro regular de la Academia Mexicana de las Ciencias y Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores. Es miembro cofundador de la Red Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico en Alimentos Funcionales y Nutracéuticos (AlfaNutra) y participante en la Red CYTED para el Fomento de la Calidad e Inocuidad en Queserías Artesanales en Iberoamérica (QuesArte).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2360-7484>

SCOPUS: 56013544800

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?user=iq7yC80AAAA-J&hl=es>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Adrian-Hernandez-Mendoza>

Huerta-Ocampo, José Ángel

Doctor en Ciencias en Biología Molecular (Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.). Obtuvo la Maestría en Biología Molecular en el IPICYT, A.C. y la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo en la Universidad Autónoma de Nayarit. Ha trabajado en laboratorios clínicos como responsable del Departamento de Biología Molecular y analista en los departamentos de Inmunología, Química Clínica, entre otros. De septiembre de 2014 a mayo de 2023 se desempeñó como investigador CONACYT-CIAD, A. C. en el Laboratorio de Bioquímica de Proteínas y Glicanos (Hermosillo, Sonora). De junio de 2023 a la fecha es investigador titular del Laboratorio de Proteómica en la Coordinación de Ciencia de los Alimentos del CIAD, A. C., donde aplica la electroforesis bidimensional y la espectrometría de masas como herramientas para la investigación en temas relacionados con alimentación y salud, entre otros. Fue presidente de la Sociedad Mexicana de Proteómica A.C. (2022-2025), de la que es miembro desde 2009. Miembro de la American Society for Mass Spectrometry (desde 2014). Miembro de la Human Proteome Organization (desde 2018). Miembro del Human Proteome Organization Council (2023-2025). Ha sido galardonado con la Medalla Nayarit a la Investigación Científica y Tecnológica en el Área de Tecnologías y Ciencias Médicas. Es profesor y tutor de licenciatura y posgrado, miembro del comité editorial de revistas científicas nacionales e internacionales y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel 2. Sus líneas de investigación se enfocan en el estudio de plantas, microalgas y probióticos sometidos a condiciones de estrés; la evaluación del potencial tóxico y biotecnológico de venenos, así como la identificación de proteínas alergénicas en pólenes del desierto. Entre sus publicaciones más recientes se encuentran: *Proteomic analysis of Neobenedenia sp. and Rhabdosynochus viridisi (Monogenea, Monopisthocotylea): Insights into potential vaccine targets and diagnostic markers for finfish aquaculture* (2024). *Proteomic*

insights into cell signaling and stress response mechanisms in Chaetoceros muelleri under nitrogen limitation (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4505-841X>

SCOPUS: 35098879600

Islas-Rubio, Alma Rosa

Doctora en Ciencia y Tecnología de los Alimentos por la Universidad de Texas A&M (USA). Obtuvo su maestría en Ingeniería Agrícola en Texas A&M y la Licenciatura en Ingeniería Química en la Universidad de Sonora. Se desempeñó como coordinadora de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal en el CIAD, A. C. en el periodo 2013-2021. Actualmente es investigadora titular “C” del CIAD, donde realiza investigaciones sobre el procesamiento de granos y el desarrollo de nuevos productos alimenticios con calidad nutricional y sensorial aceptables. Además, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel II y del Comité Técnico del International Association of Cereal Science and Technology (ICC), Austria. Las publicaciones recientes incluyen: *Production of an extract with β -1,4-xylanase activity by *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* on a sonicated brewer's spent grain substrate* (2025). *Orange cookies with type-4 resistant starch: physical, nutritional and sensorial characteristics as evaluated by patients with irritable bowel syndrome* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-4065>

SCOPUS: 12140834400

Jara Marini, Martín Enrique

Doctor en Ciencias por la UNAM-ICMyL. Cuenta con una Maestría en Ciencias en el CIAD, A. C., y una Licenciatura en Ingeniería Química por parte de la Universidad de Sonora. Actualmente es investigador titular en el CIAD, A. C. Pertenece al SNII nivel 2. Realiza investigaciones sobre ecotoxicología, de manera particular en las líneas de investigación de ecotoxicología de metales y metaloides, dinámica de metales y metaloides en los ecosistemas, impactos y riesgos de los metales y metaloides en los ecosistemas. Dentro de sus publicaciones más recientes están: *Influencia del uso de utensilios de barro vidriado en la cantidad de plomo en alimentos, agua y sangre en poblaciones del río Sonora e identificación de otros factores de in-*

toxicación (2025). 2025. *Metal concentration in tilapia (*Oreochromis niloticus*) and largemouth bass (*Micropterus salmoides*) and the associated consumption risk for populations around two dams in northwestern Mexico* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-6416>

León Balderrama, Jorge Inés

Doctor en Ciencias Sociales por la Universidad Autónoma de Sinaloa. Obtuvo la Maestría en Ciencias Sociales en El Colegio de Sonora y la Licenciatura en Economía en la Universidad de Sonora. Es Profesor-Investigador Titular C en la Coordinación de Desarrollo Regional del CIAD, A. C., cuenta con distinción SNII (Nivel 1), y es miembro de la RIDIT y la AMIT. Sus líneas de investigación incluyen innovación en sistemas agroalimentarios, sistemas regionales de innovación, impactos locales del turismo y adopción de nuevas tecnologías. Entre sus publicaciones más recientes destacan: *El impacto de los influencers digitales en la mercadotecnia del bacanora* (2025) y *Shrimp aquaculture, absorption capacity and competitiveness: an analysis based on the case of Ahome, Mexico* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5550-6162>

SCOPUS: 57192427636

Lizárraga-Velázquez, Cynthia Esmeralda

Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, CIAD, A. C. Coordinación Mazatlán. Maestra en Ciencias en el Instituto Tecnológico de Tepic e Ingeniero Bioquímico en Alimentos Marinos en el Instituto Tecnológico de Mazatlán. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel I. Actualmente, se desempeña como Profesor-Investigador en el Instituto Tecnológico de Mazatlán, es miembro de la Red temática 12.3 para reducir y valorizar las pérdidas y el desperdicio de alimentos: hacia sistemas alimentarios sostenibles y de La Sociedad Mexicana de Acuicultura. Sus áreas de investigación son: 1) el estudio del estrés oxidativo en peces, 2) la caracterización de los mecanismos antioxidantes de compuestos bioactivos de residuos vegetales y pesqueros, 3) el desarrollo de alimentos para el incremento de la producción de peces 4) el desarrollo de alimentos funcionales para humanos. Entre sus publicaciones más recientes están: *Bioactive Compounds Extraction from Marine Animals*

by *Biotechnology Process* (2025) y *Bioactive Compounds Extraction from Other Marine Waste* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7228-7536>

