

Ambiente, alimentación y salud para el bienestar

Por Jaqueline; Adrián; Juana María; María Isabel; Arturo García Hernández; Hernández Mendoza; Meléndez Torres; Ortega Vélez; Ruiz-Luna (Coords.)

Ambiente, alimentación y salud para el bienestar

Editores (en orden alfabético):

**Jaqueline García Hernández, Adrián Hernández Mendoza, Juana María
Meléndez Torres, María Isabel Ortega Vélez y Arturo Ruiz-Luna**

Citar como:

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (2024). Ambiente, alimentación y salud para el bienestar. Fondo de Cultura Económica-CONAHCYT.

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

²¹
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.(CIATEJ).

Centro de Investigación y de 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).

¹⁰
Instituto Nacional de Salud Pública (INSP).

Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Instituto Tecnológico de Durango (TECNM-ITDurango).

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).

22

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).

15

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).

Índice del contenido

INTRODUCCIÓN

TEMA 1: ALIMENTACIÓN, NUTRICIÓN Y SALUD

- Capítulo 1** Salud y nutrición infantil: Evaluación, promoción, análisis nutricional y metabólico del amamantamiento en población sonorense.
- Capítulo 2** Cáncer de mama, nutrición y salud en mujeres sonorenses.
- Capítulo 3** Alteraciones del estado de nutrición de los adultos mayores mexicanos: Datos más allá del índice de masa corporal.
- Capítulo 4** Obesidad y estilo de vida en indígenas del estado de Sonora: el caso de los O'oba (Pimas), Yoeme (Yaquis) y Comcáac (Seris).
- Capítulo 5** Conductas alimentarias de riesgo, percepción corporal y bienestar en estudiantes universitarios.

TEMA 2. ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD

- Capítulo 6** El valor de la biodiversidad en las actividades productivas en el estado de Sonora.
- Capítulo 7** Agentes patógenos en cultivos de camarón y tilapia: un riesgo para la subsistencia de la producción acuícola en México.
- Capítulo 8** Metales y metaloides en suelos, sedimentos y biota de ecosistemas costeros de Sonora: Impactos, dinámica y riesgos.

TEMA 3. SISTEMAS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES

- Capítulo 9** Manejo integral para la producción de maíz sustentable en el Alto Mezquital, Hidalgo
- Capítulo 10** Red de conocimiento para una acuacultura sostenible y competitiva. Un análisis a partir del caso del cultivo de camarón en el norte de Sinaloa
- Capítulo 11** El Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México, su Incidencia Social y aportación hacia la atención de la Soberanía Alimentaria y Seguridad Alimentaria y Nutricional.

TEMA 4. APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

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

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

Capítulo 14 Alimentos y coproductos derivados de la pesca.

Capítulo 15 Dietas funcionales para la producción de proteína de alta calidad de origen acuícola.

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

Capítulo 16 Innovación y desarrollo de nuevas tecnologías con impacto en la alimentación y la salud

Capítulo 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

Capítulo 18 Modificación de las propiedades funcionales de harina de avena para incidir en su capacidad de panificación

TEMA 6. POLÍTICAS ALIMENTARIAS Y SOCIALES

Capítulo 19 Evaluación del impacto de la política de etiquetado frontal en alimentos: El Caso de las regiones de México de 2016 a 2022

Capítulo 20 Políticas Públicas integrales de discriminación social positiva en atención a la niñez: ¿Por qué y para qué en Sonora, México?

Introducción

Dentro de la serie *Textos Científicos Mexicanos*, coeditada por el CONAHCYT y el Fondo de Cultura Económica (FCE), se buscó integrar una serie de obras enfocadas en el quehacer científico de las y los investigadores que colaboran en instituciones mexicanas y cuyo objetivo es ofrecer material de estudio y consulta para estudiantes de nivel medio-superior y superior. Con esta colección se busca fomentar el interés de aquellos estudiantes interesados en las ciencias, para que conozcan los diferentes campos y temas de actualidad y con ello orientar sus estudios hacia temas atractivos y con potencial para el desarrollo de su vida profesional.

En el presente volumen, intervinieron diversos(as) investigadores(as) del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), con textos cuyo contenido intenta reflejar, lo más amplia y fielmente posible, los campos de competencia académica del CIAD, así como la trayectoria y los avances logrados en materia de investigación y de incidencia social en beneficio de la sociedad en general.

El CIAD fue fundado en Hermosillo, Sonora, en 1982 y su misión refleja los ejes académicos fundamentales que contribuyen al desarrollo sustentable y al bienestar de la sociedad 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. Su ámbito de acción tiene representación actual en diversas regiones del país, pero principalmente en el noroeste.

Durante su evolución, el CIAD ha tenido impacto en la investigación, la generación de recursos humanos y la vinculación con proyección, tanto a nivel nacional como internacional. En ese sentido, la presente obra es solo una pequeña muestra de las capacidades institucionales y del potencial de su personal y colaboradores(as), para impactar en temas con incidencia social, de interés regional, nacional y transnacional.

Como parte de su trayectoria, la institución se ha preocupado por responder a problemáticas de carácter local, regional y nacional, donde el bienestar humano se posiciona como tema central, aunque en estrecha vinculación con la seguridad alimentaria, la salud pública y la calidad del ambiente. Dichas problemáticas presentan diversos desafíos en la actualidad, como el cambio climático, la seguridad y la sostenibilidad alimentaria y ambiental, elementos que interactúan de manera compleja y multidimensional, y que influyen directa e indirectamente en la calidad de vida de la población. En este contexto, es esencial comprender cómo estas dimensiones se entrelazan y afectan mutuamente para diseñar políticas y acciones que promuevan un desarrollo sostenible y equitativo. Es así que el objetivo de la presente obra editorial es conformar un documento que muestre un poco de la investigación que, a lo largo de 42 años se ha realizado en el CIAD en torno a estas problemáticas y sus posibles soluciones.

La presentación y organización de los capítulos que componen este libro se realizó de acuerdo con los siguientes ejes temáticos y que representan en forma general el quehacer de la Institución: 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.

Teniendo como base estos ejes temáticos, en esta obra se reúne parte de la experiencia generada en el CIAD, así como la contribución al bienestar de la sociedad a través de una constante innovación de alternativas de solución.

Dentro del primer eje de **Alimentación, nutrición y salud**, el libro contiene cinco capítulos que abordan diversas problemáticas alimentarias asociadas a la nutrición y la salud en diversas etapas de la vida y diferentes 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 diversos 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 y sonorenses y 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. 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 obesidad y su relación con el estilo de vida en 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), percepción corporal y bienestar en estudiantes universitarios sonorenses. Los resultados revelaron diferencias de género en las CAR, así como un mayor riesgo de CAR 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 esta población.

En lo que corresponde a la temática **Actividades productivas y riesgo ambiental y de salud**, se incluyen tres títulos que advierten sobre la relación producción – biodiversidad, los riesgos sanitarios en la producción acuícola y el riesgo de contaminación en la zona costera. Así, en el capítulo seis, los autores destacan la importancia de la biodiversidad en las actividades productivas del estado de Sonora, indicando que su reducción, como resultado del desarrollo, impacta negativamente los procesos ecosistémicos, que a su vez podrían afectar las actividades económicas en el mediano y largo plazo, ejemplificando esta situación con los impactos generados por la actividad agrícola en Sonora. Se destaca el efecto que esta actividad ha tenido sobre la diversidad de aves en la región y cómo la sobrepesca ha cambiado la relación de las comunidades costeras con la productividad pesquera, y sugieren los autores la adopción de prácticas más sostenibles, como la agricultura regenerativa y la pesca responsable, para mitigar estos riesgos.

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 nilótica como las especies representativas de la actividad y 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 y garantizar con ello la sostenibilidad de la producción acuícola y sus beneficios sociales.

Otro aspecto de la relación ambiente – salud pública, se aporta en el capítulo ocho, en el que los autores advierten sobre los riesgos asociados con la alimentación, a través de la ingestión de contaminantes orgánicos, metales y metaloides, presentes en plaguicidas y fertilizantes agrícolas, así como en descargas urbanas. Estos se acumulan en sedimentos, agua y 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 en sectores 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 de 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.

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, lo 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 acuacultores, es una organización formada de pequeños y medianos productores de tilapia de 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 autoconsumo y producción. El modelo demostró ser exitoso desde su inicio, aunque aún hay retos que superar, incluyendo una mejor regulación, mayor microfinanciamiento, retos en el tema sanitario y motivación a las nuevas generaciones. Por ello, se busca continuar con esta iniciativa para consolidar el consumo de tilapia a nivel nacional y contribuir con ello a la soberanía alimentaria del país.

En la temática de **Aprovechamiento de productos y subproductos**, los trabajos del CIAD han ayudado 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, que representan 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 a 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 el ofrecer opciones para el aprovechamiento y/o 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 genuinos mexicanos para su rescate y revalorización. Sus hallazgos, además de documentar los distintos métodos de producción y la identificación de la microbiota bacteriana característica en quesos frescos y otros semi madurados, también han contribuido en la generación 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 en el capítulo catorce, comparten los resultados generados durante 35 años de investigación sobre la utilización de desechos y subproductos de la industria pesquera para su transformación en coproductos bioactivos e ingredientes alimentarios de alta funcionalidad tecnológica, viaje que transita desde la obtención de ácidos grasos esenciales, concentrados de enzimas digestivas, la obtención y caracterización de péptidos con distintas bioactividades, así como 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 han sido aprovechados 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 **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 sobre la temática 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 alergénicas de importancia clínica, provenientes del polen de árboles de zonas desérticas y que representan valor nutricional, de sustentabilidad y económica 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 puede 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 con 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.

Finalmente, en la temática de **Políticas públicas y regulación**, se presentan dos trabajos. En el capítulo diecinueve se evalúa la política del etiquetado implementado en México para mejorar la salud de la población, a través de un estudio macroeconómico sobre 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 de tiempo. Por otra parte, a través de exponer los trabajos realizados por el grupo de investigación que propone el capítulo veinte, se 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 que los trabajos incluidos en esta obra editorial pretenden dar al lector una visión general del tipo de investigación que se realiza en CIAD.

Históricamente el quehacer del Centro incluye la investigación básica y aplicada y trasciende en el tiempo buscando la incidencia social con 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 pueda conocer un poco más la naturaleza de CIAD, su misión y compromiso continuo con la sociedad.

Comité Editorial

CONFIDENCIAL

Capítulo 1

Lactancia en Sonora: evolución de las prácticas en 4 décadas, promoción, análisis nutricional y efectos en el crecimiento

Ana María Calderón de la Barca^{1*}, Graciela Caire Juvera¹, Rosario Román Pérez²,
Adriana Verónica Bolaños Villar¹

¹Coordinación ²⁹de Nutrición. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,
A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46. Col. La Victoria,
Hermosillo 83304, Sonora.

²Coordinación de Desarrollo Regional. Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A.C.

*Autora para correspondencia: amc@ciad.mx

INTRODUCCIÓN

A diario nos impactan 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; sólo en niños y adolescentes del mundo, aumentó de 8 a 20% entre 1990 y 2022, según la Organización Mundial de la Salud (WHO 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 en el embarazo y su efecto en la composición 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, tampoco había evidencia de que el lactante con crecimiento acelerado tuviera muy alto riesgo de obesidad en el mediano y largo plazos. Incluso hoy, se mide y pesa al lactante en un momento dado de su vida y se compara su puntaje de peso para la edad o para la talla, con el de una referencia aceptada y hasta allí. Al evaluar la velocidad de crecimiento se pondría de manifiesto que la lactancia con fórmula, aún en forma mixta con leche materna, induce aceleración y conlleva riesgos.

Otra causa de 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 equilibrio de la microbiota, mientras que los antibióticos lo perturban. En nuestro país hace pocos años, no había restricción para los tratamientos con antibióticos en el periodo 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, que la mejor forma de alimentar a un lactante, amamantándolo, tiene grandes beneficios para la salud, del niño y de la madre. Por esto, desde 1986 como investigadoras noveles 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 Fig. 1, presentamos una línea del tiempo de la evolución de nuestro trabajo, enunciando solo palabras clave de los proyectos.



Figura 1. Línea del tiempo de 1986 al 2024, indicando 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.

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 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; 2 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 a 10 años, en la prevalencia de lactancia al pecho y 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 número de nacimientos en el año previo (1,146) en Hermosillo, Sonora, de acuerdo con datos de INEGI. En 1986 encuestamos a 214 madres y en 1996 a 314. En el estudio inicial, invitamos a las madres en hospitales tanto públicos como privados y las visitamos en sus hogares para encuestarlas a los 30 y 90 días postparto (pp). Para el estudio comparativo en 1996, buscamos los datos a 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. Así mismo, las madres eran de diferentes estratos socioeconómicos.

La encuesta en ambos estudios sobre lactancia, incluyó preguntas abiertas de datos generales de madres e infantes y 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, lactancia materna exclusiva (solo pecho, agua o incluso tés); el segundo, lactancia con fórmula infantil (únicamente fórmula, además de tés); finalmente, lactancia mixta (si además del pecho, se daba al menos un biberón de fórmula infantil).

En cuanto a características maternas, los datos fueron muy similares en ambos estudios (1986 y 1996) en edad, escolaridad y número de hijos. Respecto al estado civil, aunque el promedio de casadas fue similar, hubo menor proporción de madres solteras y un poco más en unión libre en 1996 que en 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, la aportaron tanto 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 regreso al trabajo o estudios. En cuanto a los productos utilizados para lactancia, en 1986 se daba al 33.3% de los lactantes, leche entera en polvo, lo que cambió en 1996 a 7.5% (Román Pérez et al., 1998).

Nos dio gusto el aumento en la prevalencia de lactancia al pecho en 1996, que distaba mucho del ideal, pero fue un gran avance. El incremento se debió en gran medida a la iniciativa 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.

Con 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, estábamos bien preparadas para apoyar en 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 las barreras 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 por grietas o congestión en los pechos o por pezones planos o invertidos. Aportamos prácticas y ejercicios para corregir esto último. Un 14% de las madres mencionaron diversos motivos como rechazo del pecho, enfermedad de ella o de su hijo, llanto del niño e 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% abandonó por causas diversas, incluyendo el regreso al trabajo o a la escuela. A los 3 meses pp, 12% de las madres había dejado de amamantar por los motivos antes anotados, 6% de ellas por “insuficiencia láctea”. El pequeño resto, continuó amamantando por más de 5 meses pp (Bolaños et al., 2012).

Con los resultados del seguimiento a las madres y la de 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, ilustrando 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 diseño gráfico o contenido (Bolaños et al., 2012).

En el 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 al 78% de un grupo de referencia no intervenido. Al proporcionarles 3 infografías, una en el preparto 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, actualizando la información y usando aplicaciones de celular y redes sociales, para mayor accesibilidad a las madres.

Hablamos de 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 5000 madres participantes, las madres preguntan y solicitan ayuda que otras madres atienden ofreciendo consejos. Otros, son grupos menos amplios en donde se interconectan 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 con énfasis en velocidad de crecimiento del lactante amamantado. Aunque estamos en proceso de análisis de parte de los datos, la muestra ya está completa y solo el 7% de las madres participantes no llegó a los 5 meses amamantando (Argüelles López, 2024). Un problema fuerte 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 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 también 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 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 a las fórmulas o a la leche del lactante.

Motivadas por la información previa, nos dimos a la tarea de estudiar las fórmulas infantiles más utilizadas para lactantes en Hermosillo, analizamos sus proteínas en comparación a 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 en estudios previos. Seleccionamos 19 fórmulas infantiles en polvo (inicio, seguimiento, especial, soya e hidrolizado), 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 proteínas de todas las muestras.

Las fuentes proteicas en las fórmulas infantiles provenían de 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 en la leche de vaca conforma hasta el 80% del total de 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 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 debieran ser la alternativa para los niños con dichas alergias, menos aún las elaboradas con harina de soya, conteniendo 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 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 en investigación.

FÓRMULAS PARA NECESIDADES NUTRICIAS ESPECIALES

Continuamos el análisis de sucedáneos para 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 recuperación 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 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 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 entramos a 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, recién paridas 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 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, que entre 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 y 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 sobre 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 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, 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 calidad de la leche producida. La región, 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 lípidos en la leche producida. Al mes o a los 3 meses pp, la composición de la leche producida no se asoció a la dieta materna (Caire et al., 2002b). Respecto al efecto de la lactancia sobre 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 a la etnicidad, esto se relaciona con el ingreso económico, 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; así mismo, 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 la región y 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); misma diferencia para proteína, grasa, fibra dietética, sodio, hierro y folato. Las madres de Hermosillo consumían 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 común en las hermosillenses, mientras entre las de CdMx, el pan de dulce, productos lácteos, tortillas de maíz y aguas de frutas, eran comunes (Caire et al., 2007).

DIETA MATERNA Y VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DE LACTANTES

En párrafos previos anotamos que la composición de la leche no se asoció a 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 en exclusiva o parcialmente; usamos cuestionario de frecuencia e identificamos los patrones dietarios por análisis de componentes principales. En general, la ingesta de grasas y sodio son excesivas, 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 amamantando en exclusiva entre las actuales (2022-2024) y las que estudiamos antes (1998-2000), se ven más favorecidas las primeras, consumen menos energía y casi el 60% lleva patrón prudente o moderado. Sin embargo, esto no se ve reflejado en la velocidad de crecimiento de sus hijos evaluada como velocidad de ganancia de peso a través del puntaje peso para la edad condicional. En ambos grupos, solo el 15% tiene crecimiento acelerado.

La dieta materna de las madres de Hermosillo y el efecto en la composición de su leche, influye en la velocidad de crecimiento del niño amamantado. Detectamos en leche materna un aportador de grupos metilo de la dieta materna, que se relaciona directamente con velocidad del crecimiento adecuada. Así mismo, encontramos 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, para alcanzar el óptimo en cuanto a desarrollo del lactante amamantado.

MICROBIOTA DE LACTANTES TOTAL O PARCIALMENTE AMAMANTADOS

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

Estudiamos los efectos de la lactancia al pecho en exclusiva y los de la lactancia mixta, durante los primeros 5 meses pp, en cuanto a microbiota y velocidad de crecimiento del niño hasta los 12 meses (Calderón de la Barca et al., 2024).

En cuanto a géneros bacterianos, los niños amamantados tuvieron mayor abundancia de *Bifidobacterium* (al menos 60%), mientras en los de lactancia mixta, fue de un 45%. Así mismo, *Lactobacillus* también fue más abundante en los amamantados, un tercio más que en los de lactancia mixta. En cuanto a especies bacterianas, las diferencias fueron notorias por régimen de lactancia; los amamantados presentaron *Bifidobacterium breve*, *B. bifidum*, *B. infantis* y *Lactobacillus fermentum* más abundantes que en los lactados en régimen mixto. La única especie de *Bifidobacterium* más abundante en estos últimos, fue *B. adolescentis*, no 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 salud del niño.

Al analizar la información del estudio, identificamos entre las variables evaluadas, las predictoras de 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 predictor positivo de 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 crecimiento

acelerado, en comparación al 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 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 es poco más del 30%, mucho mejor que el 9% que había cuando iniciamos. Por esto, nos queda la responsabilidad y compromiso de difundir los resultados a todos los niveles para promover no solo el amamantamiento 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 breastmilk 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 Juvera 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 Juvera 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 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 Northwest 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 at 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.)

CONFIDENCIAL

Capítulo 2

Cáncer de mama, nutrición y salud en mujeres sonorenses

Graciela Caire-Juvera^{1*}, Ma. Del Socorro Saucedo-Tamayo¹, Ma. Jossé Navarro-Ibarra², Víctor Alexander Quintana-López².

^{1*} Coordinación de Nutrición, CIAD, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46, Col. La Victoria, CP 83304. Hermosillo, Sonora, México. Teléfono:

² Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México

*Autora para correspondencia: gcaire@ciad.mx

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 menarquía 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 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, 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, depresión, fatiga, calidad de vida y funcionamiento físico (De Cicco et al., 2019). Sin embargo, poder llevar a cabo estas conductas es un reto en salud pública.

En este capítulo se desarrollan de manera resumida las investigaciones realizadas en el tema del CaMa a lo largo del tiempo (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, alteraciones en algunos biomarcadores, para terminar con una intervención basada en cambios en el estilo de vida y salud mental, sus resultados, barreras 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 salud mental se considera un factor fundamental para la morbilidad y 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 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 nutrientes 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 a través del tiempo 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. En 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 17 β -estradiol, por lo que pueden tener capacidad antioxidante y además presentan

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 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% de ellas con nivel socioeconómico bajo. Las mujeres de nuestro estudio presentaron consumos bajos de fitoestrógenos comparados con la ingestión de estos compuestos en otras poblaciones. El consumo en países de oriente oscila de 23.3 a 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, de cumestrol de 0.01 mg/día, y de fitoestrógenos totales fue de 2.36 mg/día.

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 para 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, moringa, pan birote y 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 aportadora 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 protección de padecer alguna enfermedad no transmisible, como el CaMa. No existen más estudios en México que hayan analizado 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, 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 entre 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 (OR_{aj} : 4.99, IC 95%: 1.39–17.92, $p=0.014$), utilizando como variables de ajuste la energía total consumida, intensidad de cocción, historia familiar de cáncer, edad, estado de menopausia e 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. en 2006 en Uruguay.

También demostramos que el consumo de productos cárnicos cocinados a alta intensidad es un factor de riesgo para cáncer (OR_{aj} : 5.12, IC95%: 1.83-14.31, $p=0.002$), utilizando como variables de ajuste la historia familiar de cáncer, edad, energía total consumida, nivel socioeconómico, IMC y estado de menopausia. En este tema hay pocos estudios, uno de ellos es el de Sinha et al. (2000), en el que se encontró asociación del cocimiento excesivo de la carne con el CaMa (1.27, IC95%: 1.05–1.60; p de tendencia = 0.01).

