

# Sociedades rurales, producción y medio ambiente

Revista semestral del Departamento de Producción Agrícola y  
Animal de la UAM-X ISSN 2007-7556



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

# 39

Julio 2020



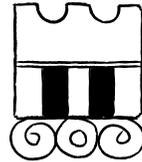
# **Sociedades Rurales**

**Producción y Medio Ambiente**



# Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente



Casa abierta al tiempo  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General  
Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro

Secretario General  
Dr. José Antonio de los Reyes Heredia

UNIDAD XOCHIMILCO

Rector  
Dr. Fernando de León Gozález

Secretario  
Mtro. Mario Alejandro Carrillo Luvianos

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Director  
Mtra. María Elena Contreras Garfias

Jefa del Depto. de Producción Agrícola y Animal  
Dr. Rey Gutiérrez Tolentino

Director de la revista  
Adolfo Álvarez Macías

COMITE EDITORIAL

Ciencias Agrícolas  
Dr. Carlos H. Ávila Bello  
Centro de Estudios Interdisciplinarios de Agrobiodiversidad  
(CEIABio)  
Universidad Veracruzana

Dr. Rodolfo Figueroa Brito  
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos  
Instituto Politécnico Nacional

Dr. Daniel Ruiz Juárez  
Departamento de Producción Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Ciencias Pecuarias  
Dr. Carlos Arriaga Jordán  
Instituto de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural  
Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. Luis Corona Gochi  
Jefe del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Antonio Martínez García  
Departamento de Producción Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Calidad e Inocuidad de Productos Agroalimentarios  
Dr. Arturo Camilo Escobar Medina  
Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (Cuba)

Dr. Eduardo Morales Barrera, UAM-X  
Departamento de Producción Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Dra. Silvia D. Peña Betancourt  
Departamento de Producción Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Economía y Desarrollo Rural  
Dra. Tamara Perelmuter  
Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG)  
Universidad de Buenos Aires

Acuicultura y Pesca  
Dr. Iván Gallego Alarcón

Diseño y formación  
D. C. G. Mary Carmen Martínez Santana

Corrección  
D. C. G. Amada Pérez

SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE.  
Año 2020, número 39, julio de 2020, es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Delegación Tlalpan, C.P. 14387, México, D.F., y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960, México, D.F., Tel. 54837231 y 54837230. Página electrónica de la revista: <http://srpma.xoc.uam.mx> y dirección electrónica: [aalvarez@correo.xoc.uam.mx](mailto:aalvarez@correo.xoc.uam.mx) Editor Responsable Adolfo Álvarez Macías. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2011-081214583100-203, ISSN 2007-7556, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Índices de revistas a los que pertenece SRPMA: LATINDEX y PERIODICA. Responsable de la última actualización de este número: Mary Carmen Martínez Santana, asesor externo correo: [macma\\_577@hotmail.com](mailto:macma_577@hotmail.com). Tamaño del archivo 2300 KB.

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

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

Suscripción anual (2 números)  
México: \$220.00  
Estados Unidos: \$50.00 USD  
Centro América y Sudamérica: \$40.00 USD  
Europa: \$60.00 USD

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

# Índice

<b>Editorial</b>	9
<b>Política de la revista</b>	13
<b>ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN</b>	
<b>Retos comunitarios para la conservación del manglar en la Laguna de Chautengo, Guerrero (México).</b> <i>Jaime Matus Parada</i>	15
<b>Estado de nutrición en madres y menores de cinco años de comunidades rurales de alta marginación de Maravatío, Michoacán.</b> <i>Samuel Coronel Núñez, Isabel Pineda Sales y Rafael Díaz García</i>	39
<b>Contaminación de Fusariotoxinas: Zearalenona, Fumonisinias y Deoxinivalenol en maíz (<i>Zea mays L.</i>), procedente de Puebla y de la Ciudad de México.</b> <i>Silvia D. Peña Betancourt, Julio C. Camacho Ronquillo y Eduardo Posadas Manzano</i>	55
<b>Evaluación de suplemento comercial en el crecimiento de <i>Pterophyllum scalare</i> (Lichtenstein, 1823).</b> <i>Jesús Damaso Bustamante González, Danae Rocío Álvarez García, Randy Gilberto Rojas Rubio y Araceli Cortes García</i>	71
<b>ARTÍCULOS DE REVISIÓN</b>	
<b>Bioplaguicidas fúngicos y botánicos en el manejo sustentable de plagas en la agricultura moderna.</b> <i>Fiel Nelly Martínez, Verónica Nava Rodríguez, Antonio Flores Macías, Silvia Rodríguez Navarro y Juan Esteban Barranco Florido</i>	91

<b>Technologies to assess and increase the innate immune response to infections in tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>). A review.</b> <i>Daniel Becerril Cortés, María del Carmen Monroy Dosta, Aida Hamdan Partida, José Antonio Mata Sotres, Jaime Bustos Martínez, Leonor Rojas Huerta y Kathia Cienfuegos Martínez</i>	111
<b>Los embriones de pez cebra <i>Danio rerio</i>: un modelo animal en la ecotoxicología.</b> <i>Román Espinosa Cervantes, María Teresa Medrano Ramírez y Adelfa del Carmen García Contreras</i>	131
<b>ENSAYO</b>	
<b>Crisis del COVID-19: encrucijada entre el modelo neoliberal de producción y consumo y soberanía alimentaria.</b> <i>Carlos H. Ávila Bello y Julieta Ma. Jaloma Cruz</i>	149
<b>Guía de autores</b>	165

## Editorial

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* mantiene su aparición regular desde el año 2000. Esta publicación es editada (en formato digital) desde el Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. En esa línea, la revista prosigue en el proceso de mejora continua de sus procesos editoriales, así como de economía, acorde con los tiempos de austeridad que vive nuestra Universidad y la economía nacional en su conjunto. En los últimos números se ha mantenido un mayor número de colaboraciones, aun cuando esta medida ha propiciado retrasos en la aparición de la revista, no obstante, ha permitido interactuar con mayor número de autores y revisores y, en especial, ha implicado un acercamiento a los estándares de calidad que exigen los índices de revistas.

En nuestra publicación siempre se han valorado las aportaciones de autores, árbitros y editoras, así como el respaldo de la Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal, quienes han resultado esenciales en el proceso de permanencia y mejora de la revista. En este contexto, sigue abierta la convocatoria para que investigadores y estudiosos de diversas instituciones nacionales y del extranjero, y desde las diferentes disciplinas relacionadas al desarrollo de las sociedades rurales, producción agropecuaria y pesquera, así como del medio ambiente, propongan aportaciones derivadas de sus investigaciones, que coadyuven a atender problemas tan relevantes como la pobreza rural, la inseguridad alimentaria, los bajos índices de productividad y sostenibilidad y el desarrollo desigual que ha resultado un obstáculo mayor al desarrollo agropecuario, agroalimentario y rural. Por el contrario, existen opciones de abonar a las oportunidades que derivan del actual modelo de desarrollo, como los mercados orgánicos, las tecnologías agroecológicas y los nuevos hábitos de consumo, por mencionar algunos de los más relevantes.

En este número se presentan ocho contribuciones, las primeras cuatro corresponden a artículos de investigación, tres a artículos de revisión y por último un ensayo. En el primer artículo se estudiaron los problemas de conservación del manglar en tres comunidades de bajos recursos asentadas en los márgenes de una laguna costera, en el estado

de Guerrero. Se analizaron las prácticas comunitarias de interacción con el manglar mediante entrevistas a miembros claves de las comunidades, así como los rasgos ecológicos básicos del manglar, triangulando muestreos de campo, observaciones guiadas y los conocimientos locales. Se plasman alternativas sustentadas en los hallazgos bajo tres enfoques investigativos: gobernanza del conocimiento, cambios socio-institucionales y transiciones socio-técnicas. En el segundo artículo, se propone un diagnóstico del estado de nutrición en seis comunidades de Maravatío, Michoacán, con el fin de plantear medidas tendientes a mejorar la situación alimentaria y nutricional. Los resultados que se presentan en este estudio se obtuvieron entre 2017 y 2019, derivados de la evaluación del estado de nutrición de menores de cinco años y el sobrepeso y obesidad en madres de familia de comunidades rurales de alta marginación, mediante indicadores: talla para la edad y peso para la edad, en el caso de los menores, y el índice de masa corporal, en el caso de las madres de familia. Se demostró que las prevalencias de desnutrición en las comunidades son similares a las reportadas a nivel nacional para población rural y las de sobrepeso y obesidad son ligeramente inferiores al promedio nacional.