López Teros, Miriam Teresa

Doctora en Ciencias Médicas por la Universidad Nacional Autónoma de México, Maestra en Ciencias en Nutrición por el CIAD y Médica Cirujana por la Universidad de Sonora. Cuenta también con la especialidad en Administración Gerontológica (UNAM). Actualmente es investigadora en ciencias médicas en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán y profesora de la Maestría en Nutrición Clínica en la Universidad Anáhuac del Norte. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel I, así como del programa internacional Lown Scholars de la Universidad de Harvard. Forma parte de redes académicas en colaboración con instituciones de Estados Unidos y Latinoamérica como la Universidad de São Paulo y el Dartmouth College. Sus principales líneas de investigación incluyen la evaluación de la composición corporal y desarrollo de puntos de corte para sarcopenia y obesidad, el estudio de patrones dietarios asociados con desenlaces adversos, y la efectividad de intervenciones nutricionales en adultos mayores. Entre sus publicaciones más recientes se encuentran: *Disentangling the relationship between biological age and frailty in community-dwelling older Mexican adults* (2024) y *Assessment of the performance of the body mass index in diagnosing obesity in community-dwelling older adults in Latin American and Caribbean countries* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9486-005X>

Lozano Olvera, Rodolfo

Médico veterinario zootecnista por la Universidad Autónoma de Nayarit. Actualmente se ha desempeñado como técnico titular “C” en el Laboratorio de Diagnóstico de Histopatología y Análisis en Fresco en el Área de Servicio. Entre sus principales actividades se encuentra el estudio de procesos patológicos mediante el reconocimiento y descripción de cambios estructurales en tejidos u órganos de organismos acuáticos causados por enfermedades infecciosas y no infecciosas, mediante la revisión de preparaciones histopatológicas y/o montura húmeda. Recientemente publicó: *Time course of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHP-*

ND) in the Pacific white shrimp Penaeus vannamei by wet mount analysis (2024) y Time-dependent post-mortem histomorphological changes in Penaeus vannamei following humane euthanasia (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9650-1525>

SCOPUS: 24477919600

Lugo Sánchez, María Elena

Maestra en Ciencias (1993) por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Ingeniero Bioquímico (1988) en Tecnología de Alimentos por el Instituto Tecnológico de Culiacán. Es investigador asociado C del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Se ha desempeñado como profesora en colaboración de licenciatura y posgrado en la Universidad Estatal de Sonora y parte del grupo de Laboratorio Nacional de Tilapia México. Actualmente realiza investigaciones sobre química y bioquímica poscaptura, la calidad y tecnología de los productos pesqueros; el desarrollo de nuevos productos y uso de especies subutilizadas para el consumo humano; la recuperación de compuestos bioactivos de subproductos y desechos de origen acuícola. Publicaciones recientes como colaboradora: *Techno-Functional Properties of Mexican Cheese Whey Requesón Powder: Effects of Air-Convective Drying and Natural Gum Addition (2025). Properties of Gels Formed from Jumbo Squid (Dosidicus gigas) Mantle Muscle under Heat and Acid Treatment: Rheological and Calorimetric Analysis (2024).*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1472-5438>

Marrujo López, Francis Isela

Ingeniera Pesquera en Recursos Acuáticos por la Universidad Autónoma de Nayarit (México). Se ha desempeñado como técnico titular C en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, subsede Mazatlán en acuicultura y manejo ambiental en donde realiza diagnóstico de enfermedades bacterianas en organismos acuáticos. Su área de interés es bacteriología, diagnóstico molecular y patología. Su línea de aplicación del conocimiento es en patología de organismos acuáticos. Es instructor en prácticas de capacitación a estudiantes de todos los niveles, así como a productores de camarón y peces del sector privado. Es miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos y del Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México.

Recientemente participó como coautor en los artículos: *Pathogenic bacteria prevalence in cultured Nile tilapia in Southwest Mexico: A real-time PCR analysis* (2024). *Capsalid Monogeneans as a Potential Cause of Fish Disease: A Threat to Aquaculture* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4854-2739>

SCOPUS: 55352808300

Martínez Cordero, Francisco Javier

Doctor en Economía Agrícola y de Recursos Naturales por la Universidad de Hawaii, Manoa, en Estados Unidos de Norteamérica. Previamente obtuvo dos maestrías, la primera como Biólogo Marino en el Cinvestav-Mérida y la segunda en Administración de Recursos pesqueros y acuícolas por el Instituto de Acuacultura de Stirling, Escocia. Originalmente es Ingeniero Bioquímico por el ITESM-Guaymas. Con 40 años dedicados a la acuicultura, sus campos de especialidad son la bioeconomía acuícola, la planeación estratégica y el análisis de políticas públicas. Es profesor investigador titular C del CIAD Mazatlán, y consultor especialista para la FAO en políticas públicas y socioeconomía. En la actualidad se desempeña como director general de infraestructura de la CONAPESCA.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8520-6734>