Dado que ¹ la exposición a estrógenos a lo largo de la vida es un factor de riesgo para CaMa, nuestros datos los analizamos también estratificando por 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 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 (OR_{aj} : 6.06, IC95%: 1.34-27.42, $p=0.019$), ajustado por 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, res y carne procesada que activan a 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 diabetes considerando el diagnóstico previo en mujeres adultas mexicanas es alrededor de 11.4% (ENSANUT, 2018). En la diabetes aumenta el tejido adiposo, alterando 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 pueden 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 y cols. (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, adiponectina, 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 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, hiperinsulinemia y 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 las mujeres con diabetes y el grupo sin diabetes, observamos que la glucosa, presión arterial diastólica y circunferencia de 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 presentaron 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 calidad de vida de las sobrevivientes de cáncer mamario.

17

Dado que decidimos ahondar en algunos aspectos de la salud mental de las sobrevivientes 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 sobre la adherencia a una dieta y actividad física saludables 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 “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 “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 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 en 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 y 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, estrategias de afrontamiento y calidad de vida con la adherencia a la dieta y actividad física saludables en mujeres con CaMa. Como nota adicional y considerando un área de oportunidad, hemos observado que, en general, en los hospitales y centros de salud existe una subestimación hacia las opiniones de las personas profesionales en nutrición y psicología; incluso, en la mayoría de los casos el médico oncólogo hace las veces de 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 (Lizarraga 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 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, proteína C reactiva (PCR), interleucina 6 (IL-6), factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), longitud telomérica y 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). Así mismo, los cambios saludables en el estilo de vida pueden afectar de manera positiva la composición corporal, 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, composición corporal y ósea, y salud mental.

Este ensayo clínico controlado aleatorizado, tuvo una duración de 8 meses e incluyó a 50 participantes, 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/m^2) y la circunferencia de cintura ($\Delta = -3.3$ vs 0.5 cm); así mismo, la densidad mineral ósea de la zona lumbar aumentó $0.003 \pm 0.036 \text{ g/cm}^2$, así como la del

fémur ($0.005 \pm 0.022 \text{ g/cm}^2$) en el grupo de intervención. También se incrementaron los niveles séricos de β -caroteno ($\Delta = 6.6$ vs $-3.05 \text{ } \mu\text{g/dL}$), 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 mamográfica (-5.3%) y se incrementó la longitud telomérica ($\Delta\text{GI} = 199 \text{ pb}$). Las participantes del grupo de intervención a los 8 meses también disminuyeron $17.3 \pm 20.4 \text{ ng/ml}$ de leptina en contraste con el grupo de comparación que aumentó $3.4 \pm 14.9 \text{ ng/ml}$ ($p=0.05$) (Hernández-Villa, 2017).

En cuanto a las variables de salud mental, la ansiedad rasgo 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 de ellas mismas las barreras que les impiden alcanzar sus metas y los facilitadores que pueden ser de ayuda en el cumplimiento de estas. Por lo anterior, realizamos un estudio para identificar barreras y facilitadores percibidos por mujeres sobrevivientes de CaMa que cumplen y las 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 (α Cronbach>0.6), logramos obtener resultados interesantes, ya que la mayoría de las participantes percibió al menos cinco barreras para el tema de la AF (73%) o de 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%), 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 las barreras que de los facilitadores.

El conocimiento de las barreras y facilitadores presentes en 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, considerando 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 prioritario en esta población. Es necesaria una política a nivel nacional, considerando las diferencias en varios contextos, en la que las mujeres en general, no solo las sobrevivientes, puedan llevar a cabo un estilo de vida que se considere de forma integral y mediante trabajo grupal y comunitario. Es necesario considerar no sólo los factores individuales que afectan un estilo de vida saludable, 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 causan un efecto negativo, debido a las actividades desarrolladas por los seres humanos. Así mismo, 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 mujeres con sobrepeso y consumo deficiente 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 residiendo 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, factores de riesgo, biomarcadores y 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 las barreras que impiden que los cambios en la dieta y AF se lleven a cabo y permanezcan con el tiempo. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los estudios que se mencionan en este documento, realizados en el transcurso de 11 años.

Tabla 1. Resumen de los estudios realizados en cáncer de mama y factores de riesgo/protectores relacionados con la nutrición en Sonora: periodo 2010-2021.

Estudios	Logros/Resultados principales/ Conclusiones	Referencias
Análisis de fitoestrógenos en alimentos, suero y orina	-Estandarización de metodología para análisis de fitoestrógenos en alimentos, suero y orina, utilizando HPLC acoplado a masas. -Análisis de 16 fitoestrógenos en 39 alimentos para tabla de composición de alimentos. -Bajo consumo de fitoestrógenos en la dieta de las mujeres sonorenses.	-Chávez-Suárez et al., 2012. -Palma-Duran et al., 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 et al., 2022
CaMa, comorbilidades, biomarcadores y salud mental	-Estandarización de la técnica para medir longitud telomérica. -Las sobrevivientes de CaMa con obesidad y diabetes tienen biomarcadores de peor pronóstico, acortamiento de telómeros y mayor presencia de síndrome metabólico. - Las mujeres con CaMa presentaron 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. -Mejóro la ansiedad rasgo, calidad de sueño, calidad de vida y optimismo. -Los cambios en el estilo de vida no son duraderos, se presentan barreras.	-Navarro-Ibarra, 2019 -Quintana-López, 2019 -López-Díaz, 2021 -Navarro-Ibarra et al., 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

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 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, MM. (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. Hermosillo, Sonora. Enero 24, 2012].
- Chávez Suárez, KM. (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. Hermosillo, Sonora. Enero 25, 2012].
- 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, KJ. (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 maestría. CIAD, A.C. Hermosillo, Sonora. Diciembre 19, 2016].
- Díaz-López, KJ. (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. Hermosillo, Sonora. Septiembre 14, 2021].
- 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., 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., & 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., 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, AP. (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. Hermosillo, Sonora. Diciembre 19, 2017].
- 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., 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., 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

- Lizarraga, S. y Arraya, M. (2001). Entrevista motivacional. *Anales. Sin San Navarra*, 24(2):43-53.
- Martínez Sánchez. 2022, Oct 24. 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., 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., 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 Womens 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, MJ. (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. Hermosillo, Sonora. Noviembre 22, 2019].
- 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., 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, VA. (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. Hermosillo, Sonora. Noviembre 22, 2013].
- Quintana López, VA. (2019). Programa de intervención dietaria y de actividad física con el enfoque de la entrevista motivacional para mejorar el bienestar emocional y densidad mamográfica de mujeres sobrevivientes de cáncer de mama. Tesis de doctorado. CIAD. Hermosillo, Sonora. Noviembre 15, 2019].
- Revees, K., Gierach, G., 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. y 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. Hermosillo, Sonora. Diciembre 11, 2020].

- 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 maestría. CIAD, A.C. Hermosillo, Sonora. Febrero 5, 2020].
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., 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., 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.ejca.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., 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, KB. (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 maestría. CIAD, A.C. Hermosillo, Sonora. Febrero 21, 2020].
- Yocupicio Yescas, KL. (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. Hermosillo, Sonora. Septiembre 18, 2020].

CONFIDENCIAL

Capítulo 3

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

Heliodoro Alemán Mateo^{1*}, Julián Esparza Romero¹, Miriam T. López T², Helen J. Vidaña E¹.

¹Coordinación de Nutrición, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, Colonia La Victoria. CP 83304. Hermosillo, Sonora, México.

²Dirección de Nutrición, Departamento de Nutrición Aplicada y Educación Nutricional. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, INCMNSZ. Vasco de Quiroga 15, Belisario Domínguez Sección 16, Tlalpan, 14080 Ciudad de México, CDMX.

*Autor para correspondencia: E-mail: helio@ciad.mx

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reconoce que México es un país envejecido, 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 del estado de nutrición. El estado de nutrición es la condición resultante de la ingestión de alimentos y 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 envejecimientos 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, MNA por sus

siglas en inglés (Vellas et al., 1999). Con esta escala y de acuerdo con el puntaje, se puede diagnosticar estado de nutrición normal, riesgo de desnutrición (RD) y desnutrición. También, existen criterios específicos para evaluar y diagnosticar desnutrición e identificar aquellos adultos mayores con 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 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. Así mismo, 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). Así mismo, 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 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 ingestión 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 claves 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 desnutrición. Hace aproximadamente una década y media realizamos un estudio con diseño transversal. En dicho estudio, los participantes se eligieron 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. Con este criterio, un adulto mayor tenía desnutrición si presentaba al menos un parámetro antropométrico y uno bioquímico alterado. La prevalencia de desnutrición en los adultos mayores de la comunidad en 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 desnutrición, utilizando para ello, el punto de corte de $\text{IMC} < 22 \text{ kg/m}^2$. Al observar la prevalencia estimada solo por IMC la prevalencia disminuyó a 9%.

En otro estudio con 245 adultos mayores residentes en una alcaldía de la Ciudad de México se evaluó el estado de nutrición con 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 promedios significativamente más bajos de grasa corporal comparado con los sujetos con estado de nutrición normal y aquellos con obesidad. Mismos resultados se observaron cuando se comparó el peso corporal en esta muestra de adultos mayores del centro de 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 afectación 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 incluyendo a los estudios a nivel nacional con muestreo probabilístico (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), no siendo así 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 1 muestra la prevalencia de 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 de país (González-Franco et al., 2020) y del centro (López-Teros et al., 2021; Pérez-Lizaur et al., 2013; Vidaña-Espinoza et al., 2024). Con 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).

Tabla 1. Prevalencia de riesgo de desnutrición diagnosticado con la MNA en adultos mayores de la comunidad.

Autor	Diseño del estudio y lugar	Tipo de muestreo	N	Edad*	Prevalencia
Datos no publicados	Transversal Sonora	No probabilístico	40	68.9 $\pm$ 6.4	52.5%
Pérez-Lizaur et al., 2013	Transversal CDMX	No probabilístico	245	74.8 $\pm$ 9.1	31.0%
González-Franco et al., 2020	Transversal Yucatán	No probabilístico	96	76.9 $\pm$ 8.5	47.9%

López-Teros et al., 2021	Transversal CDMX	No probabilístico	825	70.3 ± 10.8	30.3%
Vidaña-Espinoza et al., 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.

Con respecto a la incidencia de RD diagnosticada por la misma escala de la MNA, en un análisis secundario de los datos generados en el estudio de cohorte prospectivo “Fragilidad, Dinapenia y Sarcopenia en Adultos Mexicanos (FraDySMex)” realizado por investigadores de la Universidad Iberoamericana 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 sobre 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 que tiene el RD en los adultos mayores. En nuestro país, los mismos investigadores un año después, reportaron por primera vez a nivel mundial que los adultos mayores con RD evaluado con la MNA en su versión corta y extensa se asoció significativamente con mayor riesgo de desarrollar sarcopenia a los 4.1 años de seguimiento (Vidaña-Espinoza et al., 2024).

Es ampliamente reconocido 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 IMC ≥ 30 kg/m².

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 utilizando 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, por el IMC ≥ 30 kg/m². 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 ≥ 9.0 kg/m², respectivamente; mientras que para las mujeres fueron $\geq 43.8\%$ y ≥ 12.0 kg/m², respectivamente. Para los hombres del Caribe, los puntos de corte fueron $\geq 26.8\%$ y ≥ 6.0 kg/m², y para las mujeres $\geq 41.6\%$ y ≥ 11 kg/m². La prevalencia de 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% (Alemán-Mateo et al., 2024).

En el estudio anteriormente citado, también se probó la exactitud del punto de corte del IMC ≥ 30 kg/m² para la detección de la obesidad en adultos mayores de ambas regiones. Los resultados mostraron que el punto de corte del IMC ≥ 30 kg/m² presenta 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.

Resultados similares se encontraron en los adultos mayores caribeños. Por lo tanto, los investigadores basados en las curvas ROC (por sus siglas en inglés

Receiver-Operating-Characteristic) generaron puntos de corte basados en el IMG, los cuales mejoran la exactitud del IMC para diagnosticar obesidad en hombres y mujeres latinoamericanos y caribeños, obteniendo 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 (Alemán-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. Con 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 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 ingestión 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. Así

mismo, 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 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 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 desnutrición evaluado por MNA o criterios específicos para 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 serio problema de salud pública en este grupo etario.

Los datos sobre la prevalencia de RD en nuestro país señalan que es más elevada ¹ 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, llegando hasta un 52.5%. Los adultos mayores con RD posiblemente tienen 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; IC95% 1.53–16.58) (Kiesswetter et al., 2014) y sarcopenia (RM 9.87; IC95% 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 ¹ 9.28 veces más riesgo de desarrollar sarcopenia al paso de los 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 a los 4.2 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 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 ingestión de alimentos, pérdida de peso y dificultad para comer. Este criterio ha sido validado y asociado con 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 con estos criterios mencionados anteriormente.

Con respecto al sobrepeso y 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 tiene 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 sobrepeso y obesidad, su confiabilidad para diagnosticar 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 obesidad más allá del IMC. Hoy en día, se cuenta con más evidencia sobre las limitaciones del IMC para diagnosticar 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 IMC ≥ 30 Kg/m². tiene 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). Con respecto al desempeño físico, recientemente publicamos un estudio donde se encontró una prevalencia de alteración en el desempeño físico de 14.3%. Así mismo, se demostró que por cada aumento en una unidad de IMG, kg/m^2 , los adultos mayores tenían mayor riesgo de tener 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, 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 desnutrición en adultos mayores de nuestro país es baja. Sin embargo, la prevalencia e incidencia de RD diagnosticado por la MNA son altas. Así mismo, la prevalencia de 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. 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, mayor riesgo de morbilidad y pérdida del desempeño físico. Estas cifras si bien no vienen de estudios con muestreo probabilístico y representativo, nos deberían de inquietar e impulsar a evaluar el estado de nutrición con 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., Ramirez-Zea, M., Ferrioli, E., Ndour, R. N., Hernández-Triana, M., Salazar, G., & 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., & Valencia, M. E. (2008). Prevalence of malnutrition and associated metabolic risk factors for cardiovascular disease in older adults from Northwest 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., & 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., Avila, J., & Jerónimo BV. (2004). *Scale to Identify Energy-Protein Malnutrition in the Older Hospitalized Adult*. 42(5), 387-394.
- Avila, J. C., Samper-Ternent, R., & 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., Garcia-Mayo, E. J., Guiérrez-Robledo, L. M., & Miguel-Jaimes, A. (2007). *Dependencia funcional y enfermedades crónicas en ancianos mexicanos*. 49(4), 459-466.
- Böhm, A., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & Alemán-Mateo, H. (2007). [Validity of an equation based on anthropometry to estimate body fat in older adults]. *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 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., 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., Bøhmer, T., & 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., & 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., & 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., & 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., & Osuna-Ramírez, I. (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., Aleman-Mateo, H., & 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., & 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., & Cruz, M. G. (2007). [Prevalence of hyponutrition 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & Albarede, 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., & 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., & 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., & Palloni, A. (2007). *Adultos mayores mexicanos en contexto socioeconómico amplio: Salud y envejecimiento*. 49(4).

Capítulo 4

Obesidad y estilo de vida en 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 E. Valencia

Unidad de Investigación en Obesidad y Diabetes, Coordinación de Nutrición,
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC.

*Autor para correspondencia: julian@ciad.mx

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 y por su significativo aumento en las últimas tres décadas (NCD-RisC, 2024). En la población mexicana, la obesidad también se 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 período 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) y a la reducción en la actividad física (AF) (NCD-RisC, 2024; Rodríguez-Ramírez et al., 2022).

Las poblaciones indígenas, en México y en todo el mundo, se encuentran enfrentando una notable transición en sus estilos de vida, pasando de un estilo tradicional y más saludable, a uno moderno y menos saludable, explicado principalmente por el aumento en la mecanización en el trabajo y al 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 su 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 con un enfoque epidemiológico nutricional y de salud pública en tres grupos indígenas de Sonora. Los tres grupos viven bajo 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, pesca tradicional y recolección y más recientemente, en la pesca comercial, venta de artesanías y el ecoturismo.

En los tres grupos étnicos, el estado nutricional se evaluó con el 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 por 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 diseño transversal desarrolladas en adultos de 20 años o más de los tres grupos indígenas mencionados. En 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); en Seris, fue de un estudio realizado en el 2014 (Robles-Ordaz et al., 2018) y en Yaquis la información utilizada fue de uno 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 un 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 del 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 obesidad abdominal y de algunas comorbilidades como hipertrigliceridemia, hipercolesterolemia, hipoalfalipoproteinemia (bajo HDL), hipertensión arterial, diabetes tipo 2 (DT2) previamente diagnosticada y DT2 total se compararon entre los PIMASON (2010, n=359), Seris (2014, n=227) y Yaquis (2017, n=351) con obesidad. En Yaquis la hipertrigliceridemia, hipercolesterolemia, hipoalfalipoproteinemia (bajo HDL) y DT2 total, se evaluó 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) y para los Pimas mediante el recordatorio de 24h (R24h), aplicado en dos días no consecutivos. La AF se evaluó utilizando la misma metodología de 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 ($IMC \geq 30 \text{ kg/m}^2$). 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 estratificado por sexo.

RESULTADOS

Los Pimas mexicanos son un grupo indígena establecido en la comunidad de Maycoba y poblados aledaños, perteneciente 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, 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, al 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, al 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, bajo un estilo de vida netamente occidentalizado (Schulz et al., 2006).

OBESIDAD Y ESTILO DE VIDA EN PIMASON Y PIMARIZ

Comparado con los PIMASON, la prevalencia de obesidad en los PIMARIZ fue 5.9, 9.7 y 3.8 veces mayor, tanto en la población total, así como en hombres y mujeres (PIMARIZ 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 PIMARIZ 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 PIMARIZ 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 PIMARIZ que en los PIMASON (PIMARIZ: 26.9 ± 11.7 vs. PIMASON: 52.2 ± 13.6 g/día). Resultados similares se encontraron al estratificar 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). Al 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 obesidad y obesidad abdominal en los PIMASON. Comparando con lo encontrado en el estudio de 2010 vs. 1995, la prevalencia de 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, esta fue 1.8 veces mayor en 2010 vs. 1995 (42.9 vs. 24.1), y 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).

Con relación al 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/día 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 y en mujeres 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 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 Pimas (21.4 vs. 15.3), lo contrario sucedió en las mujeres (28.7 vs. 37.0).

Tabla 1. Prevalencia de obesidad total y obesidad abdominal en Pimas, Seris y Yaquis

Grupos	Total	Hombres	Mujeres
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

Comparando entre Yaquis, Pimas y Seris, la obesidad abdominal fue 1.1 y 1.2 veces mayor en Yaquis que 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 que en 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 en el caso de las mujeres (37.0 vs. 28.7) (tabla 1).

3 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 Seris, seguido de Pimas y 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 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 Seris, seguido de Yaquis y Pimas [20.6 (16.6, 25.4), 17.3 (12.6, 24.5), 6.2 (4.9, 8.1)] y la AFOV fue mayor Pimas, seguido de Seris y 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 Seris, seguido de Pimas y 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 Seris, seguido de Yaquis y 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

hipertrigliceridemia [Seris, Pimas y Yaquis: 36.2, 51.0 y 34.9 (de submuestra Yaqui)] e hipoalfalipoproteinemia [60.3, 97.0 y 90.1 (de submuestra Yaqui)] fue mayor en Pimas; sin embargo, la prevalencia de hipercolesterolemia [55.2, 13.5 y 16.7 (de submuestra Yaqui)], de hipertensión arterial (55.0, 33.3 y 26.3), de diabetes previa (30.0, 8.3 y 13.5) y de 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 PIMASON Y PIMAARIZ

La prevalencia de obesidad, obesidad abdominal y la media del porcentaje de grasa fueron menores en los PIMASON comparado 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 período 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 de tiempo, 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 ³ que en los Seris y Pimas; estos dos últimos con prevalencia de obesidad similares. La prevalencia reportada en población rural de Sonora (30.4%) (ENSANUT-Sonora, 2012), fue menor que en 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 notables prevalencias de algunas comorbilidades, como las ya descritas. Dietas altas en densidad energética se han asociado con mayor obesidad. ³ 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 Seris el 64.8% proviene del consumo de frijol, tortilla de harina, lentejas, verduras, y tortilla de maíz. Para 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 mantienen 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 Pimas se utilizó el R24h y en Seris y Yaquis el CFCA. Sin embargo, la limitación del R24h con respecto a CFCA se redujo al aplicar el R24h en dos ocasiones no consecutivas. En el caso Pima, los estudios de comparación incluyeron la misma herramienta para el estudio de la dieta (R24h), por lo que se esperaba que el efecto por el uso del R24h fuera similar en 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 Pimas y Seris pudiera ser mayor, si se hubieran realizado al mismo tiempo que el estudio Yaqui. Las fortalezas de este trabajo, es que las tres investigaciones se realizaron con rigor metodológico. La dieta en Yaquis y 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 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 por 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 e implementación de proyectos de prevención culturalmente aceptables por nuestro grupo de trabajo, enfocado en la promoción de estilos de vida saludables, tanto en adultos como en escolares, con beneficios en su salud y el bienestar en general de estos grupos vulnerables.

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

La atención oportuna por parte de las autoridades de salud, con el fin de promover 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, 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 LS, Begay RC, Schulz LO (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 and 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 (INSP), Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT 2012) (2013). 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, and E. Ravussin (2024). Energy Expenditure and Physical Activity Over 15 Years of Environmental Changes: The Maycoba Project. *Obesity*. <http://doi: 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. Díaz Zavala, M.G. Lavandera-Torres, 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 and 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.
- Schulz, L.O, P.H. Bennett, E. Ravussin, J.R. Kidd, Kidd KK, 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>.

CONFIDENCIAL

Capítulo 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

Coordinación de Desarrollo Regional. Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, AC. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, N0. 46, Colonia La
Victoria, 83304 Sonora, México.

* Autora para correspondencia: dominguez@ciad.mx

INTRODUCCIÓN

El ingreso a la universidad marca el comienzo de la educación superior para jóvenes, permitiéndoles 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). 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 caracterizados por ser 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 en menor frecuencia e intensidad a los Trastornos de la Conducta Alimentaria. Se caracterizan por la ingesta o la restricción de alimentos, 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 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 padecen en diferentes grados un trastorno de alimentación, 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 en 2020 de 2.05 y en 2022 de 4.7 con un incremento de 2.2 (INEGI, 2023). En el país, las CAR han incrementado, especialmente a partir de la pandemia por COVID 19 manifestándose como 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 donde predominan las 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 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 hace referencia a “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).⁴ Múltiples son los 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 actividades deportivas y sociales, e influir para 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 el 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, seleccionados 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, 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 para los estados de ansiedad y

depresión 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 haciendo”, “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, 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 auto reporte como indicador válido a partir de los trabajos de (Unikel et al., 2009 y Díaz et al., 2019).