En el siguiente artículo se analiza la contaminación por micotoxinas en el maíz, determinándose la co-existencia de tres fusariotoxinas en el grano de consumo humano. Se colectaron muestras de maíz comercializadas en dos alcaldías: Xochimilco y Tláhuac de la Ciudad de México, y en catorce municipios del estado de Puebla, durante el ciclo agrícola 2018. Se detectó que el maíz procedente de la Ciudad de México y Puebla presentaron una contaminación por zearalenona, fumonisinas y deoxinivalenol. El maíz procedente de la Ciudad de México con un contenido promedio total de 1,136.3  $\mu\text{g kg}$  mayor que el maíz de Puebla (830.92  $\mu\text{g kg}$ ), sin diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al origen de las muestras. Se concluye que, en el maíz de los dos estados co-existen más de una micotoxina en niveles no permitidos para el consumo infantil, por lo que se recomienda vigilancia de las fusariotoxinas para evitar daños a la salud. En el cuarto artículo se evaluó el efecto del probiótico PROBION-forte<sup>®</sup> como suplemento alimenticio sobre el crecimiento de *Pterophyllum escalaré*. Para determinar el crecimiento se registró la longitud total, la altura y el peso, dando como resultado que los juveniles alimentados con 12.5% de probiótico presentaron mayor ganancia en longitud total, sin embargo, el grupo control mostró el mayor factor de conversión  $2.49 \pm 0.7$ . En conclusión, los juveniles mostraron mayor longitud total, actividad vigorosa y color de piel brillante, lo que permite llevar a cabo estudios suplementarios sobre estas variables.

En la quinta contribución se examinan las relaciones y procesos biológicos de los hongos y plantas con los insectos para poder determinar la utilización de los metaboli-

tos secundarios –que producen de forma natural– en la creación de bioinsecticidas. Se reveló que para que el uso de los bioinsecticidas botánicos y fúngicos sea cada vez más frecuente, por parte de los agricultores, es necesario valorar la forma de producción más eficiente, la comercialización y la vida útil y de almacenamiento, la bioseguridad, el registro del producto desarrollado y la entrega de esta tecnología. Además, el producto tiene que ser eficaz con la plaga y debe producirse a bajos costos para que pueda competir con los productos comerciales. En la sexta contribución se presenta una revisión de la bibliografía sobre los mecanismos asociados a la respuesta inmune innata de la tilapia (*Oreochromis niloticus*), enfatizando el uso de diversos tipos de inmunoestimulantes para el control de enfermedades y las técnicas utilizadas para validar los resultados de su aplicación, porque los procesos infecciosos figuran entre las limitaciones más importantes en los sistemas mundiales de producción acuícola. La revisión está estructurada con base en tres temas: inmunidad innata en peces óseos, biotecnología aplicable para estimular la inmunidad innata y herramientas genómicas relacionadas con la evaluación de la respuesta inmune en peces.

Más adelante, se propone una revisión sobre los efectos que provocan algunos compuestos tóxicos en embriones de peces cebra, como un modelo animal para estudios ecotoxicológicos; se examinan individuos en sus distintos estadios de desarrollo, desde embrión hasta adulto, para evaluar la toxicidad y la teratogenicidad potencial de compuestos químicos como metales pesados, disruptores endocrinos, pesticidas y fármacos. Investigaciones recientes han propuesto que los embriones del pez cebrá responden a los compuestos tóxicos como lo hacen los mamíferos debido a su similitud en el desarrollo embrionario, metabolismo, fisiología y vías de señalización. Para cerrar este número, se incluye un ensayo en el que se reflexiona acerca de la crisis global por la pandemia del COVID-19 y sus posibles efectos sobre la agricultura en general, con énfasis en el caso mexicano, y con propuestas para lograr la soberanía alimentaria a través de la producción de alimentos saludables, la conservación de la agrobiodiversidad y la reconfiguración de la organización social, reconociendo la participación de las mujeres como un factor esencial.

Por último, se reitera que el proceso de mejora general en que está inserta la revista se mantendrá para que se logre el reconocimiento necesario que atraiga a nuevos autores y lectores, por tanto, son bienvenidas todas las sugerencias y observaciones que coadyuven en este sentido. A la vez, esta publicación está abierta a todas las propuestas académicas de calidad susceptibles de ser publicadas.

**Adolfo Álvarez Macías**  
Director



## Política de la revista

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* se mantiene vigente y cada vez más cerca de alcanzar la puntualidad en su publicación, gracias a la colaboración tanto de autores como de revisores y cuerpo editorial. También se ha continuado con la mejora paulatina de los mecanismos de evaluación de los manuscritos que se presentan, y se han dinamizado los lapsos de respuesta a los autores, lo que nos acerca cada vez más a las características de una publicación de calidad susceptible de ingresar a los índices de revistas más relevantes del país.

Para ello, ha sido invaluable el impulso que ha brindado el Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, que está comprometido en la divulgación de resultados de investigaciones de sus académicos, como lo mandata su Ley Orgánica. Asociado a lo anterior, es importante la participación de todos los investigadores que consideren a la revista como un canal de divulgación adecuado. Prueba de lo anterior es que la revista está cumpliendo 20 años de vida.

Desde su origen, la revista se planteó con el objetivo central de comunicar y promover los avances en el desarrollo de las ciencias y campos de conocimiento asociados al estudio multidisciplinario de la producción y las transformaciones sociales, económicas, tecnológicas y ambientales en las sociedades y los territorios rurales, en el marco de un sistema alimentario mundial y regional que no cesa de evolucionar y de marcar nuevos retos de investigación y análisis.

Las temáticas que se privilegian en esta publicación comprenden los procesos que inciden en la confección de los distintos modelos de producción agrícola, ganadera, silvícola, acuícola y pesquera, así como las actividades conexas al desarrollo rural y alimentario bajo los métodos de análisis y la aplicación del conocimiento biológico, ambiental, tecnológico y socioeconómico, privilegiando los enfoques interdisciplinarios. Así, la publicación comprende los cuerpos de conocimientos y métodos de las ciencias biológicas, sociales y ecológicas que tratan de explicar los problemas –científicos, tecnológicos, sociales y culturales– que enfrentan las sociedades en sus territorios rurales, la agricultura, los recursos naturales, la alimentación y el desarrollo regional. En ese marco, la revista está implicada en proponer análisis y discusiones que generen cada

vez más, posibles alternativas de solución para problemas y retos locales, regionales, nacionales y globales.

De esta forma, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* se orienta hacia la evaluación de la investigación de frontera y el nivel actual de la discusión entre disciplinas relacionadas con el objeto de estudio. Desde esta perspectiva, se pretende que las distintas contribuciones en la revista aborden la temática con rigor científico y con una visión humanista que brinde proyección y sentido a los resultados presentados. Se reitera que la política de la revista promueve la publicación de trabajos que aporten información inédita y original bajo las siguientes cuatro modalidades: i) Artículos de investigación, ii) Artículos de revisión y Notas de investigación, iii) Ensayos y revisiones bibliográficas y iv) Reseñas de libros y de eventos especializados. Así, la publicación se mantiene como un campo abierto, crítico y constructivo que busca enriquecer las explicaciones científicas e interpretaciones que coadyuven al desarrollo rural, agropecuario, alimentario y regional, teniendo como principios rectores: la equidad, la sostenibilidad y la competitividad.