Mazorra-Manzano, Miguel Ángel

Doctor en Ciencias de los Alimentos por la University of Guelph (Ontario, Canadá, 2007). Obtuvo su Maestría en Ciencias con especialidad en Nutrición y Alimentos por el CIAD (1995) y la Licenciatura de Químico-Biólogo con especialidad en Tecnología de Alimentos por la Universidad de Sonora (1991). Fungió como supervisor de procesamiento de productos lácteos (1991-1992) y como Profesor-Investigador de la Universidad del Mar donde fue responsable del Laboratorio de Alimentos (Puerto Ángel, Oaxaca, 1995-1997). Actualmente es investigador titular "C" del CIAD y se encuentra adscrito al Laboratorio de Biotecnología de Lácteos, Química y Autenticidad de Alimentos en la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA). Pertenece al SNII en el Nivel II y cuenta con 55 artículos publicados JCR (índice h=21) y 6 capítulos de libros. Sus investigaciones incluyen temáticas sobre funcionalidad y bioactividad de proteínas y péptidos, alimentos funcionales, caracterización y aplicaciones biotecnológicas de

enzimas proteolíticas, así como el aprovechamiento del lactosuero de queserías artesanales. Ha impartido cursos de química general, química orgánica, análisis de alimentos, química y bioquímica de alimentos y funcionalidad de ingredientes alimentarios. Pertenecer a las redes “Bioproductos y Bioprocesos” y “Alfanutra: Alimentos funcionales y Nutraceuticos”. Ha dirigido 12 tesis de licenciatura, 7 de maestría y participado en el comité de tesis de 15 estudiantes de maestría y 4 de doctorado y como investigador anfitrión de 27 estudiantes de “Verano científico” de los programas de la Academia Mexicana de las Ciencias (AMC), Delfín y Jaguar para promover las vocaciones científicas de jóvenes universitarios. Publicaciones recientes: *Techno-Functional Properties of Mexican Cheese Whey Requeson Powder: Effects of Air-Convective Drying and Natural Gum Addition* (2025). *Proteolytic, Milk-Clotting, and Stability Properties of Proteases from Solanum elaeagnifolium* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1425-4250>

SCOPUS: 6506846713

Mejía Trejo, Juan

Doctor en Ciencias Administrativas por la Escuela Superior de Comercio y Administración (ESCA) del Instituto Politécnico Nacional en 2010. Además, cursó la Maestría en Valuación de Negocios en Marcha en el Centro de Valores, S.C. (2018-2020), la Maestría en Administración de Empresas de Telecomunicaciones en el programa conjunto INTTELMEEX-France Telecom (2004) y es Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la ESIME del IPN (1987). Desde 2024 se desempeña como profesor investigador Titular C en el Departamento de Administración del Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA), Universidad de Guadalajara. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII/SECIHTI), nivel III. Es fundador y director de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Innovación (AMIDI) y coordina la Red de docentes e investigadores AMIDI, que integra especialistas de México, Latinoamérica y Europa. Sus principales líneas de investigación son la administración de la innovación, la innovación sostenible y el desarrollo regional, así como los modelos de innovación social y gestión del conocimiento. Entre sus publicaciones recientes destacan *Inteligencia Artificial y su repercusión en la educación superior* (2025) y *Diseño de indicadores de impacto social* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0558-1943>

Meléndez Torres, Juana María

Doctora en Ciencias con especialidad en Bioantropología y Salud por la Universidad de Granada (España). Obtuvo la maestría en Ciencias con especialidad en Nutrición y Alimentos en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. y es egresada del Instituto Tecnológico de Durango de Ingeniería Bioquímica en Alimentos. Se desempeña como profesora investigadora titular de la Coordinación de Desarrollo Regional del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel 1. Sus líneas de investigación están centradas en estudios sociales del sistema alimentario, modernidad alimentaria, salud y cultura, estudios socioculturales del cuerpo. Pertenece a la Asociación Latinoamericana y Mexicana de Antropología Biológica, Asociación Americana de Nutrición, Red Internacional de Investigación en Comportamiento Alimentario y Nutrición y forma parte del Seminario Crítico de la Alimentación. Recientemente publicó el capítulo de libro *Elementos que conforman una comida de calle: el caso de Hermosillo, Sonora (2024)* y el artículo *COVID prolongado en adultos del noroeste de México: prevalencia, sintomatología y factores asociados (2024)*.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2011-3294>

Academia: <https://ciad.academia.edu/JTorres>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?user=4NNufU-CAAAAJ&hl=es>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Juana-Melendez>

Monsiváis Neria, Yasser Enrique

Estudiante del Programa de Doctorado en Desarrollo Regional en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Obtuvo la Maestría en Administración de Empresas por la Universidad de Sonora y la Licenciatura en Administración de Empresas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Con una amplia trayectoria en el sector privado en gestión administrativa y de servicios, actualmente combina su investigación doctoral con la docencia universitaria. Su trabajo de tesis doctoral se centra en análisis las causas de la limitada difusión de las tecnologías acuícolas que pueden impulsar una acuicultura más sostenible entre los pequeños cultivadores de camarón del estado de Sonora.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5777-1121>

Morales-Amparano, Martha Beatriz

Doctora y Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (México), y obtuvo la Licenciatura en Químico Biólogo Clínico por la Universidad de Sonora (México). Actualmente se desempeña como ayudante de investigación en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., en los laboratorios de Proteómica y Bioquímica de Proteínas y Glicanos, donde colabora en investigaciones enfocadas en el uso de la proteómica para la caracterización de fuentes alergénicas en el noroeste del país, el estudio del estrés en probióticos, la caracterización de venenos de serpientes, y la aplicación de lectinas en el diagnóstico de cáncer. Recientemente publicó los artículos científicos: *Impact of Enolase in Allergic Disease* (2024); *Identification of Allergenic Proteins in Velvet Mesquite (Prosopis velutina) Pollen: An Immunoproteomics Approach* (2022).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-0986>

Navarro-Ibarra, María José

Doctora en Ciencias y Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), con especialidad en nutrición pública y salud. En la actualidad es profesora investigadora de tiempo completo y responsable del programa de maestría en Ciencias de la Nutrición de la Facultad de Medicina y Nutrición de la Universidad Autónoma de Baja California. Además, es profesora adjunta en la división de epidemiología de la Escuela de Salud Pública de la Universidad Estatal de San Diego (SDSU). Sus líneas de investigación se centran en la epidemiología nutricional y la nutrición traslacional. Es líder del cuerpo académico de Nutrición traslacional (UABC-CA-360) y co-líder del grupo binacional de investigación traslacional en cáncer (CANTRAC). Recientemente publicó los artículos: *Perspectivas de la investigación traslacional en nutrición* (2024), *Association Between Interleukin 6 and C-Reactive Protein Serum Levels and Body Composition Compartments and Components in Breast Cancer Survivors* (2024), y es coautora del capítulo del libro *Intervenciones en comportamiento alimentario en diferentes etapas de la vida: ¿Dónde estamos y hacia dónde debemos ir?* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8051-6928>