CONSIDERACIONES ÉTICAS

19 El cuestionario se aplicó previa autorización 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 carta de consentimiento informado en la cual se aseguraba la confidencialidad y anonimato de la información generada. y se eliminó cualquier elemento que pudiera dar cuenta de la identidad de los y las participantes.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

26 Los datos fueron procesados en una base de datos y analizados con el software estadístico SPSS 18. Se utilizaron frecuencias, porcentajes y comparación de medias con la prueba ANOVA, para contrastación de grupos y estimación de 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 primero y segundo, 47.5% tercero y cuarto y 30.1% 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, 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 músculos (Tabla 1).

Tabla 1. Conductas alimentarias de riesgo por sexo

Hombres (%)	Mujeres (%)
-------------	-------------

Indicadores	No	Algunas veces	2 o más veces por semana	No	Algunas veces	2 o más veces por semana	χ^2	p
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*
Para tratar de bajar de peso:								
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 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.

Respecto a la prevalencia de las conductas alimentarias de riesgo, la mitad de los participantes de 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 bajo con la presencia de estos síntomas. Es importante destacar que 15% y 17.3% respectivamente, se encuentran en un nivel de riesgo alto.

Al contrastar indicadores sociodemográficos con los niveles de riesgo *bajo* y *alto* de CAR, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estudiantes que trabajan y 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 vivir o no en una familia nuclear ($X^2=.326$, $p=.318$), cursar primeros vs. últimos semestres ($X^2=.715$, $p=.314$) y promedio de calificación menor o mayor a 85 en el último semestre cursado ($X^2=.050$, $p=.460$).

En cuanto a la percepción de bienestar, el análisis por sexo muestra que ⁴87 % de los varones y 79 % de las mujeres se ubicó en un nivel de “medio” a “muy alto”. En un nivel de “bajo” a “muy bajo” se ubicó el 13 % y 21 % de hombres y mujeres, respectivamente, diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

El análisis ^{que} relaciona los niveles de bienestar y 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 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 ($p \leq .05$).

Tabla 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*

* $p \leq .05$ Diferencias estadísticamente significativas

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la percepción de los y las estudiantes sobre su peso y su imagen corporal, muestra que una tercera parte de ellos(as) se percibe como muy 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 percibe 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 redes sociales (Requena, Requena y Reyes, 2019; Pérez y Montaña, 2020).

La Tabla 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 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 ($p \leq .05$).

Tabla 3. Índice de felicidad en estudiantes universitarios en relación con la autopercepción del peso corporal

Dimensión	Autopercepción sobre 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	7.507	13.717	.000*
Bienestar subjetivo	5.25	5.90	6.66	6.58	5.70	9.634	.000*
Bienestar general	6.27	7.45	8.13	8.10	6.711	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*

* $p \leq .05$ Diferencias estadísticamente significativas

Fuente: Elaboración propia.

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, hacer cambios en los modos de comer y en el tipo de alimento que se consume tratando de alcanzar el ideal corporal demandado socialmente. Datos similares reporta Escolar et al. (2017) que refieren que son las mujeres quienes suelen presentar mayor obsesión por la delgadez y recurren a la restricción de alimentos; mientras 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 participantes destacan principalmente el que la/el estudiante trabaje, así como el ingreso recibido. Silva et al. (2109) refiere 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 tiene que responder 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 favorecer la presencia de CAR.

Los resultados ⁴ presentados 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 presentan una tendencia a percibir mejor bienestar en su entorno. ⁴ lo que desde una perspectiva de género puede explicarse por el prestigio que aún mantienen los roles masculinos (Abril et al., 2022; Pérez et al., 2015).

Con relación al nivel de riesgo alimentario y el bienestar percibido, quienes presentaron 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 quienes se percibieron como “gordas” en comparación a 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 donde a las mujeres, socialmente, se les recuerda constantemente la importancia que posee la apariencia física y el valor de tener una figura delgada, y que el comer poco es más cercano a los atributos femeninos (Behar, 2010; Meléndez et al., 2018).

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, transitan con sentimientos de infelicidad y bajos índices de bienestar. Es necesario fomentar programas de educación nutricional y deconstruir los estereotipos estéticos asociados al peso corporal, para favorecer que los usuarios elijan opciones saludables que promuevan su salud 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., 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, AM., Sánchez, S., Bermejo, ML., Franco, L., García-Herráiz, MA., & 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, & 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 & 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 & 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_0577105509-86ee-444e-baf0-be6e6fe384da](https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Salud_Mental_0577105509-86ee-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>
- PIEEG (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., 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 [Links]
- 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%20C%20anorexia%20y%20los%20atracones&text=Se%20estima%20que%20C%20en%20M%C3%A9xico,Hospital%20Psiqui%C3%A1trico%20Infantil%20%E2%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 & 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>

Capítulo 6

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

Jaqueline García-Hernández^{1*}, Juan Pablo Gallo-Reynoso¹,
Arturo Ramírez-Valdez¹, Alfonso Gardea-Béjar¹

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Subsede Guaymas.
Carr. al Varadero Nal. Km 6.6 Col. Las Playitas. Guaymas, Sonora, México. C.P.
85480.

*Autora para correspondencia: jaqueline@ciad.mx

CONFIDENTIAL

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 producción de biomasa, abundancia de especies, presencia de especies en peligro o proporciones de 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 población (sexo, proporción, variabilidad morfológica, etc.), hábitat (zonas ribereñas, densidad de follaje, etc.) y paisaje (conectividad, fragmentación, tamaño de parche, etc.). El tercer nivel, la “función” engloba el total de los procesos ecológicos, como los procesos demográficos o 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 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 a 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 microbiológica 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 incrementando la fijación de nitrógeno y 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 accidentada topografía y compleja geología, 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, en reptiles 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 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 megadiversa, 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, estaremos explorando el valor de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en diferentes regiones del estado de Sonora en donde se llevan a cabo actividades productivas como 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 de conteo por puntos (Ralph et al., 1996). Para evaluar las preferencias de las aves a 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 colocados en la zona agrícola durante la temporada de aplicación de plaguicidas y en temporada sin aplicación, a las aves colectadas se les extrajo muestras de sangre y se liberaron en sitio, las muestras se analizaron para biomarcadores de exposición de plaguicidas que fueron inhibición de acetilcolinesterasa, presencia de micronúcleos y anormalidades 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 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 asociarlos 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 zonas de mayor diversidad de especies, 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 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 semiárida 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, Figura 1).

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, aportando agua no solo al sur de Sonora, sino también al río Fuerte en Sinaloa.

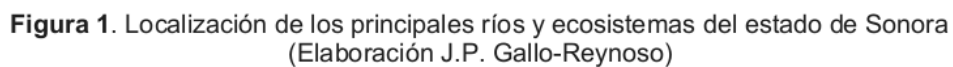
Otros ríos como el Sonora, el Mátape, el Cocóspera, y el San Pedro también son importantes, debido a que son áreas de gran diversidad, además que sus

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 (Fig. 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 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 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.



Junto con el cambio de vegetación, también hubo un cambio en la diversidad de aves, ya que se desplazaron a las especies desérticas hacia las orillas de los valles, mientras que dentro de los valles agrícolas ahora se encuentran especies de hábitats acuáticos y riparios que han llegado atraídas por la abundancia de alimento y 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 (4,159 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 ecotoxicológicos, demuestran 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 es la que se encarga de la transmisión de las señales nerviosas y su disminución afecta el vuelo, localización de alimento, 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 anormalidades 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 a las poblaciones de aves, para 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 control de plagas, polinización, fertilización, entre otras, es importante que se transite hacia una agricultura regenerativa, en donde se regule el uso de agroquímicos, utilizando los menos tóxicos, 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, valor económico asociado a la producción y 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 el 2023 (GES, 2024). Las oficinas pesqueras de Guaymas, Bahía Kino, Ciudad Obregón y Huatabampo concentran la mayor la 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, en 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 éstos 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 pueden 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 a específicas especies.

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, 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, mayores beneficios económicos deberían observarse 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), mayor biodiversidad no necesariamente soporta mayor producción pesquera en todos los casos. Aún más, la biodiversidad y el bienestar social no tiene una relación directa, principalmente debido a la complejidad de las cadenas productivas y el entorno social.



Figura 2. Análisis de SIG identificando las regiones con mayor diversidad marina costera en el litoral sonorense (Elaboración A. Ramírez Valdez).

BIODIVERSIDAD Y GANADERÍA

La composición y el estado de los diferentes biomas que se encuentran en el territorio que hoy conforman al estado de Sonora se vieron afectados desde la llegada de los europeos a este territorio. Hay consenso entre los estudiosos 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 industria 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 e indiscutible sanidad. Más allá de las cifras macroeconómicas, la ganadería representa mucho más que eso, tanto histórica como culturalmente y sigue siendo el pivote central

en 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 hacia otras actividades económicas como ecoturismo, fototurismo, avistamiento de fauna (aves en particular) y turismo rural. En la demarcación geográfica mencionada arriba es posible observar al natural la concurrencia de especies de otras latitudes como: águila real y águila calva, guacamayas verdes y cotorras serranas, pumas y jaguares, castores y nutrias neotropicales, osos negros y 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 puma, jaguar, oso negro y caninos ferales. Evitando la cacería furtiva se garantiza una mayor disponibilidad de especies presa, y de manera concomitante disminuye la depredación.

Otra área de oportunidad que entre la academia, el sector oficial y ONG's hemos explotado, es el desarrollo de proyectos productivos diseñados para mejorar la calidad de vida en el sector rural, con acciones como aseguramiento de la calidad de productos artesanales como quesos y carne seca, recuperación de recetas típicas de la región, producción de bacanora, producción de forraje hidropónico para paliar el efecto de la sequía, elaboración de artesanías con materiales locales (actividad diseñada para jóvenes); y 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, como eje central, con actividades puntuales para los varones. Aunque lo anterior está estrechamente determinado por el financiamiento para detonar/acompañar las acciones detalladas.

Es muy importante señalar esfuerzos 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 piedemonte 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's concurrentes.

Lo anterior se traduce en mejoramientos en la calidad del hábitat con repercusiones positivas, tanto para las especies silvestres como en 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 ganadería 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 que 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 limitativa (Tapia, 2012).

La segunda es la cacería furtiva la cual se practica al margen de la ley, 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 en el jabalí de collar. Esta cacería es donde se buscan los trofeos, es decir los animales que llegan a desarrollar características con puntajes que puedan 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) otorgados 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, que va 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

normas en cuanto a la conservación del medio ambiente. Algunas UMA's también son ranchos ganaderos, por lo cual, en la temporada de caza, muchos potreros están solamente dedicados a las actividades cinegéticas, retirando las actividades ganaderas hacia 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- por SEMARNAT (Bravo et al., 2024). De esta manera se amplían significativamente los esfuerzos de conservación de 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 gran diversidad de aves, están siendo afectadas por el uso intensivo de plaguicidas, por lo que es prioritario cambiar el modelo agrícola y transitar hacia una agricultura sostenible.

En la pesca, si 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, ha 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, cosecha de lluvia, y la inclusión de las mujeres de manera transversal en todos los proyectos, han mejorado este panorama y necesitan todo el apoyo 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, es una buena señal por parte de la sociedad, en donde ya 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 para la sobrevivencia del ser humano.

REFERENCIAS

- Barceló Quintín, R.O. Eusebio Francisco Kino. Real Academia de la Historia. (Accesado en 11 junio 2024). <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). Biodiversity: 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>
- CONABIO – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (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 la 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. Acceso en línea: <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. Consultado 10 junio 2024.
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463910534>
- INEGI. (2020). Censo de población y vivienda. Consultado en 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 Freaner, F.E. y T.R. van Devender (Ed.) *Diversidad biológica de Sonora* (pp.129-157). México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Molina Frenner, 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. Consultado el 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 habit attracted threaten migratory species?. *PeerJ*, 3, <https://doi.org/10.7717/peerj.1187>
- Schläpfer, F., B. Schmid e I., Seidl (1999). Expert estimates about 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.

CONFIDENCIAL

Capítulo 7

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

Sonia Araceli Soto Rodríguez^{1*}, Rodolfo Lozano Olvera¹, Francis Isela Marrujo López¹, Karla Guadalupe Aguilar Rendón¹.

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Subsele Mazatlán. Av. Sábalo-Cerritos s/n, Colonia Cerritos, C.P. 82112, Mazatlán, Sinaloa, México.

* Autora para correspondencia: ssoto@ciad.mx

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 a cientos de personas de 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 World Organization Aquatic Health (WOAH) reportadas en México se encuentran la enfermedad viral infecciosa hipodérmica y hematopoyética (IHHNV) [Syn = penstyldensovirus (PstDV1)] en 1989; la hepaopanceatitis necrotizante (NHP) causada por la bacteria tipo Rickettsia *Hepatobacterium penaei* en 1992; el Síndrome de Taura (TSV) de origen viral, en 1995; 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 susceptible 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 correcto diagnóstico de las enfermedades involucra la integración de todos esos análisis para identificar el agente causal y 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 comportamiento anormal, anorexia, nado errático o letárgicos, cambios de coloración en la piel o lesiones como descamación, hemorragias, úlceras, abdomen abultado, prolapso anal o 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 tricaina o eugenol (de Souza Valente, 2022) para minimizar el sufrimiento (WOA, 2023). Una necropsia minuciosa identifica la mayor cantidad de alteraciones en órganos internos, que 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 hígado, bazo, riñón, cerebro, 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, en base a 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-Rodriguez et al., 2010). Las colonias dominantes son aisladas para su caracterización bioquímica y susceptibilidad a antibióticos. Colonias representativas de cada aislado son criopreservados a -80°C (Ghera, 1994) para su caracterización molecular.

MÉTODO HISTOLÓGICO

Organismos completos o secciones de tejidos son preservados mediante 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 empleado para una preservación adecuada de los crustáceos (Lightner, 1996). Entre 24 a 48 h son mantenidos en 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 1 se muestra un diagrama de las etapas empleados 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.

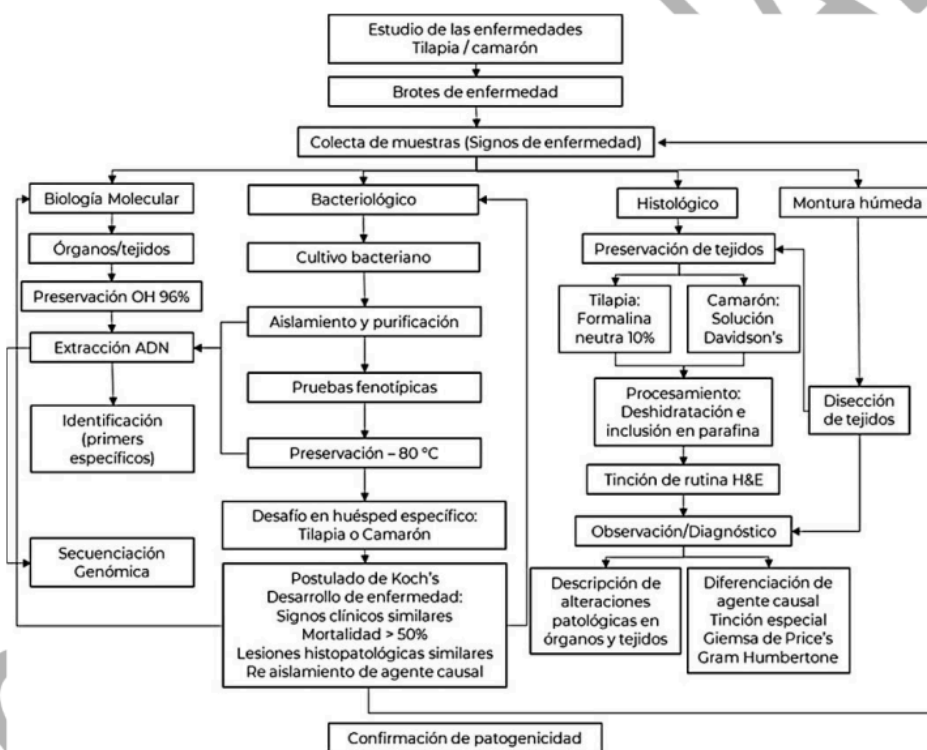


Figura 1. Diagrama que muestra el flujo de trabajo aplicado en el estudio de las enfermedades bacterianas de organismos acuáticos en CIAD subsede Mazatlán.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ENFERMEDADES DE CAMARÓN

En el 2005, los productores de camarón experimentaron mortalidad en los cultivos no asociadas 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 2A). En organismos acuáticos, generalmente las observaciones en campo no son 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 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 que luego se diseminó a través del sistema circulatorio afectando severamente órganos vitales como el órgano linfoide (Figura 2C), glándula antenal y corazón. Los brotes infecciosos se investigaron desde un enfoque multidisciplinario, lo que permitió el aislamiento e 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-Rodriguez 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-Rodriguez et al., 2012).

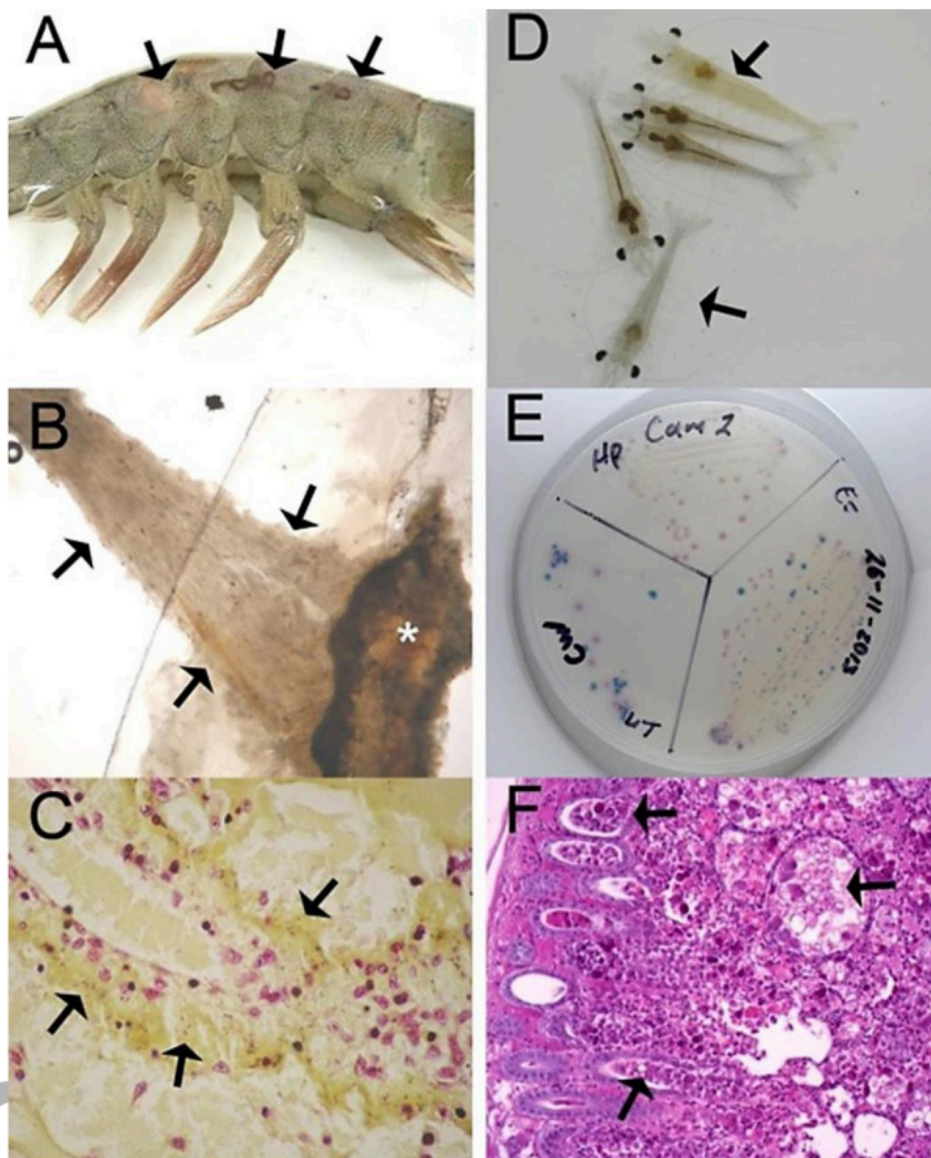


Figura 2. Camarones y tejidos de *P. vannamei* afectados por la Enfermedad de Rojos Vivos (BRS) (A-C) y AHPND (D-F). A. Signos externos, donde se observa lesiones melanizadas en cutícula (flecha). B. Microfotografía por montura húmeda con melanización cuticular (*) y necrosis de las fibras musculares (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). Todas las imágenes son inéditas. Las imágenes A, D, E fueron proporcionadas por Sonia A. Soto Rodríguez; las imágenes B, C y F fueron proporcionadas por Rodolfo Lozano Olvera.

En la década pasada, nuevamente el cultivo de camarón en México fue afectado por múltiples brotes de AHPND. Típicamente, los casos se presentaban en los primeros 30 días de cultivo causando alta mortalidad con pérdidas económicas en nuestro país y alrededor del mundo (Tran et al., 2013; Nunan et al., 2014). Camarones afectados con AHPND desarrollan letargia, hepatopáncreas pálido, tracto digestivo vacío (Fig. 2D), cromatóforos expandidos, decoloración, atrofia y disfunción generalizada del hepatopáncreas, signos acompañados de 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-Rodriguez 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 2E). Estas cepas poseen diferente virulencia causando mortalidad desde las primeras horas de infección. La enfermedad se caracteriza por ocasionar disfunción generalizada del hepatopáncreas, debido al desprendimiento masivo de células epiteliales en los túbulos de los camarones infectados (Figura 2F).