Aparte de las contribuciones individuales, también se viene fomentando la edición de números temáticos, desarrollados por grupos formales e informales de investigación, para el abordaje de objetos de estudio comunes bajo distintas ópticas analíticas, métodos de trabajo, e incluso disciplinas. Para los interesados en esta última opción, se les invita a contactar a la dirección de la revista para coordinar de la mejor manera posible alternativas de este tipo. En síntesis, esta revista se mantiene como una casa abierta para contribuciones del medio científico, tecnológico y del desarrollo que permitan fomentar y dar sustento al trabajo académico en beneficio de la sociedad en su conjunto.

Finalmente, nos gustaría subrayar que esta revista está inscrita en LATINDEX, así como en PERIODICA, esperando, en un futuro cercano, avanzar en su inscripción en otros índices similares.

Para mayor información sobre la publicación, favor de dirigirse a:  
**Adolfo Álvarez Macías, Director de la revista.**

Edificio 34, tercer piso.  
Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.  
Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, Ciudad de México.  
Tels. 5483-7230 y 7231.  
e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx.

La guía para autores puede consultarse en: <http://srpma.xoc.uam.mx>.

# Retos comunitarios para la conservación del manglar en la Laguna de Chautengo, Guerrero (México)

Jaime Matus Parada<sup>1</sup>

**Resumen.** Se estudian los problemas de conservación del manglar en tres comunidades de bajos recursos asentadas en los márgenes de una laguna costera, esto con la finalidad de aportar ideas que les permitan conservar sus recursos naturales y mejorar su calidad de vida. Se analizaron las prácticas comunitarias de interacción con el manglar mediante entrevistas semi-estructuradas aplicadas a miembros claves de las comunidades, así como los rasgos ecológicos básicos del manglar, triangulando muestreos de campo, observaciones guiadas y el aprovechamiento de los conocimientos locales mediante consultas con los lugareños. Los resultados mostraron alteraciones ecológicas en el manglar y sistemas de prácticas comunitarias poco compatibles con la conservación. Finalmente, se plasman alternativas sustentadas en los hallazgos de tres enfoques investigativos: la gobernanza del conocimiento, los cambios socio-institucionales y las transiciones socio-técnicas, todo con el fin de generar, expandir y reestructurar las prácticas comunitarias.

**Palabras clave:** conservación del manglar, prácticas culturales, gobernanza comunitaria, gestión participativa, Laguna de Chautengo.

**Abstract.** Mangrove conservation problems are studied in three low-income communities located in the edges of a coastal lagoon, with the aim of generate ideas that will allow them to preserve his natural resources and increase the quality of live. We analyzed the interactions of the community with the mangrove, trough semi-structured questionnaires applied to a key members of the community, as well, we analyze the basic ecological aspects of the mangrove, triangulating field sampling, guided observations and the use of local knowledge through consultations with the locals.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento El Hombre y su Ambiente, e-mail: montagno\_49@hotmail.com.

*The results showed ecological alterations in the mangrove and community practices systems that were poorly compatible with conservation. Finally, we propose alternatives based in the findings of three research approaches; the use of knowledge, socio-institutional changes, and the socio-technical transitions, with the aim of generate, expand and reconfigure the community practices.*

**Keywords:** mangrove conservation, cultural practices, community governance, participatory management, Laguna de Chautengo.

## INTRODUCCIÓN

La pregunta central sobre la que gira el presente artículo es: ¿cómo se puede apoyar a las comunidades rurales para que logren conservar sus recursos naturales? Cuestión relevante en México en donde existen alrededor de 25 000 grupos comunitarios que poseen 80% de las distintas zonas forestales del país (Muñoz, 2015). Estos grupos comunitarios suelen encontrarse bajo una regulación gubernamental que con frecuencia se ejerce sin su participación y con insensibilidad a sus necesidades (Berkes, 2004). Afortunadamente, desde hace tiempo se han desarrollado opciones a las políticas centradas en el Estado, caracterizadas por ser más inclusivas, orientadas a las personas y basadas en la comunidad. No obstante, los enfoques participativos de gestión han sido difíciles de desarrollar, pues los resultados obtenidos con ellos han estado por debajo de las expectativas (Kellert *et al.*, 2000). En ocasiones, estos enfoques han sido obstaculizados por conflictos intracomunitarios (Moore, 1998), que surgen con mayor frecuencia cuando los recursos silvestres son medios primordiales para la vida de los pobladores (Agrawal y Gibson, 1999). Dada la importancia de estos conflictos, se ha llegado a sugerir la necesidad de examinar los mecanismos específicos y locales que intervienen en su aparición, así como sus repercusiones sobre la vida silvestre (Salerno *et al.*, 2016).

Una gestión comunitaria participativa es particularmente relevante para las zonas forestales de manglar, en las cuales suelen asentarse poblaciones marginadas que tienden a mermar a estos ecosistemas, alterando las relaciones ecosistémicas entre los organismos, así como su capacidad para ofrecer servicios (Lee *et al.*, 2014) y sus procesos de adaptación a las condiciones del entorno (Krauss *et al.*, 2014). Por otra parte, los estudios sobre la gestión de recursos públicos han tendido a concentrarse en el establecimiento de acuerdos institucionales, descuidando cómo la población puede hacerlo, las condiciones, los procesos y los mecanismos necesarios. En busca de allanar este hueco, la presente investigación analiza a tres pequeñas comunidades humanas asentadas en los

márgenes de la Laguna de Chautengo, Guerrero, México. Esto con la finalidad de contribuir al descubrimiento de caminos que permitan apoyar a este tipo de comunidades, tanto para el mantenimiento de sus recursos como para mejorar su nivel de vida.

El objetivo del trabajo parte de asumir que es necesaria una comprensión de la situación ecológica del manglar, así como un entendimiento social de la interacción de las comunidades humanas con sus recursos naturales, para así construir una reflexión sustentada de las dificultades políticas que pueden surgir en los miembros comunitarios para conservar sus recursos. Por ello, se estudian aquí algunos rasgos estructurales básicos del ecosistema del manglar, a la par que se analiza la estructura de prácticas de los diferentes miembros comunitarios, para explorar el tipo de interrelaciones que existe entre cada una de las tres comunidades consideradas y sus recursos aledaños.

En varias comunidades marginadas, las fuentes de las reglas, que enmarcan las prácticas cotidianas de los individuos, se encuentran más en el conjunto de respuestas específicas de cada miembro, que en las formulaciones reglamentarias de instituciones estatales, nacionales o internacionales (Alexander *et al.*, 2020). El problema es que estas prácticas surgidas de respuestas individuales, y frecuentemente oportunistas, pueden llegar a formar parte de diversos problemas ecológicos locales (Ostrom, 2009). Esto define problemáticas con un estricto sentido contextual, lo que obliga a comprender cómo cada comunidad establece interacciones con sus recursos naturales. En este trabajo se piensa que la comprensión de dichas particularidades de interrelación, entre poblaciones humanas y naturaleza, puede llegar a sugerir la gobernanza adecuada, es decir, aquella potencialmente funcional para un contexto ambiental específico.

## METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en la Laguna de Chautengo, la cual forma parte de dos municipios: Florencio Villareal y Copala, de la Costa Chica del estado de Guerrero. Los habitantes de ambos municipios se dedican a actividades primarias y son principalmente agricultores que completan su alimentación con caza, pesca y recolección de productos silvestres, sustentados principalmente por el bosque de manglar, de tal forma que éste juega un papel crucial en este territorio en el que aproximadamente 35% de sus habitantes viven en pobreza extrema (Coneval, 2013). Al igual que en otros territorios costeros de la región, gran parte de la población se encuentra dispersa en pequeñas comunidades, de las cuales, tres fueron objeto de este estudio, ubicadas al margen de la laguna. Localmente, dichas comunidades son conocidas como: Llano de la Barra, Fortuna y Peñas (Figura

1); la primera con 149 habitantes, la segunda con 140 y la tercera con 778, cada una de las cuales tiene una estructura ocupacional diferente (ver Tabla 3 de resultados) e incluye un área urbana en donde se asientan sus pobladores y un área natural, con límites definidos en forma funcional y local.

En cada comunidad se realizaron dos tipos de exploración: la primera fue ecológica y se orientó a detectar el estado de conservación del manglar; la segunda fue de naturaleza social, enfocada a estimar el sistema de acciones mediante las cuales las miembros comunitarios interactúan con el manglar.