SCOPUS: 56716219400

Ochoa Nogales, Berenice

Posdoctorado en migración en el College of Health Solutions de la Arizona State University; es Doctora y Maestra en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), especialista en Desarrollo Sustentable y Licenciada en Ciencias de la Comunicación por la Universidad de Sonora. Actualmente colabora en la Coordinación de Programas Académicos del CIAD, A. C., en la organización y el seguimiento del programa de vinculación social. Sus principales líneas de investigación abarcan el estudio de ambiente y vulnerabilidad, migración interna y externa en la frontera Sonora-Arizona, así como la planeación e investigación educativa. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) como candidata y, entre sus publicaciones recientes destacan los capítulos de libro: *El pensamiento científico en preescolar: un estudio cualitativo de experiencias y percepciones* (en prensa, 2025) e *Inclusión educativa y social de pueblos indígenas en el nivel superior en México. Una revisión sistemática* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1912-0702>

Ortega Vélez, María Isabel

Doctora en Ciencias con especialidad en Nutrición Internacional por la Universidad de Cornell en Ithaca, Nueva York, Maestra en Ciencias en Nutrición y Alimentos por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., y Licenciada en Ciencias Químico-Biológicas por la Universidad de Sonora. Es Investigador Titular C en la Coordinación de Nutrición del CIAD, A. C. Miembro del SNII, nivel 2. Miembro de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición (SLAN) y de la Asociación Americana de Nutrición (ASN). Colabora en la red “Alimentación y daños a la salud” (ECOSUR, El Colson, INN, EUM, UNICACH), en la “Alianza binacional para contribuir a la salud comunitaria en la frontera México-Estados Unidos” (BATCH, en inglés) (UABC, SDSU, CIAD, Universidad de California-Merced) y en la Red Binacional de Comunidades Saludables (Universidad de Arizona, Universidad Estatal de Arizona, El Colson, El COLEF-Nogales, UNISON, SEHAEC (Southeast Arizona Health Education Center) y es integrante externa de la Comisión Evaluadora de El COLEF-Unidad Nogales. Sus líneas de investigación principales son: alimentación, nutrición, salud y ambiente. Sus publicaciones más recientes son: *Measured and perceived food environment influences on women's nutritional health in marginalized areas of north-*

ern Mexico: a structural equation modeling analysis (2025). *Estado nutricional de niños del noroeste de México antes y después de la pandemia por COVID 19* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3187-905X>

GOOGLE SCHOLAR: [https://scholar.google.com/citations?user=r_sMYFEAAA](https://scholar.google.com/citations?user=r_sMYFEAAA&hl=es)

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Isbel-Ortega>

Pacheco Aguilar, Ramón

Doctorado en Ciencias (1989) por la Universidad Estatal de Oregon (EEUU), Maestro en Ciencias (1986) y Químico por la Universidad de Sonora (1977). Miembro fundador del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) como Centro Público de Investigación del CONACYT en 1982 y su director general en el periodo 2007-2012. Investigador emérito del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) CVU 7868, profesor-investigador emérito de CIAD, profesor honorario por la Universidad de Sonora y miembro de la Academia Mexicana de las Ciencias. Experto de FAO en calidad y procesamiento de productos pesqueros, coordinador ejecutivo de tecnología de la Red Panamericana de Inocuidad, control de calidad y tecnología de productos pesqueros y acuicultura (Infopesca) y miembro profesional del Institute of Food Technologists. Representante de México ante el Codex Alimentarius e invitado a la American Chemical Society. Miembro del consejo internacional de asesores del proyecto Biosphere 2 de la Universidad de Arizona (2008-2010) y presidente del Pacific Fisheries Technologist Group (1993-1994). Ha impartido cursos y conferencias en Universidades y Centros de Investigación en España, Brasil, Chile, Ecuador, Perú, Argentina, Uruguay, Venezuela, Colombia y EEUU. Participó en redes internacionales (Cyted) para la elaboración y conducción de proyectos multinacionales. Colabora como evaluador de proyectos de universidades sudamericanas (Uruguay, Chile, Brasil), y de artículos sometidos a publicación en revistas científicas indizadas. Ha sido consultor de empresas estadounidenses en diseño y elaboración de nuevos productos. Trabajó en esquemas de vinculación y apropiación social del conocimiento con una visión innovadora de impacto y valor. Participa activamente en la formación de recursos humanos, con especial interés en la formación de doctores en ciencias. Sus áreas de investigación: 1) bioquímica posmortem, calidad y tecnología de productos pesqueros 2) recuperación de compuestos bioactivos de subproduc-

tos y desechos de la industria alimentaria 3) enzimas y biotecnología. Es autor y coautor de 112 artículos científicos indexados con más de 4263 citas, seis capítulos de libros, múltiples artículos en revistas de difusión científico-tecnológica y seis manuales de capacitación. Ha titulado a 14 doctores en ciencias, 23 maestros en ciencias y 21 estudiantes de licenciatura. Ha contado con estudiantes graduados de Cuba, Marruecos y Honduras. He dirigido 20 proyectos de investigación básica/aplicada y seis de desarrollo tecnológico, todos financiados por fuentes externas. Su investigación ha sido merecedora de reconocimientos nacionales e internacionales. Sus publicaciones más recientes son: *Properties of Gels Formed from Jumbo Squid (Dosidicus gigas) Mantle Muscle under Heat and Acid Treatment: Rheological and Calorimetric Analysis* (2024). *Exploring structural and computational contrasts in Myoglobins: Implications for thermal treatment-induced Sulfmyoglobin formation* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1669-8007>