Una vigilancia y monitoreo constante es indispensable 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-Rodriguez et al., 2024a), las cuales representan un riesgo más para la producción camaronícola en el país.

A continuación, se presentan algunos de los resultados de los estudios que hemos realizado con bacterias patógenas para la tilapia del Nilo. Tilapias enfermas cultivadas en presas de Sinaloa se diseccionaron asépticamente para la toma de muestras de órganos internos para análisis bacteriológicos (Figura 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 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 3C) en el suroeste mexicano (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) en 2018, 2019, 2020 y 2022 se analizaron a 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 (Fig. 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.

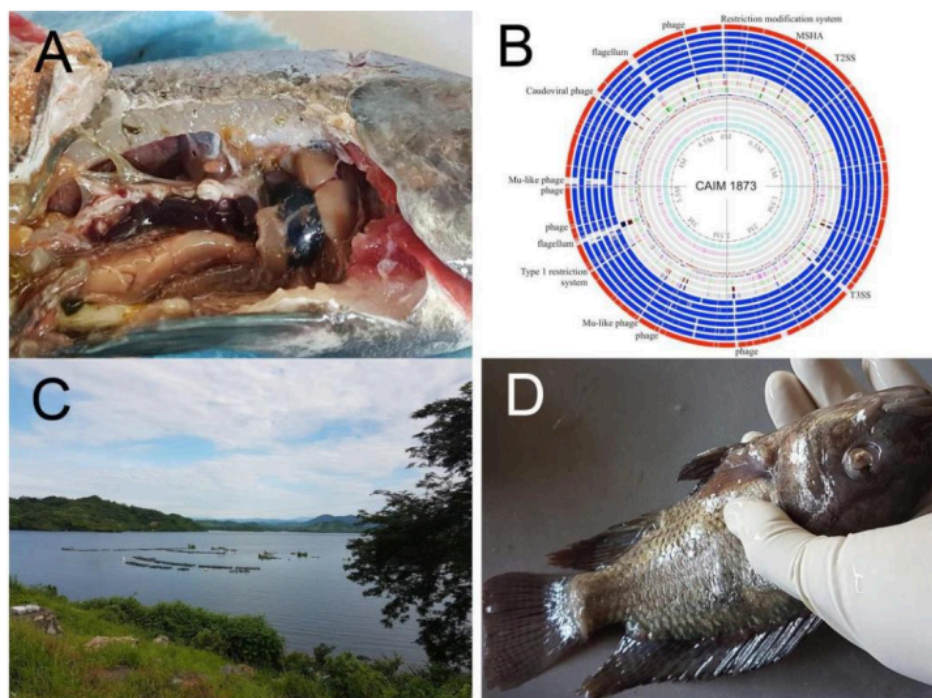


Figura 3. **A.** Disección y toma de muestras de órganos internos de tilapia (*O. niloticus*) con sospechas de enfermedad. **B.** Diagrama circular del genoma completo de *Aeromonas dhakensis* CAIM 1873. **C.** Cultivo de tilapia en jaula durante el muestreo sanitario en Chiapas. **D.** Tilapia con signos de enfermedad como lesiones en piel y ojo. Todas las imágenes son inéditas. Las imágenes A, C y D fueron proporcionadas por Francis Marujo 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 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 brinda 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 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 producción. La identificación de los agentes causales de cada enfermedad infecciosa bacteriana mencionadas en este trabajo fueron confirmadas 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., Saksmerprome, 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. Louisiana.
- 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 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/>

CONFIDENCIAL

Capítulo 8

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

Martín Enrique Jara Marini^{1*}, Leticia García Rico¹ y Jaqueline García Hernández²

23

¹ Coordinación de Ciencia de los Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, C.P. 83304, Hermosillo, Sonora.

² Subsede Guaymas, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

*Autor para correspondencia: mjara@ciad.mx

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 las 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 a 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 esta problemática, en los que se ha monitoreado/estudiado los niveles de contaminantes metálicos en matrices ambientales y se han evaluado los riesgos a 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°29'35"N–115°03'10"O y 26°18'58"N–108°25'22"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).

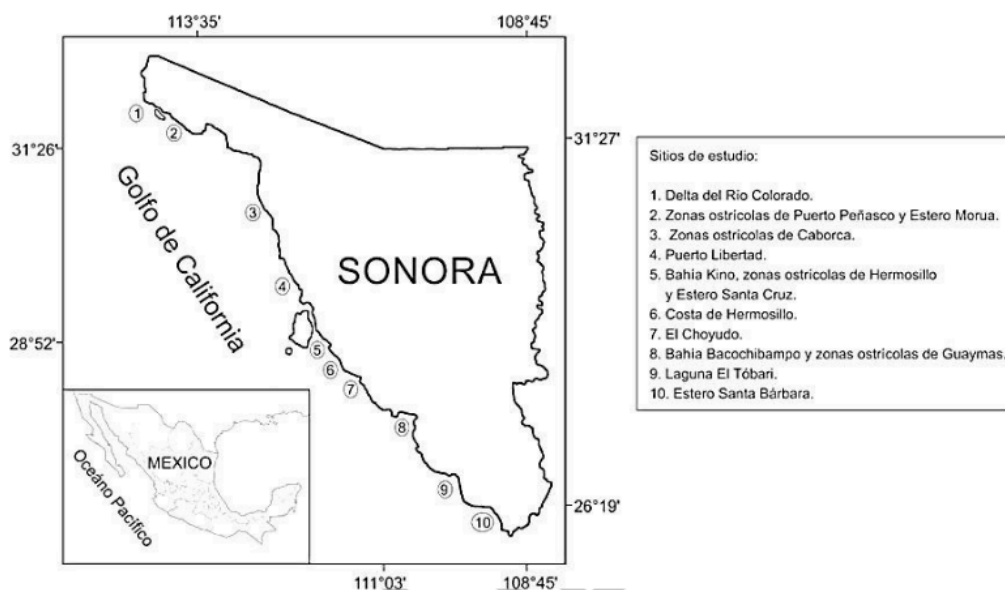


Figura 1. Áreas de estudio en la zona costera de Sonora, noroeste de México.

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 coleccionaron 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 FXLGLDD) 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 A 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, AC. (CIAD), para estimar la ingestión de componentes de alimentos.

Posteriormente se determinó el Riesgo a la Salud (RS) para cada metal(oid)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 a la salud son detalladas 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 a la salud (MacDonald et al., 1996).

Cuadro 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		

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

Referencias: 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, es de destacar el contenido de algunos elementos considerados potencialmente tóxicos, como As y Cr en los peces ($<\text{LD-}18.2\ \mu\text{g g}^{-1}$ 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; lo que es indicativo de que los isópodos son organismos acumuladores y tolerantes a este elemento, y que pueden ser usados como biomonitores a 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 ($<\text{LD-}4.54\ \mu\text{g g}^{-1}$ BS), respecto a las determinadas en los demás organismos. Asimismo, es notorio 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 a la exposición de dicho elemento.

En moluscos y los 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 a 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 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 tiene 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 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).

	Moluscos	Isópodos	Crustáceos	Peces	NOM-242-SSA1(2009)
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 Bacoichampo, aledaña a Guaymas, aunque solo Cd fue mayor al TEL; esta ciudad está 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 por 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, aunados 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 pre-escolares (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 resulta 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 a 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, disminuyendo 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, en que se ha documentado un alto riesgo a la salud que tienen grupos vulnerables como niños y 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 por el consumo de organismos es que hay una alta probabilidad de que se presenten efectos a 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, basadas en las propiedades alimenticias de este alimento (por ej. el contenido de ácidos grasos omega-3). Sin embargo, basados 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 tope en la trama alimenticia, por que 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 intra-especie; 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 en los estudios de biomonitoreo 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 en 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 por 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 a 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 a la salud por la presencia de contaminantes, proveyendo de seguridad alimentaria al disminuirlos. También es necesario evaluar los riesgos por la exposición de elementos como Mn y Pb, por la toxicidad que implica su exposición. Además, evaluar la exposición a metal(oid)es por polvos en regiones rurales, en las que esta vía puede representar altos niveles de exposición y haber riesgos a la salud en 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 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 Tobarí 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-Alvarez, 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>

Capítulo 9

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

Rosina Cabrera^{1*}, Víctor Manuel González-Mendoza¹, Juan Pablo Pérez-Camarillo²

¹CONAHCYT-Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Subsede Hidalgo. Distrito de Educación, Salud, Ciencia, Tecnología e Innovación de Hidalgo, Blvd. Santa Catarina C.P. 42163 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Subsede Hidalgo. Distrito de Educación, Salud, Ciencia, Tecnología e Innovación de Hidalgo, Blvd. Santa Catarina C.P. 42163 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

*Autora para correspondencia: rosina.cabrera@ciad.mx

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, en un área de cultivo limitada (monocultivo). Este tipo de agricultura se caracteriza por el alto consumo de insumos agrícolas; algunos como los plaguicidas, son utilizados de manera desmedida para el control de plagas y enfermedades, para garantizar el manejo del cultivo. Las prácticas agrícolas intensivas surgieron en la revolución verde entre 1940 y 1970 como un modelo para incrementar la producción de alimentos en el mundo. Si bien, las actividades agrícolas intensivas han permitido la producción de alimento, estas han provocado un desequilibrio en los sistemas de producción, evidenciándose 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 de 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 frijol, calabaza, tomate, 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 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, la 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 que 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, el insecticida diclorodifeniltricloroetano (DDT) que ocasiona un impacto negativo a la salud humana y al medio ambiente (Kabasenche et al., 2014).

En este contexto, actualmente, existe la necesidad imperante de generar estrategias para el manejo sustentable del cultivo de maíz, por lo que es imprescindible la búsqueda de 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 raíz, tallo y mazorca ocasionada por *Fusarium* spp. Además, se presenta la incidencia de 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, que 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 medio nutritivo 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 el consorcio bacteriano. La selección de los tratamientos a evaluar se realizó a partir de resultados de ensayos realizados a nivel 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*); 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 gusano cogollero. En el diseño experimental se estableció un cultivo control que correspondió a plantas sin inóculo bacteriano. A la finalización de 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 de 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 con la 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=Factor de desgranado o relación grano – olote, $FDG = PG5Mz/P5Mz$, D=Ancho de surco (m), $1000/D$ =Factor de conversión a kg/ha, R=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 generada se realizó mediante el modelo de escuela de campo (ECA), para

desarrollar capacidades y proporcionar 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 a 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 Otomí, 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 ³ agricultura de temporal, donde el cultivo de maíz, bajo el sistema milpa es una de las principales actividades productivas (Figura 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 promedio de 3.9 ha por productor. Se practica agricultura de subsistencia para el consumo familiar y 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 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 a frijol, haba y maguey, entre otros.

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 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 2 se presentan los resultados obtenidos.

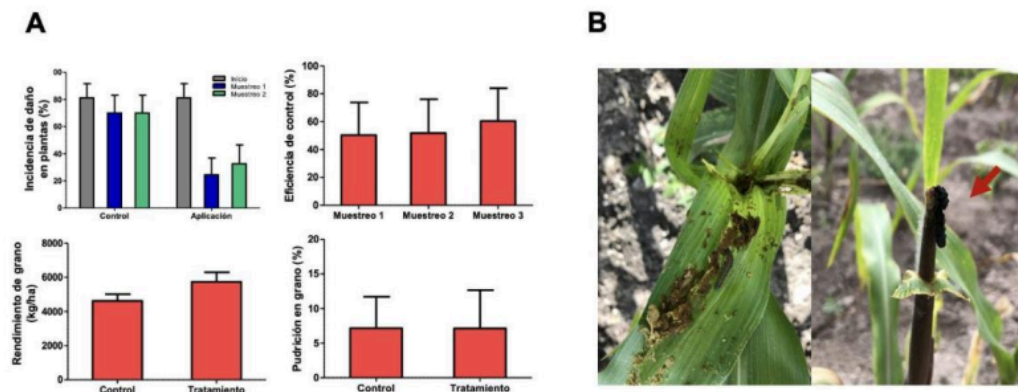


Figura 2. Impacto de la aplicación de bacterias benéficas nativas del suelo de milpa en el cultivo de maíz. **A:** Descripción de la incidencia de daño ocasionado por el gusano cogollero, la eficiencia de control, el rendimiento de grano y la incidencia de pudrición de grano. **B:** Plantas de cultivo con presencia de daño por gusano cogollero (*panel izquierdo*) y cadáver de gusano localizado en el cultivo después de la aplicación (*panel derecho*).

La incidencia de daño en el cultivo ocasionado por 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 a 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 del 16.9%. Mientras que, la eficiencia de control del tratamiento, con respecto al daño observado antes de la aplicación, corresponde al 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, representando un incremento del 19.5% en la producción. La pudrición de la mazorca también fue evaluada en la etapa de finalización, encontrando que tanto para las plantas control como para 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.

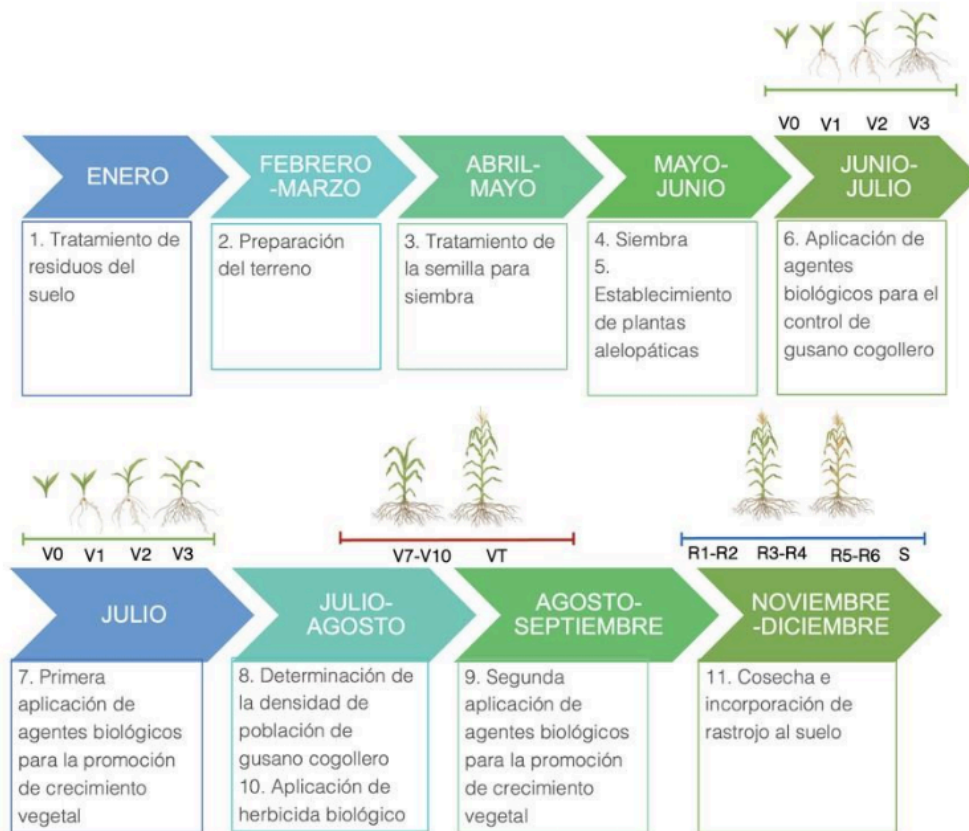


Figura 3. Plan de manejo integral para el cultivo de maíz en el Alto Mezquital, Hidalgo.

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 de 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 estadios 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 de gusano cogollero.

Para determinar la densidad de población de gusano cogollero se instalarán trampas de feromonas en las parcelas. En función de la densidad de población de insectos, se decidió la aplicación de una segunda dosis de Bt, o de algún agente químico de bajo impacto, sólo 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 para 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 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 4; CIAD, 14 de julio de 2023).



Figura 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.

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 en 19.5%. Asimismo, la incidencia de pudrición en la mazorca se mantuvo a la finalización del ciclo de cultivo en 7%. La estrategia evaluada en el presente estudio permitió controlar el daño por gusano cogollero en la etapa temprana del cultivo de maíz en un 50%. De acuerdo con información expresada por los productores de la región, históricamente la incidencia de plagas en el cultivo ha cambiado, destacando gusano cogollero y diabrotica. En el ciclo evaluado, se detectó la presencia de *S. frugiperda* en estos estadios del cultivo. En este sentido, este insecto se alimenta del follaje del maíz y como larva, penetra el cogollo de las plantas, detectando 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 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, observándose una recuperación de las plantas de maíz en la etapa de finalización e incluso, incrementar 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 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 policymaker'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., 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.
- Pérez – Camarillo, J. P. (2001). Metodología para la evaluación de cosecha de maíz en parcelas comerciales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Capítulo 10

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

□

Jorge I. León Balderrama¹, J. Crisóforo Carrazco Escalante² y Yasser E. Monsivais Neria³

¹*Coordinación de Desarrollo Regional, CIAD A.C. Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, CP. 83304. Hermosillo, Sonora, México.

²Facultad de Negocios, Unidad Regional Norte, Universidad Autónoma de Sinaloa en Los Mochis, Sinaloa.

³ Programa de Doctorado en Desarrollo Regional, CIAD A.C.; Hermosillo, Son.

*Autor para correspondencia: jleon@ciad.mx.

□

□

INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha venido cobrando cada vez mayor importancia en el suministro mundial de alimentos, y se ha constituido en 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, que 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 acelerado crecimiento de la acuicultura observado en las últimas décadas no ha estado exento de repercusiones negativas ambientales, sociales y económicas (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, entre las principales. En 2013, la producción de camarón de cultivo disminuyó más de 50% debido a las altas tasas de mortalidad ocasionadas en particular por el síndrome de la muerte temprana. 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 más 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), basada 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 a 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). En 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) sistematizan 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 desarrollado en el municipio de Ahome; destacando 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 1).

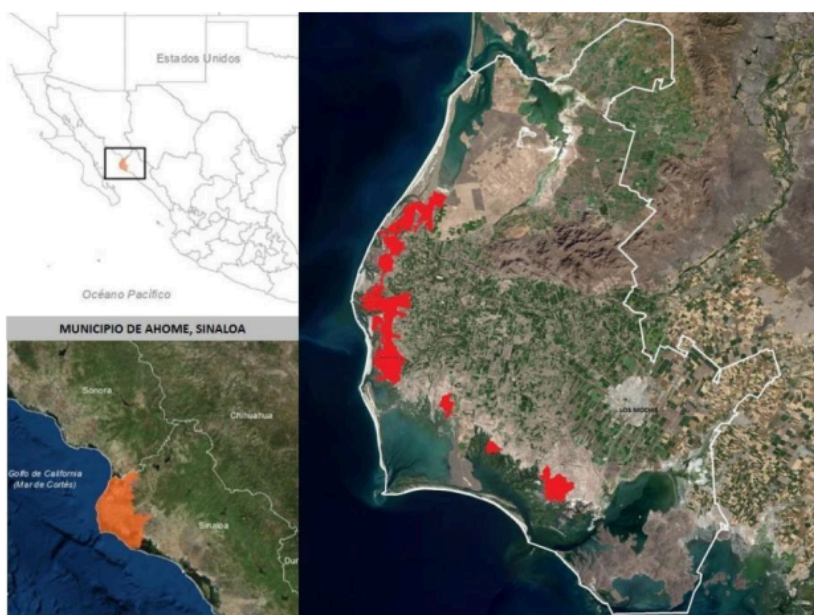


Figura 1: Ubicación de la región acuícola de Ahome

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 enumerar las personas, organizaciones o instituciones que contactan como proveedores de información o asesoramiento sobre avances tecnológicos o técnico, enfocando la atención 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 ubicación del contacto. Finalmente, en relación a cada proveedor

identificado, se pidió valorar la importancia del contacto, de acuerdo a la frecuencia de contactos y su aporte a la solución de problemas.

El análisis de la información fue realizado a través de la aplicación del enfoque de Análisis 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 1). Para la obtención de grafo e indicadores del ARS fue necesario, primero, representar los de 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 la conexión entre un par de nodos existe y un 0 de lo 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 1. Parámetros e indicadores del ARS y empleados en el estudio y su forma de cálculo

Parámetro o métrica ARS	Procedimiento para su obtención
<i>Medidas globales de la red</i>	
Tamaño, composición	Se mide por el número total de nodos 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 $\langle k \rangle$ 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.

Densidad

15

La densidad es un indicador que se obtiene del coeficiente entre el número de relaciones existentes y el número de relaciones posibles.

$$\text{Densidad} = \text{No. relaciones existentes} / \text{No. relaciones posibles}$$

Dónde:

$$\text{Número de relaciones posibles} = (N-1) \times (N-1)$$

N= número de nodos

Medidas locales de la red

1

Centralidad de grado

Este índice se calculó mediante la sumatoria del número de relaciones directas X_{ji} que tiene cada actor en la red.

$$C.\text{Grado} = \sum X_{ji}$$

20

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 la siguiente fórmula:

$$C.\text{Intermediación} = \sum g_{jk}(n_i) \cdot x_{jk}$$

Donde, g_{jk} es el número de la distancia geodésica entre j y k y $g_{jk}(n_i)$ es el número de distancia geodésica al actor i .

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:

$$C.\text{Bonacich} = A_{ij}\alpha + \beta c_j$$

Fuerza de enlaces

Valor promedio de las valoraciones proporcionadas por los informantes a los reactivos Liker (1: nula...5: muy alta) para frecuencia de los contactos e importancia 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 and 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 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 pudo ser observado en el grafo o sociograma (Figura 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 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 Acuacultores 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.