**Figura 1. Ubicación de la Laguna de Chautengo y de las tres comunidades estudiadas**



La exploración ecológica se efectuó en las áreas de manglar comunitarias en el mes de octubre de 2019, en un periodo cuando la boca de la laguna se encontraba abierta. Cada área comunitaria de manglar se exploró triangulando muestreos de campo, observaciones guiadas y la consulta con los lugareños, aprovechando sus conocimientos locales para generar un diagnóstico participativo (Tang y Gavin, 2016). Para la obtención y organización de esta información ecológica se siguió la diferenciación propuesta por Kathiresan y Bingham (2001), es decir, en tres grandes subsistemas: forestal, organismos asociados al manglar y factores abióticos. En el subsistema forestal se estimó la estructura de especies de mangle, la abundancia relativa de cada especie, así como la abundancia de plántulas. En el subsistema de organismos se estimó la abundancia relativa de ocho diferentes grupos de organismos: vegetación asociada, crustáceos, moluscos, reptiles, aves, peces, insectos y mamíferos. Por último, en el subsistema abiótico se estimaron algunos patrones de variación críticos: periodo de inundación, condiciones del suelo y variaciones de salinidad.

Para la toma de datos sociales se realizaron entrevistas semi-estructuradas a miembros clave, identificados gracias a la información proporcionada por los propios comuneros. Se realizaron 43 entrevistas en Llano de la Barra, 42 en Fortuna y 36 en Peñas (Tabla 3). Como paso inicial para el diseño de las entrevistas se elaboró un marco epistémico para construir un referente que indicara las relaciones críticas que se establecen entre los miembros de una comunidad y los recursos naturales de los que dependen. Para estructurar las preguntas se acuñó la noción de práctica que, en su definición más generalizada, implica un nexo de formas de actividades que se despliegan en el tiempo y en el espacio, y que son identificables como una unidad (Schatzki *et al.*, 2001). De acuerdo con Reckwitz (2002), este nexo de actividades involucra elementos interconectados que se presentan de forma rutinizada y que se pueden diferenciar en: elementos mentales (asociados con el sentido de la actividad), elementos corporales (actividades del cuerpo que implican competencia) y elementos materiales (implican a todos aquellos objetos que participan de la ejecución de la práctica).

De esta forma, las preguntas básicas fueron: ¿por qué hace la actividad? (sentido de la práctica), ¿cómo lo hace? (competencia en la práctica) y ¿con qué lo hace? (aspectos materiales de ejecución). Al momento de realizar las entrevistas, las preguntas se reformularon o se incluyeron otras, dado que se consideró un método en el que el siguiente paso de un cuestionamiento dependía de los resultados de la consulta previa (Hinkel *et al.*, 2016), de tal forma que la generalidad de las preguntas iniciales se fuera ajustando a las particularidades de la información proporcionada por el entrevistado. Cada pregunta buscó lograr que los comuneros explicaran y justificaran sus actividades de interacción con el

manglar, de tal forma que, posteriormente, sus respuestas permitieran profundizar en su comportamiento superficial para obtener una comprensión de las reglas o estrategias que siguen para definir sus actividades (Ostrom, 2010). Finalmente, para clasificar a las prácticas identificadas se retomó el término de “arenas de acción”, de Elinor Ostrom (2009), de esta manera cada arena agrupó a una constelación anidada de actividades y prácticas.

## RESULTADOS

### Pluralidad de interacciones de las comunidades con el manglar

Se detectó una amplia gama de actividades a través de las cuales las distintas comunidades interactúan con sus respectivas áreas de manglar; al agruparlas se configuró un sistema de 14 prácticas comunitarias (Tabla 1). Éstas se caracterizaron por carecer de una orientación coherente debido a que perseguían fines diferentes, algunos de ellos incluso contradictorios entre sí. A su vez, la clasificación de las prácticas permitió diferenciarlas en cuatro arenas de acción denominadas operativamente como: 1) crecimiento urbano y productivo, 2) manejo de desechos, 3) uso de recursos naturales y d) gestión de recursos naturales (Tabla 1).

Tabla 1. Prácticas comunitarias de interacción con el manglar agrupadas en arenas de acción

Arenas de acción			
Crecimiento urbano y productivo	Manejo de desechos	Uso de recursos naturales	Gestión de recursos naturales
<b>Prácticas de sustitución ecosistémica</b>	<b>Prácticas de vertimiento de desechos</b>	<b>Prácticas de uso directo</b>	<b>Prácticas de cuidado y conservación de hábitat</b>
1. Crecimiento urbano 2. Expansión agrícola 3. Expansión ganadera	4. Basura de hogar y actividades productivas 5. Contaminantes de otro tipo	6. Corte y extracción de madera 7. Uso de hábitat  <b>Prácticas de uso indirecto</b> 8. Turismo 9. Pesca 10. Prácticas de alteración Hidrológica 11. Dragado	12. Reforestación 13. Poda forestal 14. Apertura de la boca lagunar

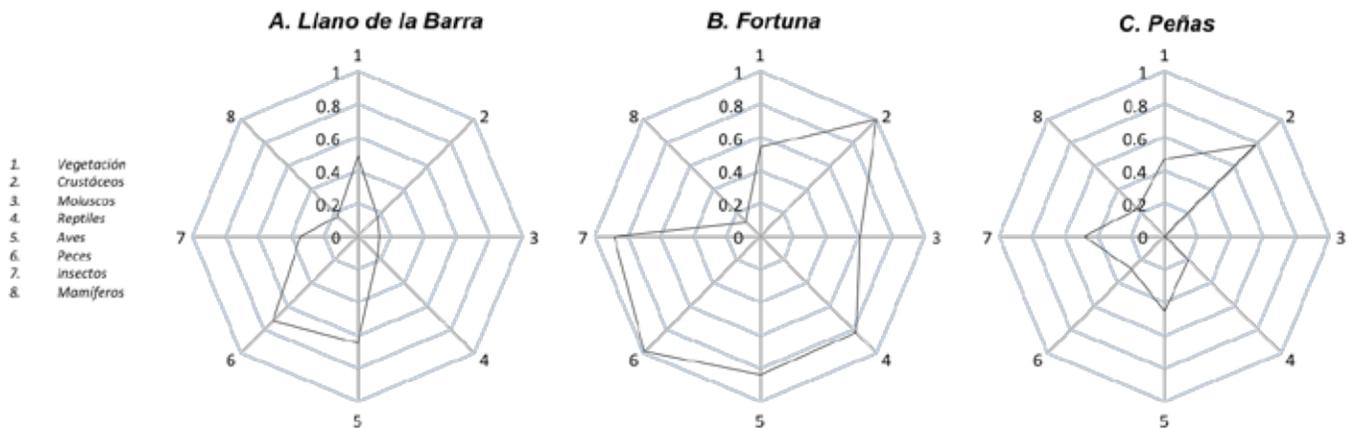
## **Arena de acción de crecimiento urbano y productivo**

En las tres comunidades se registró un crecimiento demográfico y productivo que da pie a prácticas urbanas agrícolas y ganaderas, las cuales se caracterizan sustancialmente por remplazar a las zonas de manglar por cultivos, pastizales o zonas urbanas. Por lo general, estas prácticas resultan altamente perjudiciales, pues no solamente reducen la extensión natural del manglar, sino que también sustituyen o modifican otras zonas naturales, con lo que alteran los sitios de refugio, reproducción o alimentación de distintos grupos de organismos, reduciendo con todo ello la riqueza de organismos asociados al manglar.

Aunque en las tres comunidades se detectan este tipo de prácticas, no en todas se realizan de la misma forma. En la comunidad de Llano de la Barra la sustitución del manglar por áreas urbanas o productivas es muy baja, dado que el crecimiento urbano es reducido, no se realiza una actividad ganadera y la actividad agrícola se ha desarrollado centrada en el cultivo de la palma de coco, la cual llegar a ser compatible con las áreas naturales de manglar, lo que evita su sustitución. Por ello, los registros no muestran evidencias de que este tipo de prácticas esté afectando a los organismos de esa área, no obstante, en ese lugar se encontró una limitada riqueza de los mismos (gráfica 1), tal vez asociada al relativo aislamiento de esta área de manglar de otras áreas terrestres, vitales para complementar los ciclos de vida de diversos organismos que suelen habitar los sistemas lagunares costeros.