SCOPUS: 6602121653

Paniagua Chávez, Carmen

Doctora por la Universidad Estatal de Louisiana, Estados Unidos (1999), Maestra en Ciencias por CICESE (1993) y Bióloga por la Escuela de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California (1988). Actualmente es investigadora titular C y directora de la División de Oceanología del CICESE, al que ingresó en el 2000. Pertenece al SNII nivel II. Es investigadora del Departamento de Acuicultura y sus líneas de investigación son reproducción de organismos acuáticos y conservación de recursos genéticos acuáticos. En 2009 fue nombrada coordinadora del Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Acuáticos de México y actualmente es integrante del Subcomité de Recursos Genéticos Acuáticos para la Alimentación de SADER. Es miembro fundador de la Red Tilapia México en 2014 y de la Sociedad Mexicana de Acuicultura desde 2020 y miembro activo de World Aquaculture Society desde 1986, American Fisheries Society desde 1995 y National Shellfisheries Association, Board of Trustees del Partnership of Ocean Global Observation desde 2024 y Board of Governor del Southern California Coastal Ocean Observing System desde 2021. Sus Publicaciones recientes como coautor en conjunto con sus estudiantes son: *Cryopreservation of Centropomus viridis gonadal tissue: A key step conservation and aquaculture in Mexico. Cryobiology* (2025) y *Cryopreservation of*

germ cells as a conservation strategy for two valuable species in Mexico: Totoaba macdonaldi and Seriola lalandi. Frontiers in Marine Science (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2371-6813>

SCOPUS: 6506073837

Pérez-Camarillo, Juan Pablo

Maestro en Ciencias con especialidad en Edafología por el Colegio de Posgraduados. Es Ingeniero Agrónomo especialista en Suelos por la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Actualmente es prestador de servicios profesionales independiente y laboró 38 años como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Formó parte de la red de labranza de conservación del INIFAP Regiones Centro y Pacífico Centro de México. Ha sido miembro de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo, miembro suplente de la Comisión de Desarrollo Rural del Estado de Hidalgo, miembro del Subcomité Operativo del Programa Kilo por Kilo en el estado de Hidalgo, miembro socio fundador de la Red Mexicana de Labranza Conservacionista, otorgada por la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista en Morelia, Michoacán y enlace por el INIFAP de la Red de Jóvenes para la Transferencia Tecnológica Agropecuaria, Forestal y Desarrollo de la Productividad, de la C.N.C. Su línea de investigación se centra en la edafología. Entre sus publicaciones más recientes destacan: *Physicochemical characterization of agricultural soils under a traditional system in the Mezquital Valley, Hidalgo* (2024); *Molecular Variation of the Phytopathogenic Fungus *Sporisorium reilianum* in Valle del Mezquital, Hidalgo* (2020).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6656-9035>

Quintana-López, Víctor Alexander

Doctor y Maestro en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Es Licenciado en Psicología por el Instituto Tecnológico de Sonora. Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Medicina Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California. Es nivel I en el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. Es miembro del cuerpo académico: Nutrición Clínica e Interdisciplinaria. Desarrolla las siguientes líneas de investigación: 1) factores de riesgo asociados a la incidencia y reincidencia

del cáncer de mama y 2) promoción de estilos de vida saludables en personas con sobrepeso y obesidad. Autor del libro: *Salud mental y física en ambientes universitarios* (2023). Autor del artículo: *Actitudes y conocimientos sobre factores de riesgo del cáncer de mama en estudiantes universitarias del área de la salud*.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5778-1093>

SCOPUS: 57023742850

Ramírez-Suárez, Juan Carlos

Doctor en Filosofía por la Universidad de Kentucky (EEUU), realizando un postdoctorado en la Universidad Estatal de Oregon (EEUU). Obtuvo su Maestría en Nutrición y Alimentos en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, México). Obtuvo su Licenciatura en Tecnología de Alimentos en la Universidad de Sonora (México). Actualmente es investigador titular "C" en el CIAD, donde realiza investigación sobre química, bioquímica y calidad de productos pesqueros y es titular de dos materias de posgrado. Actualmente se le ha otorgado el nivel III en el SNII. Es miembro del Pacific Fisheries Technologists, ocupando la presidencia en el 2013. Recientemente publicó los siguientes artículos: *Metmyoglobin cryostability by low molecular weight compounds and their effect on sulfmyoglobin formation by thermal treatment* (2025) y *Techno-Functional Properties of Mexican Cheese Whey Requesón Powder: Effects of Air-Convective Drying and Natural Gum Addition* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8512-1271>

SCOPUS: 7801487433

Ramírez-Valdez, Arturo

Doctor en Biología Marina por parte de la Scripps Institution of Oceanography de la Universidad de California, San Diego. Obtuvo su maestría en Oceanografía Costera en la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California y su Licenciatura en Ecología Marina de la Universidad Autónoma de Guerrero. Es posdoctorante en el CIAD de Guaymas durante el periodo de publicación del libro. Sus temas de investigación son el manejo transfronterizo de recursos, los servicios ecosistémicos, la ecología marina, la biogeografía, la ecología de comunidades, la ecología de peces y las pesquerías artesanales. Es experto en ser-

vicios ecosistémicos del bosque de macroalgas transfronterizo y fundador del proyecto Mero gigante, con el cual colabora con diversas organizaciones de la sociedad civil y comunidades locales.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1200-7643>

SCOPUS: 35775771500

Román Pérez, Rosario

Doctorado en Ciencias Sociales, Maestría en Educación, Licenciada en Psicología. Profesora-investigadora en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Investigadora Nacional Nivel I. Pertenece a la Red Nacional de Instituciones de Educación Superior Caminos por la Igualdad, Red de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. Sus líneas de investigación son Género, Salud y Educación, Políticas Públicas con perspectiva de género. Publicaciones más actuales: *Normas y protocolos para atender la violencia de género en el CIAD: En búsqueda del camino propio* (2025); *Percepción de apoyo social y su relación con la adherencia terapéutica en personas con VIH* (2025).