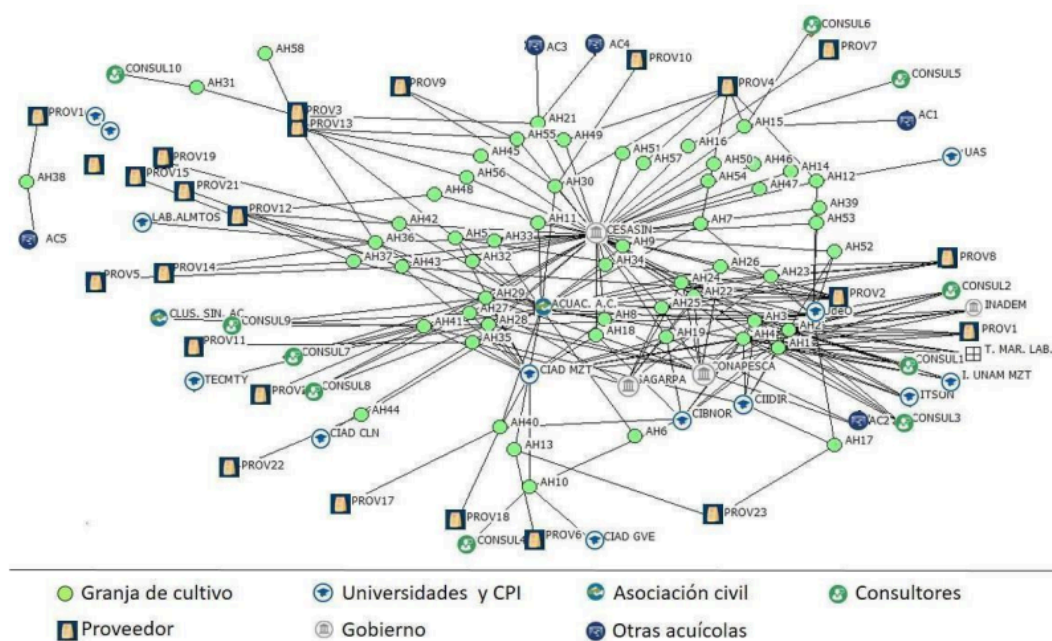


Figura 2: Grafo de la RC-TAS del cultivo de camarón en Ahome

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 2 se muestran los indicadores de centralidad de las granjas por antigüedad, tamaño y el sector. Las granjas de antigüedad media tienen centralidades más altas, lo cual indica que este grupo de empresas tienen 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 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 2. Centralidad de las granjas participantes (valores promedio)

Variable	Centralidad		
	Grado	Bonacich	Intermediación
<i>Valor promedio</i>	4.3	1,145.4	108.7
Antigüedad			
<i>De 1 a 10 años</i>	2.9	906.7	72.7
<i>De 11 a 15 años</i>	5.5	1,410.9	130.5
<i>Más de 15 años</i>	3.7	998.5	145.6
No. Empleados			
<i>De 1 a 50</i>	3.5	1,025.9	105.4
<i>De 51 a 250</i>	3.6	1,032.7	72.6
<i>Más de 250</i>	10.0	2,163.0	224.7
Sector social			
<i>Privado</i>	4.3	1,178.8	105.4
<i>Social</i>	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 3). En los 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 3: Fuerza y heterogeneidad de los vínculos sostenidos por las granjas

Fuerza	Heterogeneidad
--------	----------------

Nivel	N.º granjas	%	Nivel	N.º granjas	%
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.

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 CIIDIIR; otros organismos de gobierno (Conapesca y Sader) y un grupo de proveedores de alimentos y postlarvas, de acuerdo a sus indicadores de centralidad (Tabla 4). Cabe señalar que, entre las organizaciones gubernamentales, no se identifica la presencia del IMIPAS (instituto mexicano de investigación en pesca y acuacultura sustentables), lo cual resulta significativo dada sus atribuciones en el país como Centro de investigación para el sector acuícola y pesquero.

Tabla 4. Principales fuentes de conocimiento de la red. Indicadores centralidad y fuerza de los vínculos

Nodo fuente de conocimiento	Centralidad			Fuerza de los lazos
	Grado	Bonacich	Intermediación	
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 información de sanidad y control de la mortandad, 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.

Acuacultores de Ahome AC 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 intermediario para que el conocimiento de áreas como 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 con el 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 de la acuicultura clave e interrelacionadas: mejoramiento genético, salud, alimentación y medio ambiente. En la tabla 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.

Tabla 5. Conocimiento sobre TAS y la fuente local de conocimiento

Tecnología acuícola	Efecto en la sostenibilidad acuícola	Fuente o proveedor en la RC
I. CRIANZA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL CAMARÓN		
<i>Tecnologías de selección genética</i>		
· Poslarvas libres de patógenos · Especímenes de mayor tasa de crecimiento y conversión alimenticia	· Reducción de las tasas de enfermedad y mortandad · Uso más eficiente de recursos (mayor producción por unidad de tierra, agua, y trabajador) · Se requieren menos alimentos	Empresas regionales proveedoras de poslarvas (Rosario y Culiacán) Proveedores locales
<i>Tecnologías de selección genómica</i>		
· Tecnologías de marcadores de ADN · Mapeo del genoma · Secuenciación del genoma	· Selección más precisa de reproductores resistentes a enfermedades específicas;	CIAD-Mzt, U de O, CIBNOR, CIIDIR, ICMYL-UNAM, ITSON, CIAD-Cul, Consultor ecuatoriano
Genómica funcional	· 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

- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> · Marcadores moleculares · La integración de tec. de vanguardia como secuenciación, biosensores, CRISPR, drones, IA · Tecnologías de ADN/ARN ambiental | <ul style="list-style-type: none"> · Detección rápida de enfermedades y monitoreo en tiempo real, conduce a una mayor eficiencia y sostenibilidad. | <p>CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR-Son; CIIDIR, ICMYL-UNAM; CIAD-Cul; Gpo. Consultor Ecuatoriano, Lab. Biotec. de USA (Gene Reach)</p> |
|--|---|---|

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

- | | | |
|--|---|--------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> · Innovaciones de la nanotec. y la biotec., como uso de nanomateriales, fagos, vacunas basadas en biopelículas, fitobióticos, extractos de algas, prebióticos, probióticos y simbióticos | <ul style="list-style-type: none"> · Manejo más sustentable de las enfermedades · Reduce contaminación química · Combate resistencia a antibióticos · Múltiples beneficios para la salud, incluido un mejor crecimiento y alivio del estrés oxidativo | <p>CIAD-Mzt; One Lab Consultores</p> |
|--|---|--------------------------------------|

Genómica microbiana

- | | | |
|---|---|------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> · La secuenciación de microorganismos patógenos | <ul style="list-style-type: none"> · Diagnóstico, tratamiento y control de las enfermedades infecciosas. | <p>CIAD-Mzt;</p> |
|---|---|------------------|

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 Nutraceuticos - Desarrollo de alimentos de alto contenido de proteína - Tecnologías de peletizacion	- Reducción de la dependencia de las fuentes de proteínas y lípidos de peces marinos. - I+D en digestión animal y requerimiento de nutrientes, alimentos que generan menos excreciones y potencian el crecimiento - El uso de inmunoestimulantes y nutraceuticos reduce la mortalidad y la contaminación química. - Menos contaminación por residuos	Multinacionales de alimentos con sede en Obregón; Proveedores de Culiacán. Proveedores; CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR-Son; UAS;
IV. SISTEMAS ACUÍCOLAS MEJORADOS Y DE BAJO IMPACTO		
- Sistemas de recirculación de agua - Tecnología Biofloc, Bioaquafloc, IPRS, etc. - Sistemas integrados de acuacultura - Tratamiento de aguas	- Menor uso de tierra y agua, mediante el reciclamiento y la intensificación - Reducen la contaminación por nutrientes, desechos y químicos, mediante el tratamiento, la conversión u dilución de los desperdicios, - Reducen la mortandad	CIAD-Mzt.; U de O; CIBNOR; ICMYL-UNAM; ITSON; CIAD-Gua; UAS; One Lab Consultores; Académico U. de Auburn; Texas A&M AgriLife Lab.

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).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La visualización de la RC-TAS de Ahome mediante el grafo de la figura 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 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 Acuacultores 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 sanidad 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 Muller & 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 UyCPI 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 acuacultura. 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.) ; desarrollo de alternativas a los antibióticos químicos y genómica microbiana; la 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 reducción de la mortandad -que ha sido la principal amenaza a la sostenibilidad del sector (Kumar et al., 2023), uso eficiente de recursos naturales, conservación de ecosistemas costeros, detección oportuna y precisa de patógenos en el producto, el agua y el suelo, el manejo sustentable de enfermedades del camarón, reducción de la dependencia de proteínas y lípidos de peces marinos, menor contaminación por aguas residuales, entre otros.

□

REFERENCIAS

- Bohara, K., Joshi, P., Acharya, K.P., & 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., & Everett, M.G. (2024). *Analyzing social networks*. SAGE Publications Ltd; Edición 3rd.
- Boyd, C.E., D'Abramo, L.R., Glencross, B.D., Huyben, D.C., Juarez, L.M., Lockwood, G.S. & 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., & 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., & 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. & 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. & 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. & 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., & 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., & 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., ... & 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., & Peres, R. (2019). The effect of social networks 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., & 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 networks: 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. & 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., & 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., & 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., & 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 acuacultura 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. & Phillips, M. (2014). *Improving productivity and environmental performance of aquaculture*. WRI-Working Paper. Washington DC, USA: World Resources Institute.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications* (Vol. 8). Cambridge: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>.
- Yue, K., & 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>.

Capítulo 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 Tiburcio¹, Carmen Paniagua Chávez², Alberto Asiáin Hoyos³ y Francisco Javier Martínez Cordero^{4*}

¹ Consultor independiente. Mar Egeo 403. Boca del Río, Ver, 94254.

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

³ Colegio de Postgraduados - Campus Veracruz.

^{4*} Laboratorio de Economía Acuícola y Prospectiva. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo CIAD, A.C. Subsede Mazatlán. Mazatlán, Sinaloa. C.P. 82112. Responsable Técnico del Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México LNCRTM. Incredtilapiamexico@gmail.com

* Autor para correspondencia: cordero@ciad.mx

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 -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 principal especie y se encuentran 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 60s por el gobierno federal. Fue un plan originalmente concebido desde el gobierno buscando el aprovechamiento de grandes presas y reservorios construidos en la década de los 30s para control de inundaciones, irrigación y generación de electricidad. El objetivo era aprovechar estos cuerpos de agua artificiales promoviendo 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 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 Seguridad Alimentaria y Nutricional, como en 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.

El WorldFish (WF) es una organización líder mundial en la acuicultura, con base en Malasia, 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 exitosos modelos nacionales 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 enfocado a la socioeconomía, diseñado hacia los sistemas alimentarios, de salud y medio ambiente (incluyendo clima), son acordes a 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 para trabajar en México con tilapia, en un esquema de acuicultura de alto impacto social. Se establece así el contacto entre WF y un grupo de investigadores en México con vinculación con el sector productivo MIPYMES y AREL acuícolas, dando 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 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.

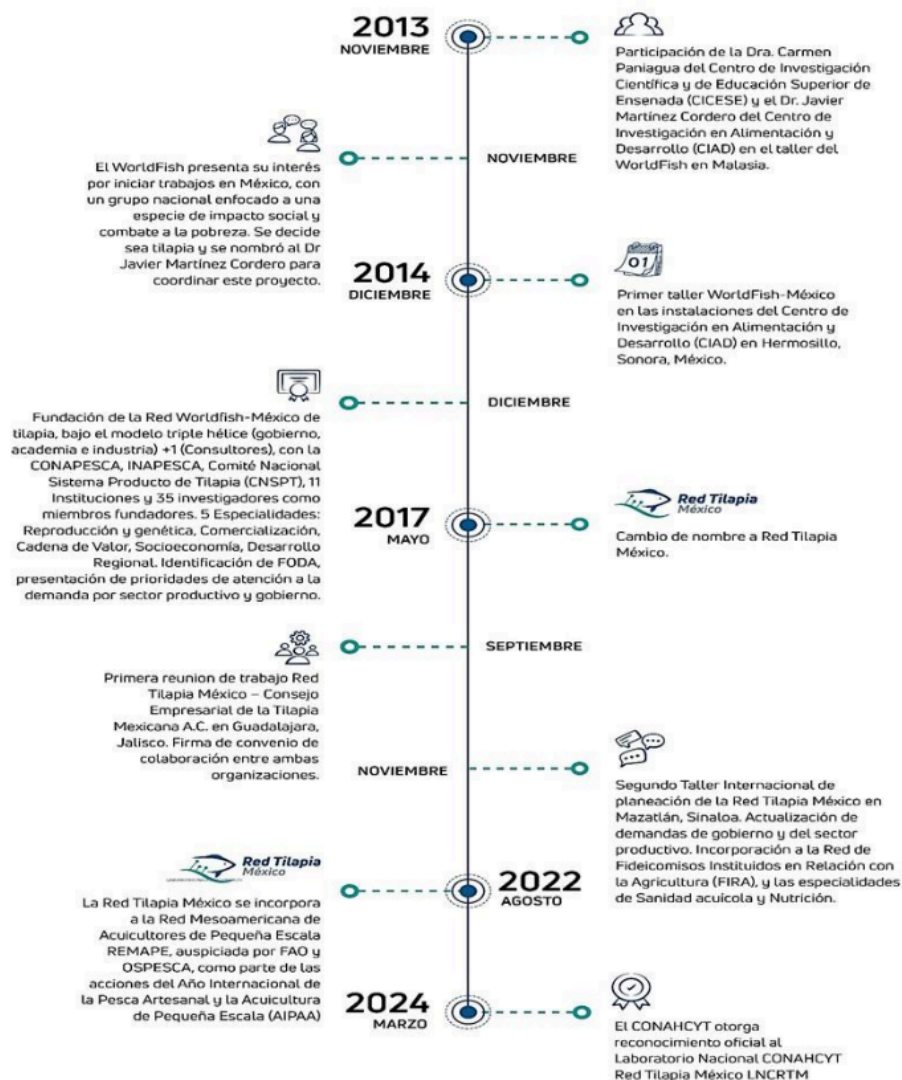


Figura 1. El Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México: cronología

Fuente: Elaboración propia.

MÉTODOS

ELEMENTOS ESTRATÉGICOS Y OPERATIVOS DEL LNCRTM

Desde la fundación del LNCRTM su enfoque es 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 MIPYMES de tilapia mexicana, para cumplir los importantes retos nacionales de Desarrollo Humano incluyente y equitativo y de Seguridad Alimentaria y Nutricional en el corto y mediano plazo, a partir del trabajo coordinado de Academia, 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 la gestión y 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 como LNCRTM se convierte en pentahélice (Figura 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 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.

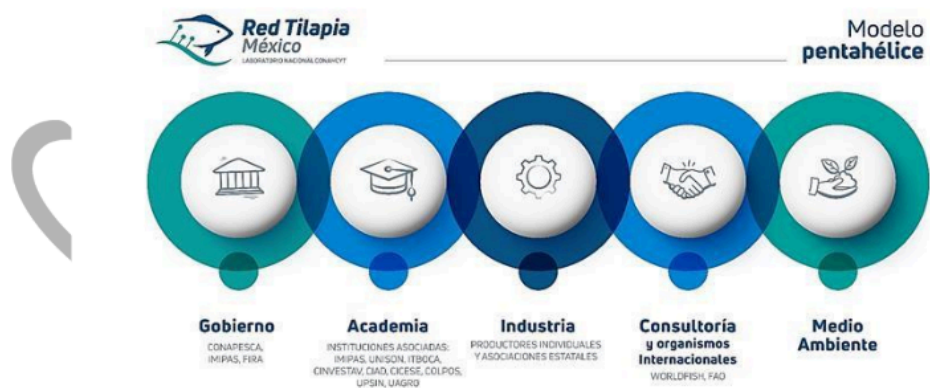


Figura 2. Modelo conceptual Pentahélice de la Red Tilapia México y posteriormente el Laboratorio Nacional CONAHCYT Red Tilapia México.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Modelo operacional del LNCRTM: áreas temáticas y transversales, con responsables nacionales.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

La cuantificación de impactos directos de la operación de la RTM/LNCRTM es clara en formación de recursos humanos y extensionismo, y en investigación y productos académicos aplicados a este sector, incluyendo manuales técnicos¹. Inclusive en la presentación de opinión experta con los tres niveles de gobierno. Sin embargo, la estimación de impactos en producción de tilapia no es directa pues los incrementos en producción dependen también de factores externos como climáticos, socioeconómicos, políticos y hasta de seguridad. Sin embargo, el impacto ya demostrado y que es argumento central de la existencia del LNCRTM, es el efecto positivo del proyecto rural de tilapia en micro y pequeña escala, en la pobreza multidimensional. Entendiendo que este escenario, nuevamente, es muy

¹ La lista de productos está a disposición pública, en solicitud directa al autor para correspondencia.

cambiante a nivel territorial, subraya los impactos positivos del establecimiento y especialmente permanencia de los proyectos acuícolas a esta escala, y para esa permanencia el extensionismo (seguimiento a los proyectos) es central, y en esta actividad todas las áreas temáticas ejecutan en el día a día, acciones (Figura 4). Por ello se refieren a continuación los principales resultados, cuantificando hasta lo posible las intervenciones.



Figura 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: crear capital humano, profesionalizar la acuicultura a todos los niveles en el país, es una prioridad para el LNCRTM pues es una debilidad estratégica identificada desde hace más de una década (Mojica Sastoque et al., 2010). Durante su primera década, hemos desarrollado cursos virtuales y presenciales, extensionismo grupal o individual, manuales para este fin, infografías, folletos, videos. Algunos relevantes ejemplos están en la Tabla 1.

Tabla 1. Ejemplos de actividades de formación de capital humano del LNCRTM

Año	Evento, lugar y participantes	1- Población objetivo y Organizador. 2- Impactos 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 acuacultura. Modalidad virtual. Diversos académicos y consultores del LNCRTM.	1-Micro y pequeños acuacultores; 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 SA, 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 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 Acuacultura y Pesca de México (CONAPESCA) en Noviembre del 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, pero además todo 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 soporte desde el 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 presencia en campo. La sanidad en estos momentos, lamentablemente, es uno de los aspectos críticos causantes de la disminución del volumen de la producción en el país. Participación en diversos proyectos CONAHCYT de Incidencia Social en el país. Generación de manuales técnicos diversos. La labor del LNCRTM a través de los diversos grupos regionales y estatales, son centrales en el diagnóstico de enfermedades bacterianas, ayudando a los productores a la aplicación de buenas prácticas sanitarias y de producción. El Dr. Víctor Vidal quien es experto regional FAO, ha generado 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, con una diversidad de actividades de asesoría y capacitación anuales que forman su día a día. Constituye la fortaleza principal del LNCRTM pues representa su vinculación directa con el sector productivo, sus necesidades y prioridades. La Red Tilapia México trabajó siempre por atención a la demanda, la cual directamente determina el sector primario en ejercicios de acción participativa tanto presenciales como virtuales. Desde la academia, trabajó en campo desarrollando sistemas de acuaponía, sistemas integrales, biofloc, cultivo de

langostino (COLPOS). Es decir, desarrollo tecnológico e innovación transferido a esquemas rurales.

SOCIOECONOMÍA Y DESARROLLO REGIONAL

Ejercicios continuos de evaluación de los impactos del cultivo de tilapia a nivel MIPYME y AREL en las economías regionales y locales. En el aspecto financiero, extensionismo en análisis financiero aplicado a las granjas, 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, apoyadas en manuales e inclusive en diversas lenguas autóctonas. Desarrolla trabajo también para aplicar modelación bioeconómica para el análisis a nivel granja y regional.

ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN

Siendo el alimento el costo de producción más alto, se hace continuo trabajo para encontrar sustitutos a fuentes tradicionales, incluyendo nuevos alimentos con mayor eficiencia. La Dra. Crisantema Hernández del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, (CIAD), ha generado un alimento específico para tilapia a partir de ingredientes regionales y/o subproductos pesqueros y agroindustriales, con la patente MX/a/2015 /016590. Así mismo, se han creado manuales sobre la elaboración artesanal del alimento para tilapia y buenas prácticas de manejo” con pertinencia cultural y lingüística a la lengua de Mazateco y Tsotsil para los estados del Pacífico Sur, de igual manera se han llevado a cabo cursos de capacitación para que los tilapieros elaboren su propio alimento, con el uso de equipamiento sencillo y económico con el uso de insumos disponibles en la región, que cumplan con los requerimientos nutricionales de la especie. En colaboración con los Comités de Sanidad Acuícola de Chiapas, Oaxaca y Guerrero se realizaron 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 para cada uno de los estados.

Procesamiento y Transformación de Productos: nuevamente a través de proyectos CONAHCYT, incidencia en campo en agregación de valor a la tilapia, de acuerdo a usos y costumbres locales. Incluye trabajo en revaloración del uso de subproductos de la tilapia.

SISTEMAS PRODUCTIVOS, TEMAS TRANSVERSALES Y OPINIÓN EXPERTA

En un ejemplo del enfoque que la LNCRTM promueve de desarrollar la acuicultura de tilapia desde los municipios y el territorio, destaca el ejercicio en el 2018-2021 que la Dra. Soledad Delgadillo realizó, como Jefa de Acuicultura y Pesca en el H. Ayuntamiento del Municipio de Veracruz, Veracruz, que involucró análisis, asesorías, diagnósticos (Delgadillo, 2019), generación de estadística. Promovemos este enfoque en todos los foros y con tomadores de decisión de los tres niveles de gobierno, para alcanzar el desarrollo sostenible y la incidencia social.

La Red Tilapia México ha sido también consultada en diversas ocasiones por los órganos legislativos de México, para opiniones técnicas expertas. Como LNCRTM está integrado en la Red nacional de información e investigación en pesca y acuicultura RNIIPA, que coordina el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables IMIPAS, trabajando en el país por regiones. Finalmente, ya como LNCRTM, hemos propuesto a CONAHCYT el primer proyecto nacional para atender 2 grandes problemas estratégicos: sanidad y mejoramiento genético.

VINCULACIÓN INTERNACIONAL

En el ámbito internacional, la FAO designó el año 2022 como Año Internacional de la Pesca y Acuicultura Artesanales (AIPAA), para llamar la atención mundial hacia el relevante rol 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 REMAPE, la cual se funda en evento virtual convocado por la FAO el 30 de agosto de 2022. Guatemala, Honduras, Costa

Rica, República Dominicana, El Salvador y México integran la Red, que en su primer periodo ha nombrado al Dr. Javier Martínez Cordero (LNCRTM México) y el Biólogo Billy Cazalli (Guatemala) como sus coordinadores. Con esta representación, el LNCRTM ha tenido presencia en eventos mundiales y continentales presentados en la Tabla 2, que permiten representar al acuicultor mesoamericano, su problemática y propuestas.