En la comunidad de Fortuna se detectó una expansión agrícola y ganadera, pero un crecimiento urbano limitado. Por su parte, en las Peñas la expansión agrícola y ganadera se combina con un notable crecimiento urbano. Estas diferencias se reflejan en la riqueza de organismos existentes en sus respectivas áreas naturales aledañas. En Fortuna, con excepción del grupo de mamíferos, los distintos grupos de organismos se mostraron en forma abundante, pero en Peñas, el único grupo abundante fue el de crustáceos, y los restantes grupos de organismos se presentaron escasamente (gráfica 1).

**Gráfica 1. Variaciones en la riqueza de ocho grupos de organismos en las áreas comunitarias**



### Arena de acción de manejo de desechos sólidos

En esta arena se incluyen prácticas asociadas a las labores domésticas, productivas y turísticas, las cuales actúan en conjunto, provocando problemas generalizados de deterioro forestal en las tres comunidades. En todos los casos, la composición de los desechos sólidos fue similar: papeles, plásticos (principalmente PET), chatarra de diferentes artefactos, vidrios, telas y partes de equipos obsoletos o en desuso (principalmente relacionado con la pesca). Igualmente, las prácticas asociadas al manejo de desechos son análogas en las tres comunidades: quema, entierro, desecho en cuerpos de agua, amontonamientos en baldíos o márgenes de carretera y, en menor proporción, el reciclamiento parcial.

Las diferencias comunitarias se presentaron en la localización y en el volumen total y relativo de los desechos sólidos. En Llano de la Barra, 53% de los sitios muestreados presentó algún tipo de residuos, conformados principalmente por PET, restos de cocos y hojarasca. En el área de la Fortuna se encontró 27% de sitios muestreados con algún tipo de residuo antrópico, conformado principalmente por PET y excrementos animales. En el área de Peñas, 38% de los sitios presentó restos de basura de naturaleza más urbana, como: restos de pañales, chatarra, vidrio y distintos tipos de telas.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Cabe aclarar que los residuos encontrados en los sitios de muestreo pueden no ser de origen comunitario, pues sobre todo en la temporada de lluvia, los ríos Nexpa y Copala suelen arrastrar desechos sólidos provenientes de áreas extra-lagunares.

El efecto de la basura sobre el manglar depende de su composición y puede afectar de manera indirecta y directa. En forma indirecta puede llegar a afectar la bioturbación con la consecuente alteración de la disponibilidad de nutrientes para el manglar. Las alteraciones directas son diversas, algunas inciden en el ciclo reproductivo del manglar, lo que se registró en el campo, al detectar basura que llegó a limitar la distribución, asentamiento y sobrevivencia de plántulas. En particular, el asentamiento de plántulas de manglar fue relativamente bajo en las tres comunidades,<sup>3</sup> pero también variable (Tabla 2). En Llano de la Barra, en más de la mitad de los sitios muestreados no se encontraron plántulas asentadas y solamente en 24% de los sitios las plántulas fueron abundantes. En Fortuna, todos los sitios estudiados presentaron plántulas, en 41% de ellos fueron abundantes y en 18% muy abundantes. En Peñas también en todos los sitios de muestreo las plántulas estuvieron presentes y en 59% fueron abundantes y muy abundantes (Tabla 2).

**Tabla 2. Porcentajes de los sitios de muestreo con diferente abundancia de plántulas en las tres áreas comunitarias**

Abundancia de plántulas					
	Ausente	Muy poco abundante	Poco abundante	Abundante	Muy abundante
Llano de la Barra	55	7	14	24	0
Fortuna	0	6	35	41	18
Peñas	0	18	23	53	6

### Arena de acción de uso de recursos naturales

Esta arena está directamente relacionada con el aprovechamiento, directo e indirecto, del manglar y es la más diversa de las analizadas, con seis diferentes tipos de práctica

<sup>3</sup> El asentamiento de plántulas de manglar es afectado por muy diversos factores (Kathiresan y Bingham, 2001), pero en la zona de estudio se hizo evidente su alteración por la basura y la depredación por la crianza de animales domésticos (principalmente cerdos).

(Tabla 1). Esta arena se genera principalmente por las ocupaciones laborales relacionadas directamente con la explotación de los recursos naturales. Las comunidades mostraron diferencias en la estructura ocupacional que impactan esta arena de acción, por ejemplo, en Llano de la Barra las ocupaciones predominantes son: pescadores, agricultores de palma de coco, criadores de animales domésticos (principalmente cerdos y pollos) y la ocupación relacionada con el turismo que incluye servicios de restaurant, transporte en lancha y renta de espacios para acampar o cabañas rústicas. En la estructura ocupacional de Fortuna, la pesca es la actividad predominante, abundan también taladores que utilizan la leña (principalmente de *C. erectus* con fines domésticos); hay un equilibrio entre actividades ganaderas y agrícolas y una ausencia de la ocupación turística. En la comunidad de Peñas, la estructura ocupacional revela una mayor amplitud con ocupaciones no directamente relacionadas con los usos del manglar: comerciante, tortillero, preparadores de alimento y funcionarios. Así, y a diferencia de las otras áreas comunitarias, en la comunidad de Peñas de mayor tamaño, aparece ya una fracción poblacional no dependiente directamente del manglar para su subsistencia (Tabla 3).

**Tabla 3. Estructura de ocupaciones detectada en cada una de las áreas comunitarias**

	Llano de la Barra	fortuna	Peñas
Talador	2	8	4
Agricultor	12	4	4
Ganadero	0	4	2
Pescador	14	10	13
Atención de turismo	4	0	1
Criador	8	1	3
Brigadista	0	15	2
Recolector	3	0	0
Comerciante	0	0	2
Tortillera	0	0	1
Preparación de alimento	0	0	2
Funcionario público	0	0	2

En general el impacto comunitario de esta arena sobre el manglar es relativamente bajo en las comunidades estudiadas, porque se registró que la tala de mangle se concentra predominantemente en árboles muertos. Además, por la baja altura actual del manglar en la zona, su uso se limita a ser combustible para la cocción de alimentos y para la construcción de pequeñas bardas. Por su parte, el uso indirecto del manglar se concentra en la pesca y el turismo, estas prácticas son dependientes de la salud del manglar, es por ello que en los comuneros implicados existe una preocupación por conservarlo. Las prácticas de alteración hidrológica y dragados, realizadas con el fin de mejorar el aprovechamiento de algunos recursos, no son frecuentes en las comunidades estudiadas.

La práctica más agresiva para la salud del manglar es la de uso de hábitat, representada por la cría de animales en tales áreas, porque afectan tanto su estructura mediante la apertura de huecos en las áreas naturales, como su tasa de regeneración, pues algunos animales criados en ellas depredan constantemente a las plántulas asentadas. De cualquier forma este tipo de práctica no parece ser totalmente responsable de los severos daños estructurales que exhiben las áreas de manglar estudiadas. Dichos daños se reflejan sobre todo en la altura del manglar, cuyo promedio oscila entre 5 y 6 m (muy por debajo de la media general que es de 15 m), pero también se refleja en la reducida diversidad de especies, pues en general en las áreas de manglar se registró una notable dominancia de *L. racemosa*, la cual se manifestó diferencialmente en las tres áreas comunitarias.