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2337-8917>

Ruiz-Luna, Arturo

Doctor en Biología por la Universitat de Barcelona (España), con grado de Maestro en Ciencias y Licenciado en Biología por la UNAM. Es Investigador Titular E (honorífico), responsable del Laboratorio de Manejo Ambiental del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD, A. C.). Tiene la distinción de Investigador Nacional Emérito en el SNII, es miembro regular de la Academia Mexicana de las Ciencias (AMC) y del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos (SSIT). Ha dirigido o colaborado en más de 30 proyectos de investigación, principalmente relacionados con ambientes costeros y particularmente enfocados a la evaluación de la estructura, dinámica y procesos de los ecosistemas, especialmente los humedales, incluyendo el análisis de tendencias de cambio a diversas escalas espaciales y temporales, así como el análisis de servicios ecosistémicos y de vulnerabilidad costera. Cuenta con más de 130 publicaciones entre artículos, capítulos y libros. Algunos de los artículos más recientes son: *Evaluation of the know-*

ledge gaps in the reptile records of northwestern Mexico y Why are shorebirds worth preserving? (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6878-0929>

SCOPUS: 6603492654

Academia: <https://ciad.academia.edu/ManejoAmbiental>

GOOGLE SCHOLAR: https://scholar.google.com.mx/citations?user=tx4Wp_QAAAAJ&hl=en

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Arturo-Ruiz-Luna>

Sánchez-Gutiérrez, Erika Yazmín

Maestra en ciencias en Acuicultura y Manejo ambiental (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.). Obtuvo su Licenciatura como ingeniera Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Mazatlán. Se desempeña como técnico titular de Laboratorio de Nutrición Acuícola en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., unidad Mazatlán, donde realiza investigaciones en nutrición de peces y crustáceos. Las líneas de investigación que desarrolla en conjunto están enfocadas en la identificación y caracterización de insumos agroindustriales como fuentes alternativas a la harina de pescado para el desarrollo de alimentos funcionales. Es parte del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos como Investigadora Asistente. Ha participado en las siguientes publicaciones: *Desarrollo de un alimento con insumos agrícolas y pesqueros de la región Pacífico Sur para aumentar la rentabilidad de los cultivos de tilapia* (2024); *Improvement in spotted rose snapper growth and skin coloration after incorporation of shrimp head meal in diet* en revista *Aquaculture reports* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0996-1073>

Saucedo-Tamayo, María del Socorro

Maestra en Salud Pública. Instituto Nacional de Salud Pública. Morelos, México. Licenciatura en Enfermería. Universidad Autónoma de Chihuahua. Metodología Cualitativa en Salud Pública. Instituto Nacional de Salud Pública. Actualmente es investigador asociado “C”, Coordinación de Nutrición del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Además, es integrante del comité de ética en investigación institucional e interinstitucional. Sus líneas de investigación se enfocan en

enfermedades crónicas no transmisibles y el cáncer con base en aspectos dietarios, nutricionales, biológicos, ambientales, y de comportamiento; estudios de la nutrición y salud en diferentes etapas de la vida y en condiciones fisiológicas especiales, énfasis en cáncer de mama, salud pública, medicina alternativa y bioética en investigación. Coautoría en: *Association Between Interleukin 6 and C-Reactive Protein Serum Levels and Body Composition Compartments and Components in Breast Cancer Survivors* (2024). Y autora en *Productos de la medicina tradicional utilizados para problemas respiratorios en población sonorense* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3776-8609>

SCOPUS: 55409315500

Soto Rodríguez, Sonia Araceli

Doctora en Ciencias en Biotecnología Marina por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en México. Cuenta con una Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y la Licenciatura en Oceanología (especialidad en Química) por la Facultad de Ciencias Marinas (UABC). Actualmente es profesora e investigadora del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), subselección Mazatlán, y trabaja en los Laboratorios de Bacteriología y Genómica Microbiana. Pertenece al SNII nivel 2, a la National Shellfish Association, la Sociedad Mexicana de Acuicultura (SOMEXACUA) y la Sociedad Latinoamericana de Acuicultura (Socio fundador 2006). Su investigación se ha enfocado en la patogénesis de enfermedades de organismos acuáticos cultivados y métodos de control, especialmente en peces y camarones, utilizando herramientas moleculares, bacteriológicas, histológicas, genómicas y diagnóstico molecular de patógenos acuáticos. Recientemente publicó como autor principal los siguientes artículos científicos: *Phage cocktail against Vibrio parahaemolyticus causing acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Penaeus vannamei: genomic, biological, and pathological characterization* (2025). *Identification of new Vibrio campbellii strains harboring the pVA1 plasmid isolated from Penaeus vannamei postlarvae affected by outbreaks of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Mexico* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0760-4029>

SCOPUS: 6508149346

Tiznado-Hernández, Martín-Ernesto

Doctor en fisiología y biología molecular de plantas de la Universidad PURDUE en 1999. Cursó la maestría en ciencias de Nutrición y Alimentos con Especialidad en Fisiología Vegetal en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., obteniendo el título en 1991. Asimismo, obtuvo la maestría en Psicoterapia de Grupos Gestalt en el Centro de Investigación y Entrenamiento en Psicoterapia Gestalt Fritz Perls, S.C., en 2010. Obtuvo el título de Licenciado en químico-biólogo con especialidad en tecnología de alimentos de la Universidad de Sonora en 1988. Actualmente es investigador titular C del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. y responsable del Laboratorio de Fisiología y Biología Molecular de Plantas. Sus líneas de investigación se concentran en la elucidación de los mecanismos moleculares de tratamientos alternativos al uso de compuestos químicos sintéticos para control de infecciones fúngicas en postcosecha de frutas. Asimismo, la otra línea de investigación es la elucidación del mecanismo molecular de biosíntesis de cutícula de frutos. Entre sus últimas publicaciones se encuentran: *de novo* Assembly of the Sweet Pitaya (*Stenocereus thurberi*) Fruit Peel Transcriptome and Identification of Cuticle (2024). *Engineering Crops for Water Use Efficiency: A Strategy to Help in Sustainable Agriculture Development* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2612-9000>