Tabla 2. Participación continental e internacional del LNCRTM a través de la REMAPE.

Año	Evento, lugar y tipo de participación	Cobertura geográfica	Organizador
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 COPPESAALC. 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

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aportar nuestro trabajo para coadyuvar al Bienestar Social seguirá siendo el principal objetivo del trabajo del LNCRTM. Nuestra operación está completamente en línea con los ODS 1 y 2 de Naciones Unidas (Combate a la Pobreza y Hambre Cero). Enfocada en una actividad productiva primaria y su cadena de valor en micro y pequeños productores y de autoconsumo, ello irremediablemente implica buscar que nuestras actividades y proyectos, sean con amplia y continúa presencia en campo a través de extensionismo. La continuidad en la asesoría y seguimiento es claramente un paso necesario para el éxito de estos productores. Lo hemos establecido y lo profundizaremos. Es claro que el cultivo de tilapia en pequeña escala en México aporta significativamente a la Seguridad Alimentaria y Nutricional, pero la escala de este efecto debe aumentarse. Continuaremos buscando un Sistema Alimentario Nacional sostenido en la tilapia de cultivo.

El modelo triple hélice+1 ha demostrado ser exitoso a través de la primera década, y fue llevado a cabo sin apoyos financieros externos. Ahora como pentahélice, incorpora el necesario elemento de medio ambiente. Sin embargo, lograr objetivos nacionales estratégicos no puede ser llevado a cabo sin el involucramiento decidido del gobierno en sus tres niveles, donde hay mucho campo de mejora y es el principal reto del LNCRTM. Ser actores importantes en las tomas de decisión, pero especialmente destrabar visión y decisión gubernamental en temas que requieren ser modificados para un avance de nuestros actores sociales. Un ejemplo es el Reglamento de la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable, pero otros son lograr un mayor peso específico y aumentar la visibilidad para la acuicultura de micro y pequeña escala en su interacción con otros sectores de la economía. Es necesaria una regulación diferente a este sector productivo que realmente promueva su desarrollo. Incidir, como apoyo técnico, en aumentar los programas de microfinanciamiento al sector MIPYME, en los esquemas que se decidan.

La organización de los micro y pequeños productores es siempre una tarea en la que hay que trabajar. Mucho del éxito para incrementar la escala, para alcanzar o consolidar mercados de cadena corta, con un producto de tan alto valor, consiste en lograr su organización y consolidarla. Los Comités Sistema

Producto ya casi no operan en el país, y al nivel micro y pequeño la estrategia para un extensionismo exitoso es un reto, cuando se tiene una demanda muy polarizada.

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 tenemos presencia nacional y la cobertura de todas las áreas y perspectivas requieren que cada área temática y su red, se haga eficiente. Vamos a darle más oportunidad a los investigadores, productores y consultores jóvenes. 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. Ello porque se ha desmotivado a las generaciones jóvenes y es necesario volver a presentar la actividad como una actividad económica interesante y redituable.

Buscaremos igualmente reforzar nuestro trabajo con empresas privadas. Reforzar nuestro rol, actualmente ya vigente, de transferencia de innovación y tecnología para el sector MIPYME y de autoconsumo, que es hacer muchos sacos a la medida pues los determina el territorio. Seremos más activos en promover un mayor consumo de la tilapia nacional, y 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 co-autores: 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

27

FAO (2013) Diagnóstico de la acuicultura de recursos limitados (AREL) y de la acuicultura de micro y pequeña empresa (AMYPE) en América Latina.

Volúmen 7. ISBN 978-92-5-307462-4.

FAO (2020) El año internacional de la pesca y acuicultura artesanales 2022.

<http://www.fao.org/artisanal-fisheries-aquaculture-2022>

FAO (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- an cage- cultured tilapia in Bangladesh. Heliyon, 7, 7pp.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06968>

Martínez-Cordero, F.J. y E. Sanchez 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>

Capítulo 12

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

Miguel Ángel Mazorra-Manzano^{1*}, Juan Carlos Ramírez-Suárez ¹, José
Guadalupe Gamboa-Alvarado², José Luis Valenzuela-Lagarda³

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), Coordinación
de tecnología de Alimentos de Origen Animal. Carr. Gustavo E. Astiazarán Rosas,
No. 46, Col. La Victoria, CP. 83304, Hermosillo, Sonora.

²Universidad del Mar-Campus Puerto Escondido. Ciudad Universitaria, Carretera
Vía Sola de Vega, Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, Juquila, Oax., México
C.P. 71980

³Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y
Ambientales, Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica, Campus
Cruz Grande, Guerrero.

*Autor para correspondencia:mazorra@ciad.mx

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 ha incrementado mediante su comercialización en tiendas, restaurantes o locales especializados en alimentos regionales (Fig. 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 “ruta del cacao” en Tabasco, “ruta del tequila” en Jalisco, “ruta del vino” en Baja California y “rutas del queso” en varias regiones del país, valorizan los alimentos producidos mediante prácticas artesanales ayudando a mantener vivas las tradiciones, cultura y 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 comunidades y sector productivo sobre el aprovechamiento de alimentos de origen vegetal, animal y pesquero 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 y 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 procesos y productos, así como alargar la vida de anaquel para impulsar su incorporación a mercados más dinámicos.



Figura 1. Alimentos artesanales preparados y comercializados en distintas regiones del país. A) frutas y vegetales en conservas, bebidas frutales y rompopes, B) chapulines deshidratados con chile C) pescado asado y camarón seco, D) fruto de guamúchil deshidratado. **Imagen de:** Mazorra-Manzano M.A. y Gamboa-Alvarado J.G

PRODUCCIÓN ARTESANAL DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

ORGANISMOS TERRESTRES

Insectos comestibles

La entomofagia o 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 encuentra el gusano de maguey, hormigas, escamoles y chapulines. La colecta y procesamiento de chapulines (*Sphenarium purpurascens*) representa 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 (p 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 del Estado 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, empaque y distribución de harina de chapulín, así como la elaboración de productos fortificados (p 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 libre de agroquímicos puede seguir potencializando su aprovechamiento con impacto positivo en el desarrollo regional. En este sentido, el grupo de Química y Biotecnología 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 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.

Artesanalmente, 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 piedra, palo o 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 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 (p 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, rellenando 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 “encurtidos”, 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, atarrayas, 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 por 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 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 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 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 a 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 característico 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 jurel (*Trachurus trachurus*) y en Tabasco el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). Dichos productos se comercializan ya sea enteros, 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 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), queso bola de Ocosingo (Chiapas), queso poro de Balancán (Tabasco), queso oreado y enchilado (Nayarit y Jalisco), queso Chihuahua o menonita (tipo Chester o Cheddar), entre otros (Villegas de Gante y Cervantes, 2011). Sin embargo, unas de las características más importantes que distingue a las distintas variedades radica 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), salado, moldeado (madera, cortezas, etc.), prensado (piedras o mecanismos rústicos), maduración (cavas, ambiente), empaque, y 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 adición 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 un producto ácido y cremoso con sabores acentuados característicos que lo hace 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, 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, calidad nutricional, 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 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 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 leche y que dan identidad a dichas regiones.

PRODUCCIÓN ARTESANAL DE ALIMENTOS ORIGEN VEGETAL

Conservas y dulces

Las regiones tropicales del país se caracterizan por una gran abundancia y diversidad de frutos destacando el mango, piña, papaya, durazno, aguacate, guayaba, tamarindo, ciruela, nanche, 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 le adicionan ingredientes y aditivos permitidos (p. ej. cloruro de Calcio, azúcar, piloncillo y canela), para finalmente ser envasados en recipientes herméticamente cerrados para asegurar su conservación. La elaboración de estas conservas, forman 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 camote de Puebla, panocha de Ures y 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 usa 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, 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 chiles, flor de jamaica y frutas de temporada como guamúchil o 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 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 (Acévez-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 (Acévez-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 (antidiabético).

Las propiedades benéficas a 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 (Acévez-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 (P. 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. Yaquiana. La producción artesanal de estas bebidas, forman 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 potencial fuente de enzimas proteolíticas que contribuyan en 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 materia prima, proceso y producto final, enfatizando el proceso artesanal. Esto se traduce en beneficio económico a 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. Ejemplos como

estos se encuentran la ruta del chocolate (cacao) en Tabasco, ruta del café en Chiapas, ruta del vino en Baja California, 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 potencializar 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 producción y el abaratamiento de 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 efectos benéficos a la salud que algunos productos ofrecen requieren ser evaluadas 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). Así mismo, la estandarización y 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 calidad sanitaria del chorizo rojo de Toluca y 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 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, requiriendo de 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.
- Acévez-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 Coter, 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 nutraceutical 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. *Agroproductividad*. 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 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, CIANO, INIFAP, Mazatlán, Sinaloa. México.
- Hernández-Becerra, E., de los Angeles 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., Cordoba-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.cocyti.gob.mx/index.php/revista/article/view/72>

SADER (2024). Secretaria 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.

Capítulo 13

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

Belinda Vallejo-Cordoba^{1*}, Aarón F. González-Córdova¹, Adrián Hernández-Mendoza¹, Lilia M. Beltrán-Barrientos¹

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46 Col. La Victoria, Hermosillo, Sonora 83304, México.

*Autora para correspondencia: vallejo@ciad.mx

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 de queso doble crema (108,697 toneladas) y queso chihuahua (75,568 toneladas) (Canilec, 2023). Hasta el momento, se desconoce la producción anual de quesos genuinos artesanales 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-Cordoba 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 a 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 a 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 composición de los mismos (Torres-Llanez et al., 2006; Cuevas-González et al., 2017; de la Rosa-Alcaraz et al., 2020; Méndez-Romero et al., 2021), incluyendo métodos de producción y caracterización de quesos frescos y semi madurados (Gonzalez-Córdova et al., 2016), producción de queso fresco a partir de leche pasteurizada y BAL capaces de producir bacteriocinas (Heredia-Castro et al., 2015) y a su vez conferir 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-Cordoba et al., 2023).

Por lo que este capítulo presenta información relevante generada en esta temática por nuestro grupo de investigación, complementada con la de otros grupos, como contribución al rescate y 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 período 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 (Gonzalez-Córdova et al., 2016). Además, 17% de los artículos, se enfocaron en el aislamiento y 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 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-Sanchez 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, por contener un alto contenido de humedad y por ser bajo en sal y acidez, es susceptible a la contaminación 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-Sanchez 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), cocido de Sonora (Figura 1b) (Cuevas-González et al., 2017), y 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 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.

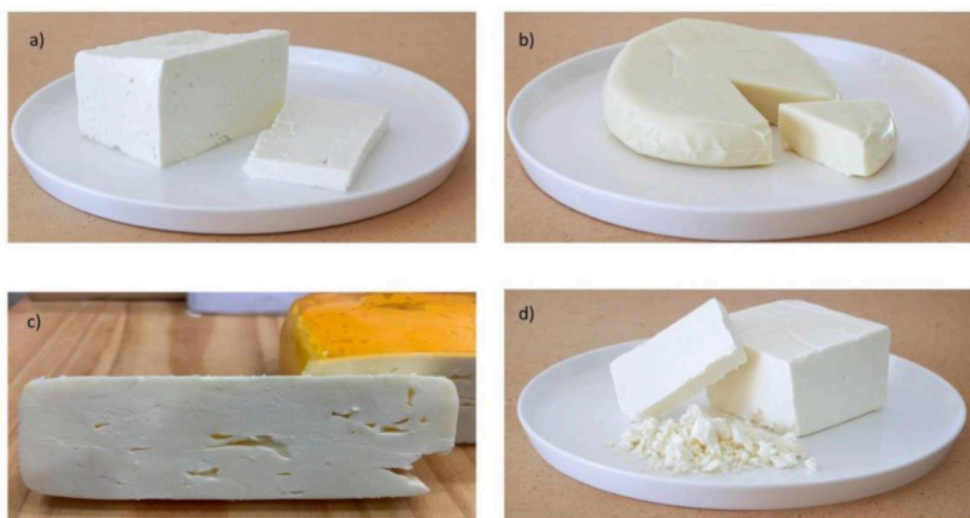


Figura 1. Quesos artesanales mexicanos: a) queso fresco artesanal de Sonora; b) queso cocido artesanal de Sonora; c) queso poro artesanal de Tabasco; d) queso crema artesanal de Chiapas (Imágenes propias).

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-Llanez 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 y 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-Cordoba 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 ³¹ 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 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 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 baja intensidad para 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 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 en 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 textura característicos. Además, también se producen compuestos bioactivos tales como péptidos (Santiago-López et al., 2017), ácido linoléico 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 añade 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 crema de Chiapas, y fresco y cocido de Sonora. En este sentido, la actividad antioxidante *in vitro* del queso tipo crema de Chiapas, 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-Llanez 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-Llanez et al., 2011). Aunado a lo anterior, se han estudiado leches fermentadas por cepas aisladas de queso mexicanos artesanales, las cuales han mostrado potencial efecto cardioprotector, antioxidante, inmunomodulador, antidiabetogénico, 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 neuroprotector 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 neuroprotector 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, aunado a la industrialización, han contribuido a la pérdida de su identidad y tipicidad. Por lo que, nuestro mayor interés ha sido rescatar y preservar la genuinidad que caracteriza a 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.

Así mismo, 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 promueven 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 utilizando 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, presenta 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 semi madurados 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-Llanez, A. Hernández-Mendoza, R. Reyes-Díaz, B. Vallejo-Cordoba, 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-Cordoba (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 neuroprotector 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-Cordoba 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-Cordoba 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, A. Hernández-Mendoza y B. Vallejo-Cordoba (2016). Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*, (99), 3250–3262. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10103>.
- Gutiérrez-Méndez, N., B. Vallejo-Cordoba, A.F. González-Córdova, G.V. Nevárez-Moorillón 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-Cordoba (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-Llanez, M.A., Mazorra-Manzano, A. Hernández-Mendoza, A.F. González-Córdova, y B. Vallejo-Cordoba (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, B. Vallejo-Cordoba, S.G., Sáyago-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 Nutraceuticos. Nuevo Vallarta, Nayarit.
- Rendon-Rosales, M.Á., M.J. Torres-Llenez, A.F. González-Córdova, A. Hernández-Mendoza, M.A. Mazorra-Manzano y B. Vallejo-Cordoba (2019). *In vitro* Antithrombotic and Hypcholesterolemic 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-Cordoba (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-Cordoba, 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-Cordoba, 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. Sáyago-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/s13213-020-01542-3>.
- 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. Benitez-Romero, J.I. Méndez-Romero, A. Hernández-Mendoza, A.F. González-Córdova y B. Vallejo-Cordoba (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-Cordoba, 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-Cordoba (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-Cordoba, 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 Pablos Editor.

Zambrano-Cervantes, M., A.F. González-Córdova, A. Hernández-Mendoza, L.M. Beltrán-Barrientos, M.A. Rendón-Rosales, C.G. Manzanarez-Quin, M.J. Torres-Llanez y B. Vallejo-Cordoba (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>.

CONFIDENCIAL

Capítulo 14

Alimentos derivados de la pesca y sus coproductos

Ramón Pacheco Aguilar*¹, María Elena Lugo Sánchez¹

¹Laboratorio de Bioquímica y Calidad de Productos Pesqueros. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, 83304 Son.

*Autor para correspondencia: rpacheco@ciad.mx

CONFIDENCIAL

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” por 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 nutrimental 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 lo anterior, la estrategia implementada para el desarrollo y diversificación de esta actividad, que redundaría en un mayor consumo anual, no ha sido lo suficientemente innovadora para sacarla de su atraso característico a través de su historia. Es, sin duda, una actividad productiva que no tiene como su aliado primordial a la ciencia y la tecnología.

Indudablemente la industria pesquera, debe, como primera estrategia: 1) explorar y explotar la captura y cultivo de nuevas especies para consumo humano directo, 2) aplicar tecnologías innovadoras de procesado, y 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 y necesaria, poner especial atención en la utilización de lo que se da en llamar, peyorativamente, desechos y subproductos de la actividad. Y 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, e incluso 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, obtención y caracterización de péptidos con bioactividad antioxidante, antitumorogénica y anticarcinogénica a partir del agua de cola, recuperación de colágeno y otras proteínas funcional-tecnológicas de efluentes, etc., y la caracterización bioquímica de proteasas de viscera de sardina, serán descritos en el presente capítulo como alternativas viables e inmediatas para el desarrollo, diversificación y 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 indizadas en revistas científicas de alto impacto y congresos nacionales e internacionales.

RESULTADOS

COPRODUCTOS DE ORIGEN PESQUERO. SU OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN 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 docosahexaenoico (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 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 nutrimental 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 & 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, anticarcinogénicas) 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 antiproliferativa (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 antiproliferación 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 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" generando 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, cohesividad 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 ($p < 0.05$);

cohesividad, 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 (4,500 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,¹ 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 isoelectroenfoque con puntos isoeléctricos (pI's) ¹4 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 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 que contrarreste su estancamiento 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., & 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., Benitez-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, Mexico].
- Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H., & 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., Alvarez-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., & 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., & Slizyte, R. (2011). Possibilities for the utilisation of marine by-products. 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., & 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., & Pacheco-

Aguilar, R. (2018). Efecto de una centrifugación complementaria en la

composición química y reológica del agua de cola. Biotecnia, XX(2), 95-103.

Venugopal, V., & 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>

Capítulo 15

Desarrollo de alimentos para la producción de proteína de alta calidad de origen acuícola

Crisantema Hernández^{1*}, Cynthia E. Lizárraga-Velázquez², Erika Yazmín Sánchez-Gutiérrez¹, Lizeth C. Flores-Méndez³

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, CIAD, A.C. Subse de Mazatlán. Laboratorio de Nutrición Acuícola. Av. Sábalo Cerritos S/N, S/C, Mazatlán, Sinaloa, México. C.P. 82112.

²Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Mazatlán.

³Departamento de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Mazatlán.

*Autora para correspondencia: chernandez@ciad.mx

INTRODUCCIÓN

La rentabilidad de la acuicultura depende tanto de la salud de peces y crustáceos, como 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. Así mismo, 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 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 antinutricionales (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 antinutrientes (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 antinutrientes 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 antinutrientes. La harina de gluten de maíz (HGM) posee el contenido más alto de proteína (69.2 %) (Tabla 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 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 ^t	2.1	6.8
Fibra Cruda	7.3	4.5	2.8	11.1
Aminoácidos (%)*				
Esenciales				
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

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 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 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, y digestibilidad del alimento, así como los parámetros hematológicos (hematocrito) y 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 sobre 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 proteínas, lípidos y 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 digestibles y otros biopolímeros de residuos agrícolas y pesqueros, que 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.

COMPUESTO 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 inmunoestimulante, anticancerígena, antidiabética, antihipertensiva, anticolesterolémica, antimicrobiana, antioxidante, 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, cosecha o 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, por lo 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 y la intensificación de la acuicultura, y particularmente del efecto negativo ocasionados 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) sobre 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 (p. ej. ácido gálico y ácido 2-hidroxicinámico) y

flavonoides (quercetina y manguiferina). No se observaron efectos negativos sobre 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) sobre la respuesta antioxidante hepática (SOD, CAT y GPx) y el crecimiento de tilapia del Nilo cultivada bajo 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 respecto a 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 H_2O_2 fueron agotadas. La CAT no fue alterada, probablemente debido a que la tilapia no fue cultivada bajo 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) identificó la composición de CF en la HMM y evaluó el efecto de su administración dietética (25g de HMM /kg de alimento) sobre 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, encontrándose que la administración dietética de HMM incrementó la actividad de CAT, mientras que no afectó las actividades de SOD y GPx en las tilapias cultivadas bajo condiciones de hipoxia. En este último estudio se hipotetiza que los CF de HMM promovieron la respuesta antioxidante en 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 inmunoestimulante, antimicrobiana, antioxidante, 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 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 bajo condiciones de estrés por alta temperatura (35°C) por 12 h (García, 2018). Por lo tanto, los resultados sobre el 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, observó que los filos *Fusobacteria*, *Bacteroidetes* y *Proteobacteria* fueron los más abundantes, y *Cetobacterium* 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 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) sobre 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 en el plasma sanguíneo los niveles de cortisol, triacilglicéridos y colesterol, 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-(+) glucopiranososa y el 2-amino-2desoxi- β -D-glucopiranososa (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 bajo 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 mejoría 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 efectos negativos sobre 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 efectos negativos sobre 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 efectos sobre 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 bajo condiciones de estrés. Las agavinas (20 g) promueven la respuesta antioxidante y modulan la

microbiota intestinal de tilapia cultivada bajo 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., and 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., & Beyene, W.T. (2018). Anti-nutrients reduce poultry productivity: Influence of trypsin inhibitors on pancreas. *Asian J Pouls Sci*, 12(1), 1–12.
<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. & 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., Dominguez-Jimenez, 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/103856/vol41-issue3-fulltext-10
- Hernández, C., Lizárraga-Velázquez, C.E., Contreras-Rojas, D., Sánchez-Gutiérrez, E.Y., Martínez-Montaña, 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-fulltext-3

- Lizárraga-Velázquez, C.E., N. Leyva-López., C. Hernández., E.P. Gutiérrez-Grijalva., J.A. Salazar-Leyva., I. Osuna-Ruiz., 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., Tafi, 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/1>

- 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-Vargasmachuca, 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., and Luo, L. (2018). Effects of dietary raffinose on growth, non-specific immunity, intestinal morphology and microbiome of juvenile hybrid sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt ♀ × *A. schrenckii* Brandt ♂). *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

CONFIDENTIAL

Capítulo 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-Flores¹ y Martín-Ernesto Tiznado-Hernández^{2*}

¹Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa.

²Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46. Colonia La Victoria. CP. 83304. Hermosillo, Sonora.