En Llano de la Barra, *L. racemosa*, coexiste con *R. mangle* y *A. germinans* y fue dominante, pues sólo estuvo ausente en 28% de los sitios muestreados, además de haber presentado el mayor porcentaje de sitios en donde su estado fue de sano y muy sano (36% en conjunto). En cambio, no se detectaron tanto *R. mangle* como *A. germinans* en esta área comunitaria en la mayoría de los sitios muestreados (52% y 69%, respectivamente), además cuando estuvieron presentes en los sitios de muestreo, su estado estuvo alejado de ser sano (Tabla 4). En las comunidad de Fortuna y Peñas, *L. racemosa* coexistió exclusivamente con *C. erectus*, pero la similitud en estas áreas sólo atañe a la composición de especies, pues presentaron notorias diferencias en el estado de conservación. En Fortuna, un alto porcentaje de los sitios muestreados reflejaron buenos estados de conservación, tanto para *L. racemosa*, con 59% de los sitios reflejando un estado sano y muy sano, como para *C. erectus*, con 36% de sitios en las mismas condiciones. Contrariamente, en el área de Peñas, *L. racemosa* exhibió un mal estado de conservación: 53% en mal estado y 29% poco sano. De la misma manera, los sitios muestreados donde se encontró *C. erectus*, en 53% de los casos fue en mal estado y 41% poco sano (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentajes de los sitios de muestreo con diferentes estados de conservación del manglar en las tres áreas comunitarias

	<i>Laguncularia racemosa</i>					<i>Rhizophora mangle</i>					<i>Conocarpus erectus</i>					<i>Avicennia germinans</i>				
	Ausente	Mal estado	Poco sano	Sano	Muy sano	Ausente	Mal estado	Poco sano	Sano	Muy sano	Ausente	Mal estado	Poco sano	Sano	Muy sano	Ausente	Ma estado	Poco sano	Sano	Muy sano
Llano de la Barra	28	19	24	31	3	52	26	22	0	0	100	0	0	0	0	69	24	7	0	0
Fortuna	0	23	18	41	18	100	0	0	0	0	23	18	23	18	18	100	0	0	0	0
Peñas	0	53	29	18	0	100	0	0	0	0	6	53	41	0	0	100	0	0	0	0

### Arena de acción de gestión de recursos naturales

Las entrevistas revelaron que esta arena se manifiesta de manera limitada en las tres comunidades, descuidando diversas prácticas de gestión básicas para la conservación del manglar. De hecho, en las comunidades de Llano de la Barra y en las Peñas sólo se registró una práctica de este tipo, la cual consistió en participar, junto con otras comunidades, en la apertura de la barra lagunar una vez al año. En Frontera, además de su participación en dicha apertura, se detectó la conformación de brigadas comunitarias para reforestar áreas de manglar específicas y la poda del mismo, pero esta última actividad se hace más con fines de facilitar el paso de sus embarcaciones en los canales lagunares, que con fines de manejo forestal, aunque dicha práctica llegue a tener efectos ecológicos benéficos, como la reducción del dosel que permite una mayor disponibilidad de luz para las plántulas.

La formación de brigadas comunitarias en Frontera manifiesta una preocupación social por el manglar, pero las entrevistas revelan que estas prácticas comunitarias devienen en actividades ocasionales, puntuales y dispersas, sin contemplar la atención de

los principales problemas que inciden en el manglar, como los cambios hidrológicos y geomorfológicos que tienden a reducir su capacidad regenerativa. Tampoco se detectaron prácticas con sentido preventivo para responder ante las catástrofes meteorológicas que suelen afectar a estas áreas, ni a prever la aparición de plagas que, según relatos de los pobladores, en años anteriores han mermado de forma significativa al manglar. Asimismo, no atienden los aspectos relacionados con la merma de la biodiversidad, como la caza furtiva o la tala clandestina, ni llegan a realizar tareas rutinarias de cuidado, como por ejemplo, la mejora de canales o la restauración de áreas forestales dañadas. Finalmente, tampoco se detectaron prácticas de gestión sobre los efectos adversos que genera tanto el crecimiento urbano, como la expansión productiva centrada en las actividades agrícolas y ganaderas, las cuales tienden a sustituir las áreas de manglar por áreas urbanas o por algún tipo de áreas de producción económica.

### Efectos extracomunitarios

Los registros obtenidos indicaron que la estructura del manglar tiende a ser monoespecífica, conformada fundamentalmente por la especie *L. rasemosa*, y con una talla general muy por debajo de la media general. Unido a lo anterior, se detectaron diversas áreas de manglar con asentamientos de plántulas que no llegan a desarrollarse, en ocasiones porque dichas áreas quedan expuestas a periodos prolongados de inundación, o bien, de desecación. Estas afectaciones en parte son debido a las prácticas de las comunidades humanas asentadas en los márgenes de la laguna, pero en su mayor parte son el resultado de fuerzas externas que han incidido en cambios en el periodo y cantidad de agua que llega al sistema lagunar. Estos cambios se expresan en variaciones bruscas de fuerzas hidrológicas y geológicas que han generado una velocidad de cambio geo-hidrológico, rebasando con esto la capacidad adaptativa del manglar, de forma tal que existe ahora una falta de sincronización entre sus ciclos reproductivos y los ciclos hidrológicos lagunares. En la tabla 5 se presenta un resumen de las principales condiciones abióticas detectadas, donde se puede apreciar que el periodo de inundación tiende a ser muy variable en las tres áreas comunitarias. Esta variación del periodo de inundación es resultado de la irregularidad con la que se presentan las descargas fluviales y de la apertura de la boca lagunar. También en la misma tabla se puede apreciar que las condiciones del suelo están lejos de ser idóneas; el área más afectada en este sentido es la de Llano de la Barra, seguida de la Fortuna que presenta una condición más regular y homogénea. En el área de Peñas, las condiciones del suelo fueron en la misma proporción: malas, regulares y

buenas (Tabla 5). También se detectaron claras diferencias en las variaciones de salinidad en las tres áreas comunitarias, estas variaciones tienen un efecto conocido sobre el desarrollo de los manglares (Krauss *et al.*, 2014). Llano de la Barra presentó una variación mayor en este parámetro, lo cual seguramente es debido a su cercanía a la boca de la laguna. El área de Fortuna también manifestó una notoria variación de salinidad, en este caso explicable por encontrarse más directamente influenciada por las descargas del río Nexpa. En menor medida, pero sin dejar de ser también variable, se presentó la salinidad en el área de Peñas (Tabla 5).

**Tabla 5. Condiciones abióticas predominantes en las tres áreas comunitarias**

	<i>Periodo de inundación</i>				<i>Condiciones del suelo</i>				<i>Variaciones de salinidad</i>			
	Muy variable	Variable	Poco variable	Estable	Malas condiciones	Regulares condiciones	Buenas condiciones	Altas condiciones	Muy variable	Variable	Poco variable	Estable
<b>Llano de la Barra</b>	59	34	7	0	90	10	0	0	83	14	3	0
<b>Fortuna</b>	41	59	0	0	6	94	0	0	71	6	23	0
<b>Peñas</b>	35	53	0	12	35	35	30	0	35	65	0	0

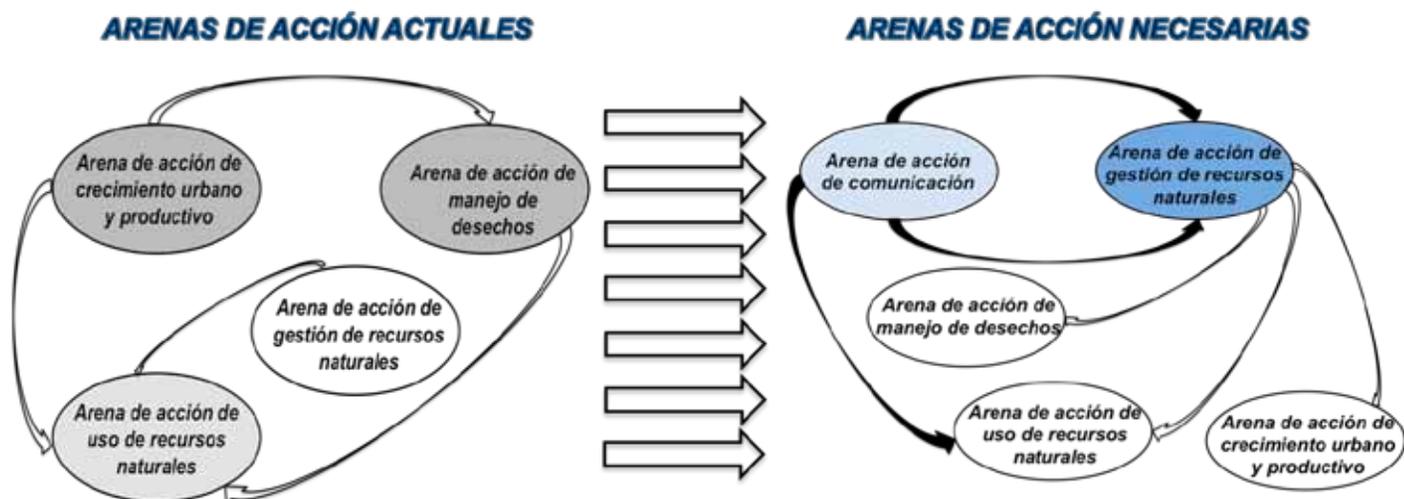
## Arenas de acción para transitar hacia la conservación