Valencia Jiullerat, Mauro Eduardo

Doctor en Ciencias y Maestría en Ciencias en Bioquímica Agrícola y Nutrición por la Universidad de Arizona, EUA. Licenciatura en Química por la Universidad de Sonora. Profesor investigador visitante del Instituto de Investigación Rowett en Escocia, Gran Bretaña, en la Universidad Tecnológica de Auckland en Nueva Zelanda y del NIH en EUA. Fue profesor investigador y fundador del CIAD por 31 años, actualmente es profesor investigador emérito del mismo. Trabajó en las áreas de nutrición y ciencia de los alimentos, metabolismo energético y composición corporal en el ciclo de vida en la población general y en comunidades indígenas de Sonora y Estados Unidos, principalmente en los yaquis y pimas. Fue jefe departamental y director de la Coordinación de Nutrición. Posteriormente, fue profesor investigador del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas y cofundador de la Licenciatura en Ciencias Nutricionales. En ambas instituciones, graduó a más de 50 estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado. Recibió apoyo económico

por parte de la Comunidad Económica Europea, CONACYT, NIH y el Organismo Internacional de la Energía Atómica, de la cual también fue consultor por 20 años. Actualmente está jubilado y es profesor investigador emérito del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras. Sus publicaciones más recientes son: *Body Composition in Youths Aged 10-17 Years by Deuterium Oxide Dilution, Air Displacement Plethysmography and DXA: validation of the medical Body Composition Analyzer Bioimpedance Device by a 4-Compartment Model* (2023); *Energy Expenditure and Physical Activity Over 15 Years of Environmental Changes: The Maycoba Project* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6353-4841>

SCOPUS: 7101646862

Valenzuela-Lagarda, José Luis

Doctor en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), Unidad Culiacán, con especialidad en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (2017). Obtuvo la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos con especialidad en Ingeniería de los Alimentos en la Universidad Autónoma de Sinaloa (2013) y es Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico de los Mochis, con especialidad en Ciencia y Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal (2010). Se ha desempeñado en el sector agroalimentario como inspector de calidad y consultor en diseño e implementación de procesos agroindustriales sustentables. Actualmente es profesor-investigador de tiempo completo y coordinador de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) y cuenta con el Perfil Deseable PRODEP. Lidera el cuerpo académico “Ciencia, Tecnología e Innovación Agroalimentaria con Energía Sustentable”, actualmente en fase de consolidación. Su labor de investigación se centra en la extracción, caracterización y aplicación de biomoléculas y metabolitos funcionales de alto valor agregado (polisacáridos y compuestos fenólicos) a partir de residuos agroindustriales, así como en la evaluación de la calidad nutricional, funcional y nutracéutica de alimentos vegetales frescos y procesados. También trabaja en el rescate y aprovechamiento de especies vegetales endémicas con potencial nutrimental y nutracéutico. Ha publicado más de 30 artículos científicos en revistas de arbitraje y con más de 30 ponencias en congresos especializados. Su trabajo se distingue por promover la vinculación aca-

démica con impacto social a través de esquemas de apropiación del conocimiento con una visión innovadora y sustentable. Participa activamente en la formación de recursos humanos mediante la dirección de estudiantes de posgrado.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9551-2652>

SCOPUS: 57070341900

Valenzuela Quintanar, Ana Isabel

Doctora en Farmacia por la Universidad de Valencia (España). Obtuvo la Maestría en Nutrición y Alimentos en CIAD y la Licenciatura en Químico Biólogo en la Universidad de Sonora. Es profesora investigadora titular C en CIAD, donde realiza monitoreo de plaguicidas y metabolitos de degradación en matrices biológicas, ambientales y de alimentos, con la finalidad de evaluar los riesgos a la salud y al medio ambiente. Publicaciones más recientes son: *Validation and Application of Liquid Chromatography Coupled with Tandem Mass Spectrometry Method for the Analysis of Glyphosate, Aminomethylphosphonic Acid (AMPA), Glufosinate in Soil* (2023) y *Potential fungicidal effect of root extracts of Cucurbita foetidissima (Kunth) against Fusarium sp.* (2025). Contribuye con la formación de comunidad científica. Es miembro del SNII-Nivel I. Forma parte del grupo de Contaminantes Químicos del CIAD. Participa en la Red Temática de Toxicología de Plaguicidas y en dos laboratorios nacionales de reciente reconocimiento por la SECIHTI.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7114-1933>

SCOPUS: 6506942828

Vallejo-Galland, Belinda

Postgraduada en ciencia y tecnología de los alimentos, con Maestría en Ciencias (1984) y Doctorado en Filosofía (1992) por la Universidad de la Columbia Británica en Canadá. Es Licenciada en Química (1978), egresada de la Universidad Iberoamericana en la Ciudad de México. De 1994 a la fecha es investigadora titular del Laboratorio de Calidad, Autenticidad y Trazabilidad de los Alimentos y Química y Biotecnología de Productos Lácteos dentro de la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA) del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Desde 1996 ha sido miembro ininterrumpido del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) con nombramiento

vigente como investigadora nacional emérita. Sus áreas de especialidad en investigación son: calidad, autenticidad y trazabilidad de los alimentos, química del sabor y química y biotecnología de productos lácteos. Su obra científica está reportada en más de 169 artículos de investigación original en revistas de circulación internacional. Además, ha publicado 19 capítulos de libro de editoriales internacionales reconocidas y tiene 10 patentes internacionales otorgadas y una patente mexicana. La Dra. Vallejo ha graduado a 17 Doctores en Ciencias, los cuales ocupan posiciones de investigación en diferentes universidades y centros de investigación del país y ha formado a 26 Maestros en Ciencias. En docencia, se ha desempeñado como profesora titular de tres cursos de posgrado en CIAD: química y tecnología de lácteos, evaluación sensorial y análisis instrumental e interpretación estadística en temas selectos. Además, los trabajos de la Dra. Vallejo también han sido presentados en múltiples congresos nacionales e internacionales en las modalidades de conferencias por invitación y trabajos libres. Sus trabajos la han conducido a mantener una estrecha vinculación con los sectores productivo del ramo alimentario, como lo demuestran varios de los proyectos que ha realizado a lo largo de su trayectoria institucional. Es miembro de la Red Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico en Alimentos Funcionales y Nutracéuticos (AlfaNutra) y participante en la Rede CYTED para el Fomento de la Calidad e Inocuidad en Queserías Artesanales en Iberoamérica (QuesArte).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8312-7039>