(+52) 662-2892400

*Autor para correspondencia: tiznado@ciad.mx

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 los autores de este capítulo 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 (Çakmakçı 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, reducción en la contaminación derivada de los procesos, mayor obtención de ganancias y 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 más importantes causas. 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 si 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 metodologías de control de infecciones por hongos mediante un diseño inteligentemente dirigido 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 anteriormente comentado, el presente capítulo tiene como objetivo demostrar cómo la tecnología del ADN recombinante puede apoyar en parte para alcanzar una producción agrícola sostenible.

IMPACTO DE LAS PÉRDIDAS POSTCOSECHA EN LA ECONOMÍA Y 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 sobre la salud del ser humano, la biodiversidad y los ecosistemas, así como los efectos socioeconómicos del uso de la TADR en 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, mencionada anteriormente. 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 que 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 en los párrafos anteriores, debemos destacar que, con herramientas como la clonación en el sentido simple, aquí señalado, 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 Agrupadas 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 en base a 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 conteniendo 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). En base a 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 (Baez-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, cómo son 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 al 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 la expresión génica 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 agricultura. Asimismo, consideran que CRISPR/Cas9 es una poderosa herramienta para la edición genómica dirigida en 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 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 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, almacenamiento en condiciones subóptimas, empaque mal diseñado, pérdida de agua, estado fisiológico de maduración, senescencia, desórdenes fisiológicos y 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; Klapec 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, y el desarrollo de cepas resistentes que ya no pueden ser controladas por los compuestos químicos (Sánchez-Torres, 2021) e 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 con la especie, las condiciones climáticas precosecha, el período de tiempo del ciclo agrícola durante el cual se realizó la cosecha y el estado fisiológico del fruto al momento de la cosecha. Lo anteriormente mencionado 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 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 lograr 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, potenciaría la actividad agrícola mejorando el ingreso de los trabajadores, lo cual impacta positivamente al componente social y reduciría los efectos negativos provocados por la utilización de químicos que 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 regulación genética que ocurren en el núcleo.

Mediante este análisis se ha obtenido el transcriptoma del patosistema de varias especies de fruto y hongos. De acuerdo a esto, se ha publicado el análisis de la interacción tomate y el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Alkan et al., 2015), uva y el hongo *Talaromyces rugulosus* (Xu et al., 2021), pera y el hongo *Alternaria alternata* (Kan et al., 2017), fresa y el hongo *Botrytis cinerea* (Haile et al., 2019), aguacate y el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Djami-Tchatchou et al., 2012), 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, por lo que se describen de forma sencilla los hallazgos más recientes de la TADR.

El mecanismo molecular de la interacción fruta-hongo es muy compleja y se ha encontrado que la respuesta del fruto incluye genes participando en diferentes respuestas como en el reconocimiento del patógeno y en el envío de la señal al núcleo, biosíntesis de componentes cuticulares, biosíntesis de fitoalexinas, glicoalcaloides y lignina, relacionados a la patogénesis, genes de pared celular, generación de especies reactivas de oxígeno, genes activados por fitohormonas,

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, reducción de la contaminación por compuestos químicos y micotoxinas, aumento en la entrada de divisas al país por concepto de exportaciones y una mayor generación de jornales, con lo que los resultados de la tecnología impactarían 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 es 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 mejor resistencia al ataque de patógenos o a diferentes estreses entre otros.

A continuación, se describe un posible acercamiento metodológico para poder utilizar la tecnología del ADN recombinante para apoyar a la sostenibilidad de los sistemas alimentarios agroindustriales.

Se requiere inicialmente 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 sobre 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 participando en el mecanismo molecular de respuesta. Es importante la identificación de 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 modernas técnicas de edición genómica o 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 en la creación de marcadores moleculares para que asistan programas de mejoramiento genético utilizando como primer acercamiento al tomate con el fin de evaluar la eficacia del 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, en la creación de diferentes centros de investigación 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 lo mencionado anteriormente, se puede argumentar con seguridad de que sí es posible desarrollar experimentación en México utilizando la TADR con el fin de apoyar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Una vez desarrollada las herramientas necesarias, no sería un problema llevar a cabo la aplicación en las diferentes regiones del país.

Relacionar a la tecnología del ADN recombinante únicamente con la creación de transgénicos es tener una visión muy pobre de sus capacidades. En este contexto, las plantas transgénicas en parte son una herramienta para demostrar la función de las proteínas que son 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 de 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 potenciales aplicaciones. 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, que 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, con lo cual puede causar un impacto positivo en los tres pilares de la sostenibilidad, lo cual a su vez provocará un bienestar social que permanecerá sostenido en el tiempo. Esto a su vez puede inducir mejoras en muchos aspectos de la población como educación, salud, esperanza de vida, desarrollo de proyectos comunitarios, 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, Martín-Ernesto. 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, U.S.A. 14-18 Abril.
- Bermúdez, G.P. (2022). Biología molecular: ADN recombinante y sus aplicaciones. Colombia: Editorial El Manual Modemo.
- Brundtland, G.H. y M. Khalid (1987). World Commission on Environment and Development: Our common future. Oxford: Oxford University Press.
- Çakmakçı, R., M.A. Salik y S. Çakmakçı (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. Baraldi (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 Guzman, M. Moretto, P. Sonogo, 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. 2024. Recombinant DNA. April 29, 2024. 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.pmpp.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/cierreagricola/>
- 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/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>

Capítulo 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-Amparano¹, Angélica Espinosa-Plascencia¹, José Ángel Huerta-Ocampo^{1*}

¹Laboratorio de Proteómica. Coordinación de Ciencia de los Alimentos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46. Colonia La Victoria. CP. 83304. Hermosillo, Sonora.

*Autor para correspondencia: jose.huerta@ciad.mx

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 alérgicas de importancia clínica, provenientes de polen de tres árboles como el mezquite (*Prosopis velutina*), el palo verde (*Parkinsonia microphilla*) o el nogal pecanero (*Carya illinoensis*), que crecen en zonas desérticas y que 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 en el diagnóstico y tratamiento de alergia al polen en 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 con una duración más prolongada, teniendo serias repercusiones para la salud humana. En zonas áridas y semiáridas, el cambio climático potencia la emisión y transporte de partículas finas (PM10) y ultrafinas

(PM2.5), que se adhieren a las superficies de los pólenes, causando la liberación de sus componentes alergénicos. 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 con 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, éstas últimas unen a 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. 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).

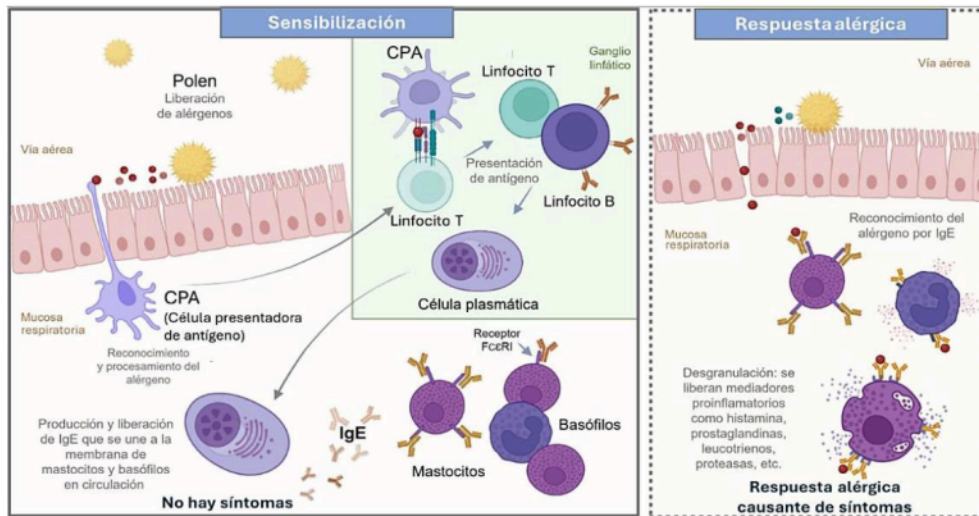


Figura 1. Etapas de la reacción alérgica (Creación propia basada en imágenes creadas con BioRender.com).

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 de consecuencias fatales (Figura 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 alérgicas del polen de diferentes árboles como el mezquite (*Prosopis velutina*), palo verde (*Parkinsonia microphilla*) o nogal pecanero (*Carya illinoensis*), son fuentes de relevancia clínica por 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).

Durante el 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 y 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 es debido 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).

Mientras que el nogal pecanero (*C. illinoensis*) se ha considerado que es 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 alergenos 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).

La identificación de una amplia variedad de proteínas alergénicas en 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. Aunado a que 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 (polisesibilizados) a diversos pólenes de árboles, pastos y otras fuentes mediante una prueba cutánea (Prick

test). Aquellos pacientes sometidos a tratamientos con antihistamínicos, corticosteroides o inmunoterapia fueron excluidos del estudio.

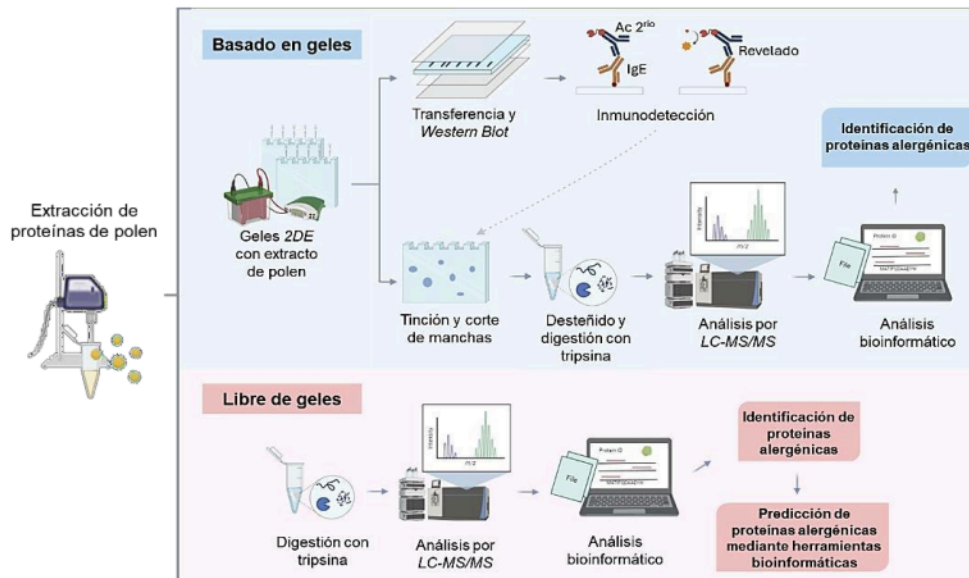


Figura 2. Herramientas proteómicas para la inmunodetección, identificación y predicción de proteínas alergénicas del polen (Creación propia basada en imágenes creadas con BioRender.com).

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 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 μ L 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 μ m 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 μ L/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 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 aquéllas 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 ditiotretol 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 x 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 x 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 INMUNOMPROTEÓMICOS 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 bidimensional de proteínas alergénicas del polen de *Prosopis velutina* reveló 41 manchas de proteínas reconocidas por los anticuerpos IgE del suero de los pacientes alérgicos

(Fig. 3) y el análisis por espectrometría de masas en tándem permitió identificar 24 proteínas únicas (Huerta-Ocampo et al., 2022) (Tabla 1).

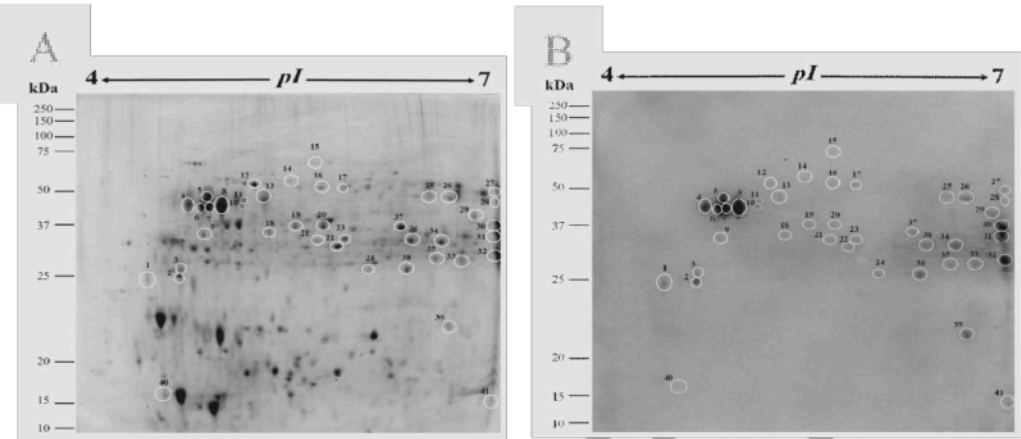


Figura 3. A) Perfil bidimensional de proteínas de polen de *P. velutina*, teñidas con azul de Coomassie R-350. B). Inmunodetección bidimensional de proteínas alérgicas del polen de *P. velutina*, con un conjunto de sueros de pacientes alérgicos en dilución 1:15

Estas proteínas han sido ampliamente reconocidas como alérgenos del polen, de alimentos y alérgenos de contacto. Entre las que destaca la presencia 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.

Tabla 1. Proteínas alérgicas identificadas en el polen de mesquite terciopelo (*Prosopis velutina*).

Proteína	Número de acceso*	Mr/pI Teórico‡	PM/CS§	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).

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. 4).

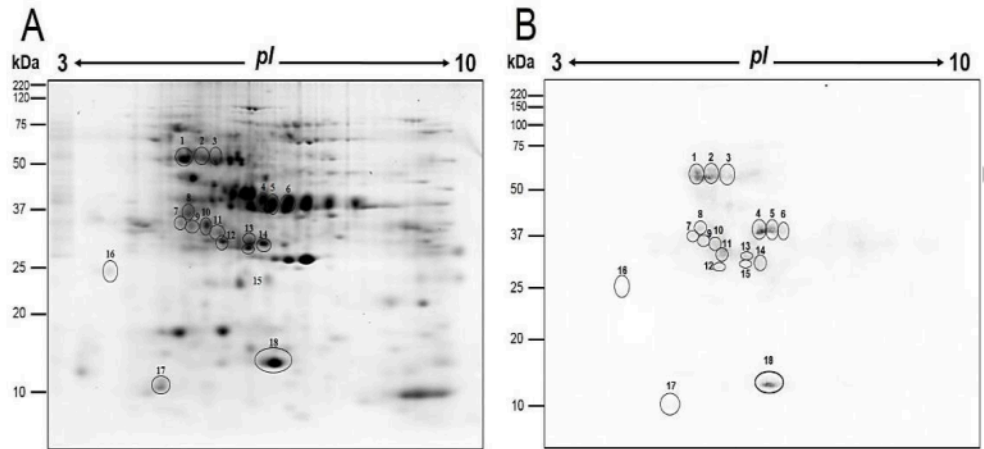


Figura 4. Inmunodetección bidimensional de proteínas alergénicas del polen de *Carya illinoensis*. A). Perfil bidimensional de proteínas de polen de *Carya illinoensis* teñidas con azul Coomassie R-350. B). Inmunodetección (*Western Blot* bidimensional) de proteínas alergénicas del polen de *Carya illinoensis*.

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).

Tabla 2. Proteínas alergénicas identificadas en el polen de *Carya illinoensis* mediante LC/MS/MS y análisis bioinformático

Mancha ^a	Proteína	Identificador ^b	Mr/pI Exp. ^c	Mr/pI 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 isoeléctrico experimentales. ^d Masa molecular/punto isoeléctrico 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.

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).

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 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 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). Lo que confirma la eficacia de la utilización de los análisis predictivos y revela la importancia del palo verde como una fuente relevante de aeroalérgenos.

Tabla 3: Proteínas alergénicas putativas en el polen de *Parkinsonia microphylla* y sus alérgenos homólogos en otras fuentes.

Proteína alergénica putativa en palo verde	Alérgeno reconocido	Especie	% Identidad
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 I 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

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 alérgicas. 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 5).

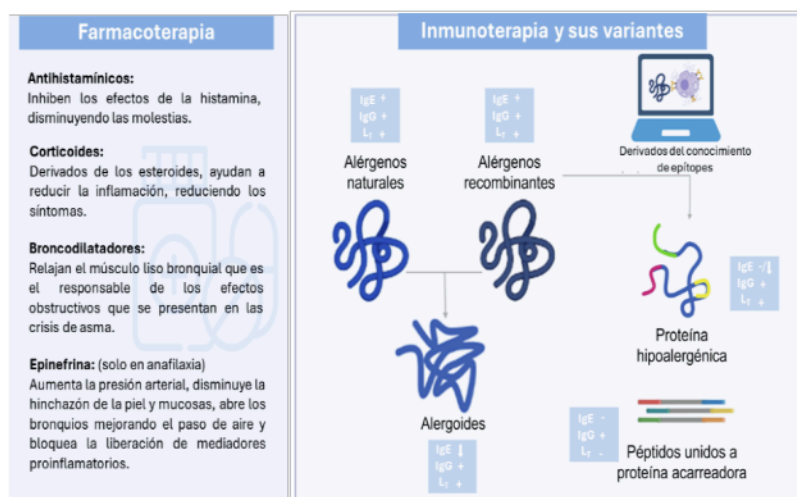


Figura 5. Opciones para el tratamiento de la alergia respiratoria (Creación propia basada en imágenes creadas con BioRender.com).

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 (p. ej. La profilina y enolasa de polen de 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 alergénica 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 Experts 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/epr.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 alergénica 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 antigénicos de proteínas alergénicas 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., & 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

Capítulo 18

Impacto de la sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente en la calidad de pan

Francisco Vásquez-Lara^{1*}, Alma Rosa Islas-Rubio¹, Nina Gisella Heredia-Sandoval¹, María del Carmen Granados-Nevárez¹

¹Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, La Victoria, Hermosillo, Sonora, México. CP. 83304.

*Autor para correspondencia: fvas@ciad.mx

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 (Boňanská 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 enfermedades 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, Tuttlingen, 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 partícula (DTP). Se analizó la DTP de las harinas en términos de $d(0.1)$ μm , $d(0.5)$ μm y $d(0.9)$ μm , representando el diámetro máximo del 10%, 50% y 90% de las partículas, respectivamente, además de la media del volumen ponderado $D[4,3]$ μm . Se utilizó un equipo de dispersión por láser (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, UK) con una unidad Scirocco (Dry Powder Unit).

Determinación de color y capacidad de retención de agua (CRA). Para la medición de 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) durante 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

2

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 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 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 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	$90.44 \pm$ 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 ($p > 0.05$).

Por otra parte, los valores de L^* y a^* disminuyeron al incrementar el nivel de sustitución (Tabla 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 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 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^c	2.80 ± 0.06^b

HT:HA	130	92.99 ± 0.21 ^e	4.68 ± 0.03 ^a	4.41 ± 0.13 ^a
20%				

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).

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 para 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 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% (Chiotellis y Campbell, 2003).

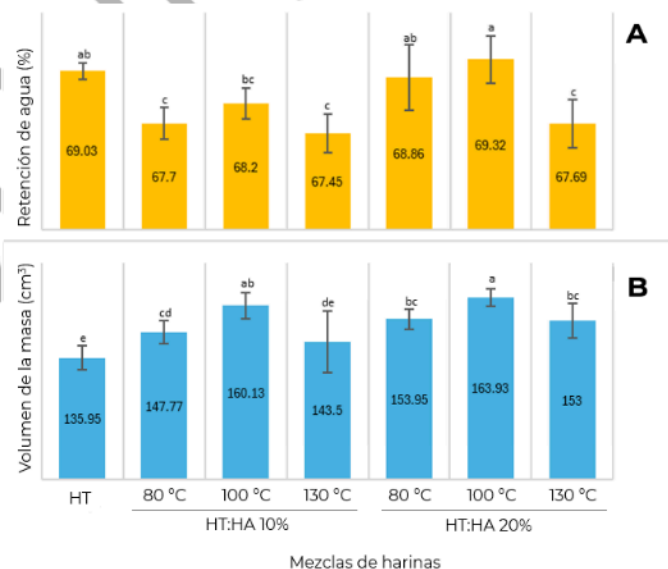


Figura 1: Capacidad de retención de agua (A) y capacidad fermentativa (B) ⁴ de HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) ² tratada a 80, 100 o 130 °C.

ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA)

² El envejecimiento del pan está relacionado con los cambios indeseables que se presentan, además de la contaminación microbiana, entre 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. Al 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. Al 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.

² 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 firmeza y 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, porque definen la aceptabilidad de este tipo de producto.

² 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 3000 unidades de glucosa conectadas por enlaces alfa 1-4; mientras que la porción de amilopectina ramificada está formada por 2000 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 fuerza, gomosidad, masticabilidad y 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 estuvieron definidos por el porcentaje de sustitución, tratamiento térmico y tiempo de almacenamiento, y por las interacciones entre el porcentaje de sustitución y 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 3: Perfil de textura del pan elaborado de 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	HT	-	6.25 ± 0.54 ^a	5.04 ± 0.40 ^a	4.76 ± 0.57 ^a	0.46 ± 0.01 ^a
0	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	HT	-	17.39 ± 1.28 ^a	10.37 ± 0.74 ^{ab}	9.71 ± 0.76 ^{ab}	0.26 ± 0.01 ^{bc}
2	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	HT	-	19.45 ± 0.81 ^c	10.46 ± 0.36 ^{cd}	9.71 ± 0.31 ^{bc}	0.24 ± 0.02 ^{ab}
7	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 ($p > 0.05$).

ANÁLISIS SENSORIAL

Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 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 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.

Pan	Tratamiento o térmico	Color	Aroma	Sabor	Textura	Aceptación general
-----	--------------------------	-------	-------	-------	---------	-----------------------

	de la HA (°C)					
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 ($p > 0.05$).

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, USA.
- 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/food.1999.0629>
- Bojňanská, T., H. Frančáková, 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/10.1205/09603080322437974>
- 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. Jafary 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>

CONFIDENTIAL

Capítulo 19

Evaluación de la política de etiquetado frontal en alimentos para las regiones de México, 2016-2020-2022

Carlos Gabriel Borbón-Morales^{1*}, Juan C. Guimond-Ramos², Juan Mejía Trejo³

¹ Coordinación de Desarrollo Regional, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, N0. 46, 83304 Sonora, México.

² Estudiante de doctorado. ²¹ Coordinación de Desarrollo Regional, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, N0. 46, 83304.

³ Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C.P. 45100, Zapopan, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: cborbon@ciad.mx

INTRODUCCIÓN

En México se verifica un incremento del consumo de alimentos con altos contenidos calóricos, también conocidos como ultra procesados, propiciando 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 enfocadas a la aplicación de impuestos a la compra, mientras que otras, mediante etiquetados que informan al consumidor sobre los contenidos, a fin de que le permitan evaluar la calidad de los productos a consumir (OPS, 2020).

Mientras FAO-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 especiales. Ainsworth et al. (2000), definen que los equivalentes de ejercicio (EE) son las calorías contenidas en los alimentos y al gasto energético requerido para “quemarlas”. En tanto, la NOM-51-SCFI/SS1-2010, especifica que el etiquetado frontal nutricional (EFN) o 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), son útiles en tanto traducen las tablas con cifras y los términos incomprensibles de 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 a través de 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 & An, 2018). Hawley et al. (2013), concluyen que el SN ayudó a identificar productos más saludables. Asimismo, Hersey et al. (2013), atribuye que facilitó la interpretación y selección de productos saludables. También Kaur et al. (2017) y Sanjari et al. 2017, explican que hubo un efecto sustancial en las opciones dietéticas. Finalmente, Sebastian et al. (2015), expresó que el precio, lugar de compra/consumo, dimensiones sensoriales, hábitos dietéticos, interpretación de logotipos y educación se asociaron con la elección de productos.

Otros autores como Aponte (2017); Capriata y Calo (2022), destacan que las ventajas del sello de advertencia proporcionan información precisa para los consumidores mejorando 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), menciona que los sellos de advertencia pueden afectar la competitividad de las empresas productoras que no se ajusten a los estándares de 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) exhibió que las etiquetas pueden influir en la elección positiva de los consumidores. Asimismo, Hernández et al.

(2019) destacó que la comprensión de la información nutricional puede ser limitada por la falta de educación y competencias de lectura, escritura y cálculo. Por su parte Trejo et al. (2019), observaba 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 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).

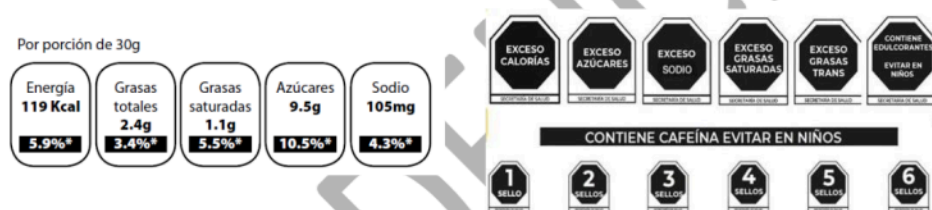


Figura 1: Etiquetados GDA y SAF

Fuente: Stern et al. (2011); Alianza por la salud alimentaria (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 para los años 2016, 2020 y 2022.

METODOLOGÍA

SELECCIÓN DE DATOS

A partir de los micro datos de INEGI (2022), representativos al 95% de confianza, se eligieron los períodos 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 1;

gasto trimestral promedio de los hogares (GTP), el cual se deflactó a precios del 2019 (para descontar la inflación de cada año).

Tabla 1: Perfiles nutrimentales en la fase 1 del SAF

Concepto	¹ 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. Sin sello las bebidas con <10 kcal de azúcares libres	> 10 % del total de energía proveniente de grasas saturadas	> 1 % del total de energía provenient e de grasas trans	> 350 mg Bebidas sin calorías: > 45 mg de sodio
Líquidos en 100 ml de producto	> 70 kcal totales o > 10 kcal azúcares libres				
Leyenda para usar	EXCESO CALORÍAS	EXCESO AZÚCARES	EXCESO GRASAS SATURADAS	EXCESO GRASAS TRANS	EXCESO SODIO

Fuente: Secretaría de Economía (2020)

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: orientación del gasto, tipos de créditos solicitados, tasas de interés, plazos de crédito, entre otras.

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, propone que algunos aspectos a tomar en cuenta son que identifique el impacto causal de un programa y 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, y estimó el efecto del etiquetado de forma indirecta mediante el gasto en las zonas urbanas de cada región. Se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$\delta = (Y_{\text{tratado, después}} - Y_{\text{control, después}}) - (Y_{\text{tratado, antes}} - Y_{\text{control, antes}}) \quad \text{Ecn.1}$$

Donde:

δ Es equivalente a la diferencia del gasto promedio trimestral (GPT) de los hogares en alimentos ACE.

$y_{\text{tratado, después}}$ es GPT del grupo urbano (tratado) después de realizar la política.

$y_{\text{control, después}}$ es GPT del grupo rural (control) después de realizar la política.

$y_{\text{tratado, antes}}$ es GPT del grupo urbano (tratado) antes de realizar la política.

$y_{\text{control, antes}}$ es GPT del grupo rural (control) antes de realizar la política.

De acuerdo con el procedimiento de DD se estiman los parámetros β y δ , a partir de la siguiente expresión:

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 \text{Trat}_i + \beta_3 \text{Desp}_i + \delta(\text{Trat}_i * \text{Desp}_i) + \varepsilon_i \dots \text{ecn2}$$

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

$Desp_t$ Es una variable dicotómica: 1 para el GPT después de aplicar la política y 0 para el GPT antes de aplicar la política
 δ Estimador de diferencia en diferencias
 $(Trat_i * Desp_t)$ 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; $Trat = \text{cero}$ y $Desp = \text{cero}$
 $\beta_1 + \beta_2$ 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 INEGI (2022), el gasto corriente monetario promedio trimestral por hogar fue de \$39,965.00, de los cuales, en alimentos y bebidas se gastan \$15,059.00 (38%). 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 2, a nivel nacional sólo dos productos muestran disminución: Galletas, dulces y ates-jaleas-mermeladas. Para SAF fueron las dos anteriores más helados y paletas. El resto de los casos o aumentó el gasto o bien no son significativos.

Tabla 2: Impacto de las Políticas de etiquetado SAF y GDA a nivel nacional, 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
Pastelillos 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

7 Fuente: Elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

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

IMPACTO DEL ETIQUETADO A NIVEL REGIONAL

Respecto a SAF y GDA, en la tabla 3 se advierte que en la región Noroeste sólo hubo impacto en galletas dulces. Mientras 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, ambas etiquetas no 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.

Tabla 3: Impacto de las Políticas de etiquetado SAF y GDA por Región y producto, 2016, 2020 y 2022

Región	Región Noroeste					Región Norte-Noreste					Región Occidente				
	SAF		GDA		IP	SAF		GDA		IP	SAF		GDA		IP
Año	GTP	p	GTP	p	(%)	GTP	p	GTP	p	(%)	GTP	p	GTP	p	(%)
Producto	GTP	p	GTP	p	(%)	GTP	p	GTP	p	(%)	GTP	p	GTP	p	(%)
Gd	-60.9	---	-53.8	---	13	12.5	---	16.7	---	-25	-15.2	---	-26.8	---	-43

Gs	13.9	***	19.9	***	-30	79.3	***	82.1	***	-3	17.6	***	2.6	0.1	577
Pe	27.7	***	32.2	***	-14	91.0	***	94.0	***	-3	25.7	***	10.0	***	158
Pae	14.1	***	22.0	***	-36	94.0	***	95.8	***	-2	14.2	***	0.3	0.9	5572
Bf	9.8	***	15.8	***	-38	86.0	***	86.7	***	-1	15.9	***	2.0	0.3	686
Si	21.2	***	25.4	***	-17	93.7	***	95.8	***	-2	19.5	***	3.4	0.1	473
Pf	15.6	***	21.9	***	-29	90.7	***	93.5	***	-3	17.7	***	4.3	***	311
ct	18.2	***	23.5	***	-23	92.7	***	95.2	***	-3	18.5	***	2.8	0.1	559
Ajm	18.9	***	25.4	***	-26	93.8	***	97.0	***	-3	18.2	***	2.6	0.2	601
Hp	11.7	***	21.2	***	-45	89.9	***	93.1	***	-3	13.9	***	0.7	***	1801
Ba	76.6	***	70.9	***	8	63.0	***	58.8	***	7	56.0	***	46.7	***	20
Bah	14.0	***	18.5	***	-24	84.4	***	86.8	***	-3	-7.6	***	-24.4	***	-69

7 Fuente: Elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

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.

En el caso de la Región Centro y Sur, el etiquetado SAF y GDA han sido efectivos en todos los productos, salvo en las bebidas azucaradas (Tabla 4). En la Región Centro las galletas dulces disminuyeron \$36.6 SAF y \$47.27 GDA. Otro alimento con mayor decremento del gasto fueron los helados y paletas, con una reducción de \$28.53 SAF y \$34.97 GDA. En tanto, las políticas de etiquetado también han sido particularmente efectivas en la Región Sur; al ser la región con 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 el mayor en 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 4 Impacto de las políticas de etiquetado **SAF** y **GDA** por región y producto para 2016, 2020 y 2022

Región	Región Centro					Región Sur				
	SAF		GDA		IP (%)	SAF		GDA		IP (%)
	GTP	p	GTP	p		GTP	p	GTP	p	
Año										
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

7 Fuente: Elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

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

IMPACTO POR ESTADO SELECCIONADO

Se eligieron los estados más relevantes de las regiones antes evaluadas. Se tomó como ejemplo las galletas y dulces (que fue el producto más impactado por SAF). En la tabla 5 se aprecia que Sonora es el estado donde más impactó SAF con una disminución de \$132; CDMX \$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 se tuvo mayor efecto: Sonora (22 %); CDMX (19 %) y Jalisco (17 %).

Tabla 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,	-	-69.4(***)	-	-	-	-107.66
Dulces	131.5(***)		126.1(***)	127.6(***)	83.7(***)	

% respecto	22%	-36%	17%	19%	-22%
al total					
Nacional					

7 Fuente: Elaboración propia con base en ENIGH 2016, 2020 y 2022.

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.

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 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 en la región, sino en el producto, toda vez que el indicador de gasto expresa indirectamente la capacidad de ingresos, la disponibilidad, los gustos, preferencias, valores sociales y elementos culturales.

Si bien 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 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 fue inefectivo en bebidas azucaradas. Aunque el estudio concluye que la política de 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 bebidas azucaradas; en las regiones del Noroeste sólo fue efectivo en el producto de galletas y dulces, y en la Norte-Noroeste presentaron resultados diferentes. Respecto a los estados, Sonora SAF presenta 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 AC.

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., Emplaincourt, P. O., Jacobs, D. R., Jr, & 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-producenlosbeneficios/d2cbe57e-6c68-4c5c-89b5-b2c7d1b0ecb3>
- Brown, H. M., Rollo, M. E., de Vlieger, N. M., Collins, C. E., & 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., & 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.udesa.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., & 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., & 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. 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., & Fernández-Celemin, 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., & 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, Barriguete-Meléndez, Jorge Armando, Pettigrew, Simon, Hercberg, Serge, Julia, Chantal, & Galán, Pilar. (2019). Impacto de diferentes etiquetados frontales de alimentos según su calidad nutricional: estudio comparativo 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., & 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., & 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., & 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/portalInf/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., & 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., & 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., & 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]. *Nutrición 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., & 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., & 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.

Capítulo 20

Políticas Públicas integrales de discriminación social positiva en atención a la niñez: ¿por qué y para qué en Sonora, México?

Ana Isabel Valenzuela Quintanar¹, Berenice Ochoa Nogales², Adrián Israel Yañez Quijada³; Beatriz Olivia Camarena Gómez^{4*}

¹ Coordinación de Ciencia de los Alimentos, CIAD, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán, CP. 83000. Hermosillo, Sonora, México.

² Dirección de Investigación Educativa y Planeación. Comisión Estatal de Evaluación y Mejora Educativa. Secretaría de Educación y Cultura.

³ Psicología y Evaluación de la Dirección General de Atención al Neurodesarrollo. Servicios de Salud de Sonora.

⁴ Programa de Estudios Ambientales y Socioculturales del Desarrollo. Coordinación de Desarrollo Regional, CIAD, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán, CP. 83000. Hermosillo, Sonora, México.

*Autora para correspondencia: betica@ciad.mx.

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta un resumen del inicio y 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 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 el 70 %, esto es 20.8 millones de hectáreas (INEGI, 2020). Esta forma de producir representa a 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, y 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, con diferentes grados de toxicidad, persistencia y capacidad de acumulación (en el aire, agua y suelo), por ende, potenciales contaminantes de lagos, ríos y mantos freáticos, que pueden integrarse a las cadenas alimentarias (de Garbino, 2004; Arroyo y Fernández, 2013 y Leal et al., 2014).

Los primeros estudios realizados para probar la presencia de agrotóxicos en distintas localidades y poblaciones de Sonora fueron 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 (nd- 132 ± 22.3 ng/g), malatión (nd- 14 ± 1.0 ng/g), clorpirifos (nd- 17.0 ± 3 ng/g) y paratión metílico (nd- 60 ± 20 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 – 573 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 µg/g) y paratión (0.06 µg/g) en tomate; también, presencia de *p,p'*- DDE (diclorodifenildicloroetileno) en chile verde y tomate (0.41 - 2.02 ng/g y 1.82 - 2.58 ng/g, respectivamente), mientras que en chile caribe se encontraron residuos de endrín (0.18 - 0.76 ng/g). Para avanzar en esta línea de investigación, se planteó posteriormente, en el marco de un proyecto financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental de CONACYT (Valenzuela et al., 2015), identificar la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en 69 campos en las principales zonas agrícolas del norte, centro y sur de Sonora. 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 denotaron la necesidad de indagar en el conocimiento y percepción que tuvieran las poblaciones residentes en localidades cercanas a campos agrícolas, sobre el potencial riesgo de la presencia de plaguicidas. Se contó entonces con financiamiento 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 a 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 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 entonces, los estudios realizados en CIAD en relación con los plaguicidas habían priorizado el enfoque toxicológico toda vez que 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 socio - ambiental 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 degradación ambiental y desigualdades sociales (Eskenazi et al., 1999; Brulle & Pellow, 2006; Mohai et al., 2009, EJF, 2021). Esta perspectiva teórica y 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, 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 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 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 por género, más acentuada en Etchojoa, Hermosillo y Guaymas; la prevalencia de condiciones socioeconómicas adversas en todas las localidades consideradas en el estudio, 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 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 de la población (36, 24, 9 y 3 %, respectivamente).

Como se describe en apartado previo, el estudio de Ochoa (2018), además de evaluar aspectos socio - económicos 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 (Yañez et al., 2020), adiciona a la línea de investigación modelos de vulnerabilidad social, 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 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 en 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 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 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 ésta más vulnerable al contexto de 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, devela que los perjuicios ambientales afectan más a la población en situación de mayor desventaja social. Atender tal problemática exige atender los factores asociados a 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 ¹ 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 esfuerzos que realizan las instituciones y dependencias involucradas, incluso la mayoría de ellas no elabora reportes ni ¹ manuales con estándares de calidad para asegurar el desarrollo integral de niños y niñas (Mexicanos primero, 2019; Sotomayor, Carranza y Ruiz, 2024). Por tanto, el exhorto es impulsar la articulación de esos procesos y esfuerzos a nivel intra e interinstitucional en atención a la niñez. El reto implica diseñar una política de atención a la niñez que no obvie las causas estructurales de la pobreza, polaridad y marginación social que reproducen las desigualdades sociales; que adopte un enfoque integral para atender la salud, alimentación y educación de la niñez y familia rural, que se exija y/o sancione a las empresas que utilizan y fomentan prácticas nocivas para el medio ambiente y la sociedad; una política que articule los procesos y esfuerzos realizados por distintos actores e instituciones en atención a la niñez mexicana.

¹¹ Un avance en ese sentido la ofrece la UNICEF-México en la Agenda de la infancia y la adolescencia 2019-2024 en su 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. México, actualmente, 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 derechos, articule el desarrollo de planes, programas y acciones para la atención integral que debe asegurarse a 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; y 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) 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 y particularmente en Sonora, 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 por tipo de localidad (rural o urbana), por región agrícola (norte, centro y sur) y por 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, está caracterizado 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, no obstante, 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 que presentan 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 e igual en la reciente Estrategia Nacional de Atención a la Primera Infancia (ENAPI) y en 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. & 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. & 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-Olibarría, G., Grajeda-Cota, P., Zuno-Floriano, F. G., & 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., & 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 JB, Bastidas-Bastidas PJ, Leyva-García GN, Valdez-Torres JB, Aguilar-Zarate G, Betancourt-Lozano M. A comparison of pesticide residues in soils from two highly technified agricultural valleys in northwestern Mexico. *J Environ Sci Health B*. 2021;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, 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., & 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., & Valenzuela Navarro, C. P. (2014). Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas. *Terra latinoamericana*, 32(1), 1-11.
- Mergler, D. (2012). Neurotoxic exposures and effects: gender and sex matter. Hanninen Lecture 2011. *Neurotoxicology*, 33(4), pp. 644-51. Available at: <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., 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, and 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, & 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. & 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., 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., & 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.

CONFIDENCIAL

Ambiente, alimentación y salud para el bienestar

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	ciad.repositorioinstitucional.mx Internet	1222 palabras — 1%
2	hdl.handle.net Internet	644 palabras — 1%
3	www.ciad.mx Internet	345 palabras — < 1%
4	www.scielo.org.mx Internet	293 palabras — < 1%
5	repositorioinstitucional.uson.mx Internet	261 palabras — < 1%
6	datos.ciad.mx Internet	171 palabras — < 1%
7	scientiaetpraxis.amidi.mx Internet	163 palabras — < 1%
8	revistapcc.uat.edu.mx Internet	137 palabras — < 1%
9	Lino Gerardo Batista-Roche, José Ángel Huerta-Ocampo. "Mesquite: an allergenic plant of clinical relevance in Mexico", TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 2021 Crossref	97 palabras — < 1%

10	docplayer.es Internet	76 palabras — < 1 %
11	otrasvoceseneducacion.org Internet	70 palabras — < 1 %
12	Gabriela Santos-Antonio, Fernando Bravo-Rebatta, Patricia Velarde-Delgado, Adolfo Aramburu. "Efectos del etiquetado nutricional frontal de alimentos y bebidas: sinopsis de revisiones sistemáticas", <i>Revista Panamericana de Salud Pública</i> , 2019 Crossref	68 palabras — < 1 %
13	repositorio.uaaan.mx Internet	56 palabras — < 1 %
14	wasblobstorage.blob.core.windows.net Internet	54 palabras — < 1 %
15	documents.mx Internet	52 palabras — < 1 %
16	eprints.uanl.mx Internet	49 palabras — < 1 %
17	(12-30-13) http://200.23.35.13/posgrado/directorio/122-posgrado.html Internet	48 palabras — < 1 %
18	ww1.ciad.mx Internet	46 palabras — < 1 %
19	Elba Abril Valdez, María José Cubillas Rodríguez, Sandra Elvia Domínguez Ibáñez, María Ángeles Bilbao Ramírez et al. "Factores familiares asociados a la salud sexual de jóvenes universitarios de Sonora, México", <i>Psicología y Salud</i> , 2022	44 palabras — < 1 %

-
- 20 www.comecso.com 44 palabras — < 1 %
Internet
-
- 21 ciatej.mx 39 palabras — < 1 %
Internet
-
- 22 www.cec.org 37 palabras — < 1 %
Internet
-
- 23 Cristopeer Thomas-Busani, José Andrei Sarabia-Sainz, Jaqueline García-Hernández, Tomás J. Madera-Santana et al. " Synthesis of alginate-polycation capsules of different composition: characterization and their adsorption for [As()] and [As()] from aqueous solutions ", RSC Advances, 2020 30 palabras — < 1 %
Crossref
-
- 24 José Fabián Reyes Román. "DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GENÓMICA BASADO EN UN MODELO CONCEPTUAL HOLÍSTICO DEL GENOMA HUMANO", Universitat Politecnica de Valencia, 2018 30 palabras — < 1 %
Crossref Posted Content
-
- 25 "Evaluación del estado de avance de políticas y planes de adaptación al cambio climático en la acuicultura en América Latina y el Caribe", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2024 24 palabras — < 1 %
Crossref
-
- 26 dialnet.unirioja.es 23 palabras — < 1 %
Internet
-
- 27 "Regional review on status and trends in aquaculture development in Latin America and the Caribbean – 2020", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022 22 palabras — < 1 %

28 www.researchgate.net 22 palabras — < 1 %
Internet

29 Heliodoro Alemán-Mateo, Miriam T. López-Teros, Anabel Nora Pallaro, Carlos Márquez et al. "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, 2024 21 palabras — < 1 %
Crossref

30 www.facmed.unam.mx 21 palabras — < 1 %
Internet

31 Paúl F. Cuevas-González, Ricardo Reyes-Díaz, Lourdes Santiago-López, Belinda Vallejo-Cordoba et al. "Microbiological quality and native lactic acid bacteria diversity of artisanal Mexican cheeses: A review", Food Research International, 2024 17 palabras — < 1 %
Crossref

32 KEI (PERU Z-38) PTY LTD., SUCURSAL DEL PERU. "ITS para el Proyecto de Modificación de la Ubicación del Pozo Exploratorio G – Perforación Exploratoria de 20 Pozos en el Lote Z-38-IGA0003121", R.D. N° 085-2018-SENACE-JEF/DEAR, 2022 16 palabras — < 1 %
Publicaciones

33 www.redalyc.org 16 palabras — < 1 %
Internet

34 Carlos H. Sepúlveda, Maria I. Sotelo Gonzalez, Manuel García Ulloa, Andrés M. Góngora Gómez et al. "Mercury and selenium concentrations in the oysters Saccostrea palmula and Crassostrea corteziensis from 15 palabras — < 1 %

35 dos Santos Vieira, Bernardete. "Transferência de Arsénio Metais e Fósforo Entre Solos Sedimentos e Águas em Duas Bacias Hidrográficas: Ribeira da Vilariça e Rio Vizela", Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro (Portugal), 2024 15 palabras — < 1%
ProQuest

36 moam.info 15 palabras — < 1%
Internet

37 roderic.uv.es 15 palabras — < 1%
Internet

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 15 PALABRAS