### *Ampliación y reestructuración de un sistema de prácticas comunitarias*

Las prácticas implicadas en la conservación del manglar de la laguna de Chautengo son débiles debido a tres razones principales: i) una aplicación limitada de arriba hacia abajo de las reglas, ii) un reducido apoyo de instituciones gubernamentales abocadas a lo legal, y iii) una debilidad comunitaria, generada por los recientes asentamientos de sus pobladores, quienes no han tenido el tiempo suficiente para asentar prácticas heredadas. En estas condiciones, los pobladores tienden a definir su hacer más por decisiones y estrategias individuales, que por un sistema de reglas establecido (Ostom, 2009). A la larga, esas estrategias individuales van conformando prácticas que, inicialmente alejadas de la institucionalización externa y de la herencia comunitaria, gradualmente se van configurado en reglas locales.

En este marco, las prácticas con las que las comunidades analizadas interactúan con sus áreas de manglar se caracterizan por atender fundamentalmente a necesidades relacionadas, directa o indirectamente, con el uso de sus recursos naturales, lo que les brinda un sentido operativo que margina o deja de lado otros aspectos. En conjunto, estas prácticas gradualmente han conformado una estructura general de arenas de acción comunitarias (Figura 2), que en términos generales, no son compatibles con las finalidades de conservación del manglar. Dichas arenas de acción presentan una nocividad diferencial para la conservación, lo que se representa en el esquema del lado izquierdo de la figura 2, donde se señalan con un color más oscuro aquellas de mayor incompatibilidad con la conservación del manglar. Se observa también que, por su nocividad y por su influencia ejercida, resalta la arena de acción de crecimiento urbano y productivo. Resalta la nocividad ejercida por la arena de manejo de desechos y, en menor medida, la de uso de recursos naturales. Únicamente la arena de acción de gestión de recursos naturales destaca como favorable, pero el problema es que se ha desarrollado con una perspectiva limitada, prestando sólo atención a aspectos aislados y puntuales y sin atender diversos cuidados clave para un ecosistema como el manglar, tan sujeto a múltiples afectaciones de distinto tipo.

Figura 2. Representación de la configuración relacional de las arenas de acción detectadas y de los cambios necesarios que se vislumbran en ellas



La conservación del manglar demanda una configuración diferente de las arenas de acción (representada en el lado derecho de la Figura 2), que rebese la actual visión local comunitaria, lo cual implicaría una labor en tres diferentes frentes: a) primero es expandir la arena de acción de gestión de recursos naturales, de tal forma que pueda enmarcar las prácticas de las arenas restantes, b) lo segundo es la creación de una arena de acción de comunicación, cuya función principal consistiría en incorporar nuevos conocimientos al interior de las diferentes comunidades, y c) lo tercero es la reestructuración tecnológica<sup>4</sup> de las arenas de acción de uso.

<sup>4</sup> La innovación tecnológica aquí no sólo se refiere al manejo directo de manglares, sino también a otras actividades productivas con el fin de atenuar sus efectos e incluir tecnologías como manejo de residuos, excretas o contaminantes, de tal suerte que se eliminen y reduzcan los detonantes de la degradación actual de los ecosistemas naturales y transformados.

### ***Expandir la arena de la gestión de recursos naturales***

La capacidad de gestión actual de las comunidades estudiadas es limitada, debido a que se centra básicamente en la conformación de brigadas comunitarias que atienden algunos aspectos puntuales del manglar.<sup>5</sup> Por ello, resulta imperativo ampliar esta capacidad de gestión en el sentido de los trabajos desarrollados por Elionor Ostrom, quien lograra identificar las capacidades clave de gestión de aquellas comunidades que han sido capaces de conservar sus recursos naturales.<sup>6</sup> Por el momento las comunidades estudiadas están lejos de cumplir con tales condiciones, particularmente las referidas a los mecanismos de decisión colectiva, de control y de solución de conflictos.

Anteriormente, no resultaba usual el hecho de que comunidades marginadas se plantearan desarrollar un sistema de reglas básicas y los mecanismos necesarios para su aplicación, sin embargo, esa situación esta cambiando, porque la instauración de prácticas de institucionalización ha comenzado a realizarse en ellas (Ludvig *et al.*, 2020). Esto se ha señalado como un empoderamiento de las comunidades a través de un proceso de innovación institucional que democratiza las situaciones de decisión (Affolderbach *et al.*, 2012). Gracias a los conocimientos que están brindado esas experiencias relacionadas con el “emprendimiento institucional” (Ahrens y Ferry, 2018), en las comunidades estudiadas se hace factible impulsar procesos de innovación institucional, con la finalidad de estructurar un marco básico para orientar y acotar el trabajo de las restantes arenas de acción y, con ello, el desarrollo de una variedad de prácticas de gestión de diferente naturaleza.

Pero se debe tener en cuenta que la expansión de una arena de gestión implica la posibilidad de generar una serie de problemas, porque si las reglas son mal introducidas pueden imponer restricciones a los intereses creados, así como enfrentamientos entre diversas partes interesadas sobre el control y el uso de los recursos (Gritten *et al.*, 2013). Asimismo, es necesario cuidar que en el proceso de innovación institucional no se ex-

<sup>5</sup> Esto representa un paso ético vital para la conservación forestal comunitaria, pero resulta insuficiente para lograr la conservación de los recursos naturales.

<sup>6</sup> Esta autora menciona 8 condiciones: 1) clara definición de los límites normativos, 2) congruencia entre las normas de apropiación, suministro y condiciones locales, 3) métodos de decisión colectiva, 4) mecanismos probados de control, 5) sanciones progresivas, 6) mecanismos de solución de conflictos, 7) reconocimiento del derecho a la auto-organización y 8) organizaciones estructuradas en varios niveles (Ostrom, 1990).

cluyan a jóvenes, mujeres o a los hogares más pobres, como ha sucedido en otras partes (Persson y Prowse, 2017). Por ello, vigilar la reducción de conflictos y de exclusiones resulta imperativo, y lo adecuado para ello es la comprensión de las diferentes perspectivas en que los usuarios pueden experimentar las reglas, así como de las formas en que éstas se pueden integrar a los sistemas comunitarios y al poder preexistente en las relaciones que los conforman. Igualmente, se recomienda que en dichos problemas asociados con una innovación institucional de carácter colectivo, se tenga muy en cuenta desarrollar mecanismos de sanción graduada adaptados localmente y retroalimentados, de manera constante, mediante el monitoreo de la aplicación de las reglas (Gritten *et al.*, 2015).

Algunas condiciones encontradas en las comunidades estudiadas pueden favorecer la expansión de una arena de gestión, por ejemplo, su horizontalidad social, la cual hace referencia a las estructuras de poder comunitario horizontales que permiten a sus miembros ejercer roles intercambiables de autoridades a simples comuneros y viceversa. Otras condiciones no son tan favorables, como el hecho de carecer de eje vertebral común que aglutine esfuerzos comunitarios. Hasta ahora, el manglar tienen un significado diferencial para los distintos miembros de las comunidades, esto hace necesario una revaluación colectiva del manglar, tal y como se ha efectuado con otros recursos similares (Affolderbach *et al.*, 2012), para confluir en una estructura teleoafectiva que involucre fines compartidos por los comuneros y los estados de ánimo y emociones asociados con dichos fines (Ahrens y Ferry, 2018). Otra condición a desarrollar, es la operación de una estrategia de alimentación de conocimientos para la arena de gestión (Figura 2), y de esta forma responder a la demanda de un proceso de diversificación de prácticas de gestión que, con frecuencia, va más allá de la capacidad de los miembros de la comunidad, e inclusive del personal de gobiernos locales (Gritten *et al.*, 2015). La finalidad de una estrategia como la señalada es hacer posible que los habitantes de las comunidades intercambien flujos de conocimiento con múltiples partes interesadas, mediante procesos de aprendizaje y negociación.