SCOPUS: 55989802400

Vásquez-Lara, Francisco

Doctor en Ciencias, Tecnología y Gestión Alimentaria por la Universidad Politécnica de Valencia (España). Obtuvo la maestría en Almacenamiento y Procesamiento de Granos en la Universidad de Sonora y la Licenciatura en Tecnología de Alimentos en la misma Universidad. Se ha desempeñado como investigador titular A en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo en Hermosillo, Sonora. También es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores con el Nivel I. Sus líneas de investigación son: aplicación de tratamientos térmicos en harinas derivadas de cereales para incidir en su funcionalidad y en el producto final; desarrollo de alimentos a base de cereales y sus subproductos, análisis reológico y textural. Las publicaciones más recientes son: *Análisis de imagen aplicada a*

propiedades morfológicas en galleta de trigo y avena (2025); *Efecto en las propiedades reológicas y texturales de pan elaborado a base de harina de trigo y harina de mijo tratada térmicamente* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2197-6507>

SCOPUS: 55924958900

Vidaña Espinoza, Helen Joceline

Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Cuenta con Maestría en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Obtuvo la Licenciatura en Nutrición por la Universidad de Sonora. Su área de investigación se enfoca en la nutrición geriátrica, especialmente en enfermedades relacionadas con la nutrición como la sarcopenia y factores asociados. Sus publicaciones más recientes son: *Association between the risk of malnutrition and sarcopenia at 4.2 years of follow-up in community-dwelling older adults* (2024); *Incidence of the Risk of Malnutrition and Excess Fat Mass, and Gait Speed as Independent Associated Factors in Community-Dwelling Older Adults* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8458-2139>

Yañez Quijada, Adrián Israel

Doctor en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Maestro en Innovación educativa y Licenciado en Psicología, ambos por la Universidad de Sonora. Actualmente se desempeña como profesor titular A de la Universidad Pedagógica Nacional 022. Su principal línea de investigación es el desarrollo infantil en entornos de vulnerabilidad socio-ambiental. Recientemente publicó: *Parenting practices as a buffer in the relationship between exposure to community violence and bullying in Mexican adolescents* (2024); *Community violence exposure and bullying in Mexican adolescents. The mediating role of moral emotions* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4685-6683>

*Ambiente, alimentación y salud para el
bienestar de Jaqueline García Hernández, Adrián
Hernández Mendoza, Juana María Meléndez Torres,*

María Isabel Ortega Vélez y Arturo Ruiz-Luna (coordinado-
res) publicado por Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C.

V., se terminó de imprimir en diciembre de 2025, Litográfica Ingramex,

S. A. de C. V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México.

El tiraje fue de 200 ejemplares impresos y en versión digital para acceso abierto en
los formatos PDF, EPUB y HTML.

Ambiente, alimentación y salud para el bienestar es una obra compilatoria, coordinada por Jaqueline García, Adrián Hernández-Mendoza, Juana María Meléndez, María Isabel Ortega y Arturo Ruiz-Luna. En ella se agrupa una serie de trabajos que, desde diferentes campos del conocimiento, abonan para la comprensión de la problemática alimentaria actual y de desarrollo regional, fruto de la investigación realizada en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo por más de cuatro décadas.

Debido a la naturaleza multidisciplinar y multisituada del CIAD, en la elaboración de esta obra colaboran investigadoras e investigadores de las diversas Coordinaciones Académicas y Subsedes que lo conforman. De tal manera que el libro se integra por veinte capítulos, organizados en seis secciones, cada una enfocada en un área temática específica: Alimentación, nutrición y salud; Actividades productivas y riesgo ambiental y de salud; Sistemas alimentarios sostenibles, aprovechamiento de productos y subproductos; Innovación y desarrollo de nuevas tecnologías con impacto en la alimentación y la salud; Políticas alimentarias y sociales.

Los textos aquí presentados buscan reflejar, de la manera más fiel y completa posible, la vasta trayectoria de grupos de investigación y la diversidad de campos del conocimiento en las áreas de alimentación, nutrición, salud, desarrollo regional y recursos naturales; así como la incidencia de los resultados de estos estudios en beneficio del medio ambiente y la sociedad en general. Esperamos que, al leer este volumen la comunidad académica y el público en general puedan adentrarse en la naturaleza, la misión y el compromiso social del CIAD.



Jaqueline García Hernández es Investigadora del CIAD Guaymas. Sus estudios profesionales los realizó en el ITESM Campus Guaymas y en la Universidad de Arizona. Sus líneas de investigación son las ciencias ambientales: calidad del agua, eco toxicología, salud en aves, humedales de tratamiento y compostaje.



Adrián Hernández Mendoza es Químico Farmacobiólogo con posgrado en Ingeniería Bioquímica y Ciencias de los Alimentos y posdoctorado en Portugal. Profesor-investigador del CIAD, SNII-3, especialista en alimentos funcionales. Autor de más de 130 publicaciones, con estancias en EE.UU. y amplia formación de recursos humanos.



Juana María Meléndez Torres es Doctora en Bioantropología y Salud e investigadora de la Coordinación de Desarrollo Regional (SNII-I). Especialista en modernidad alimentaria, salud y cultura y, estudios socioculturales del cuerpo. Su labor investigativa aborda el estudio del cambio alimentario, el paisaje alimentario y culinario, la corporalidad, alimentación y salud.



María Isabel Ortega Vélez es Licenciada en química (UNISON), Maestra en nutrición (CIAD,AC) y Doctora en nutrición internacional (Universidad de Cornell, EU). Profesora-investigadora de nutrición pública y salud, seguridad alimentaria y modelos de promoción de la salud nutricional mediante investigación-acción participativa. Es miembro del SNII, nivel 2.



Arturo Ruiz Luna es Doctor en Biología, distinguido como Investigador Nacional Emérito del SNII de la Secihti. Centra sus actividades académicas en el estudio de la estructura, dinámica y procesos de ecosistemas costeros, evaluando tendencias de cambio a diversas escalas espaciales y temporales, incluyendo el análisis de servicios eco sistémicos y vulnerabilidad costera.



Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo

ISBN 978-607-7900-71-9



EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA PUBLICACIONES
ARBITRADAS

comunicacion-cientifica.com

ISBN 978-607-978-968-9738-59-6



Dimensions

RENIECYT
Registro Nacional de Instituciones y
Empresas Científicas y Tecnológicas
2000922



[DOI.ORG/10.52501/CC.360](https://doi.org/10.52501/CC.360)



9 786077 900719