### **Crear una arena de acción de comunicación**

Las comunidades estudiadas presentan mecanismos básicos de comunicación intracomunitarias, pero adolecen de un sistema relacional formal, mediante el cual se hagan posibles opciones de comunicación intercomunitarios para establecer flujos de conocimiento con otras comunidades, con organizaciones civiles, con centros educativos y de investigación, o bien, con asociaciones profesionales, comerciales, gubernamentales o del

algún otro tipo. Tanto en la conservación, como en la sustentabilidad, se ha reconocido lo esencial de estos flujos de conocimientos (Nguyen *et al.*, 2017), relevantes aquí porque las actividades locales de las pequeñas comunidades resultan insuficientes para conservar el manglar, pues en este caso, como en otros similares, los grupos de pequeño tamaño son incapaces de defender sus recursos frente a amenazas externas (Agrawal y Gibson, 1999). Esto es particularmente cierto para un ecosistema como el manglar que, por su alta biocomplejidad, es susceptible a múltiples influencias locales y externas (Feller *et al.*, 2010). En estos casos, las instituciones locales basadas en la comunidad sólo pueden representar un nivel en un sistema complejo, que para ser efectivas, deben integrarse a arreglos de interacción con diferentes grupos, organizaciones e instituciones (Nguyen *et al.*, 2017). Aquí se exige una acción policéntrica que articule la participación y decisiones de diferentes niveles (Carlisle y Gruby, 2019), desde la articulación de las distintas comunidades asentadas a lo largo de la laguna de Chautengo, así como entre éstas con otros actores más allá del área lagunar, pues sólo así se podrá incidir en la mejora de los patrones de circulación hidrológica y del balance sedimentario que alteran el hidropereodo de la laguna y, a través de él, la regeneración del manglar.

Una arena de acción de comunicación comunitaria tendría la función de hacer llegar conocimientos a las comunidades desde otros niveles territoriales (regionales, estatales, nacionales e internacionales), para convertirse en un mecanismo centrado en nutrir de conocimientos al resto de las arenas de acción (Figura 2), supliendo, en parte, la actual ausencia de conocimientos autóctonos sobre el manejo de recursos comunitarios. El problema es la enorme dificultad para establecer flujos de conocimientos de este tipo (Hakkarainen, 2020), por los complejos e impredecibles que resultan a medida que diferentes actores crean su propio significado a partir de la información compartida (Van Kerkhoff y Lebel, 2006). También se ha encontrado que gran parte de las barreras comunicativas derivan de un origen diferencial de los participantes y de la complejidad de interacciones multidireccionales que llegan a producirse (Fazey *et al.*, 2014).

Desde las comunidades mismas es difícil superar las dificultades descritas, pues el conocimiento existente sobre este punto advierte que una de las condiciones contextuales necesarias para generar mecanismos de comunicación intercomunitario, es la existencia de un conjunto de normas, rediseño regulatorio y coordinación institucional para favorecer el compromiso de distribuir el conocimiento. Esto implica poner en primer plano el flujo del conocimiento, en lugar de considerar a éste como un insumo para otros objetivos de interés público, lo que significa priorizar el establecimiento de un sistema de reglas para comprometer a los actores a asumir tareas comunicativas en el marco de un proceso que ha sido definido como gobernanza del conocimiento (Van Kerkhoff, 2013).

### **Reconfiguración de las arenas de acción mediante innovación tecnológica**

A excepción de la arena de acción de gestión, las restantes arenas de las tres comunidades son poco compatibles con la conservación y con la sustentabilidad en general, seguramente en gran parte debido a lo reciente de los asentamientos de los pobladores estudiados. En estas condiciones, el rescate de tecnologías ancestrales no constituye una opción, pues prácticamente son inexistentes. Esto orilla a promover el aprendizaje comunitario de innovaciones tecnológicas compatibles con la conservación de los recursos naturales; al respecto, la vía que se percibe más accesible, dadas las condiciones de las comunidades analizadas, es la de una reconfiguración<sup>7</sup> de las opciones tecnológicas, que podrían ser usadas para: ubicar y construir sus casas, procesar sus desechos y usar sus recursos naturales. No obstante, cualquier vía de transición tecnológica implica un gran esfuerzo coordinado (Geels, 2004), que tendría que partir de la comprensión de las condiciones contextuales necesarias para que los pobladores puedan ajustarse a nuevas tecnologías. Un proceso de reconfiguración tecnológica implicaría localizar innovaciones que pudieran beneficiarse mutuamente para desencadenar los ajustes esperados (Geels *et al.*, 2016). Lamentablemente, lo que se sabe actualmente sobre las condiciones que exige una reconfiguración tecnológica viene de estudios sectoriales, regionales y nacionales (Geels, 2004), pero no se ha estudiado a nivel comunitario. Estas limitaciones obligan a trabajar sobre suposiciones de aquellos conocimientos generados, que podrían ser ajustados a las condiciones de situaciones comunitarias, o bien, a remontarse a principios básicos.

Desde principios elementales, una reconfiguración tecnológica tendría que diferenciar entre condiciones de inserción comunitaria y condiciones de uso. Las primeras referidas a la distribución de productos tecnológicos, desde las fuentes de origen hasta los potenciales sitios de aplicación y, en donde, se ha destacado la importancia de los vínculos entre dichos sitios con procesos externos (Schot y Geels, 2008), lo que en el contexto de las comunidades, remite a las condiciones de comunicación intercomunitarios. Otros dos principios referidos a la inserción tecnológica hacen referencia a la normatividad necesaria (Geel *et al.*, 2016), y a las condiciones económicas requeridas (Geels,

<sup>7</sup> Esto retoma una de las tipologías que Geels y Schot (2007) desarrollaron para diferenciar 4 vías de transición tecnológica, la reconfiguración es una de ellas, las 3 restantes son: transformación, sustitución tecnológica y desalineación y realineación. Cada vía tiene una lógica interna reconocible, constituida por diferentes combinaciones de mecanismos dinámicos para establecer un nuevo régimen sociotécnico.

2010), que llevados al contexto comunitario, implicarían una gestión participativa y una modificación de las prácticas de consumo, de tal forma que sean capaces de orientar las actividades comerciales acordes con las innovaciones detectadas.

En lo que respecta a las condiciones de uso de innovaciones, lo básico que se sabe es que sólo se usan las que logran adquirir un significado cultural en el lugar de aplicación, sobre las que se llegan a desarrollar una infraestructura de artefactos complementarios y un sistema de reparación y mantenimiento. A nivel comunitario, esto aparece como el reto más difícil de superar, pero que, tal vez, pueda ser allanado gradualmente, generando poco a poco espacios protegidos que permitan la experimentación en el marco de una evolución conjunta de tecnologías, las prácticas de usuarios y estructuras reguladoras (Schot y Geels, 2008).

## CONCLUSIONES

La conservación del manglar requiere de un tipo de participación comunitaria, asimismo, la mejora de vida de estos pobladores demanda un ecosistema en buen estado, esto hace imperativo el trabajo sobre la transición hacia prácticas comunitarias compatibles con la conservación y, en general, con la sustentabilidad. Los principales retos para lograr dicha transición se han esbozado a lo largo del trabajo y son verdaderamente desafiantes, pero esto no debe desalentar para trabajar en ello.

El desafío para lograr estos cambios comunitarios resulta mayor cuando los patrones de diferencia de los miembros comunitarios son grandes, pero por fortuna en las comunidades estudiadas, como en muchas otras del país, dichos patrones no son desmesurados. También se detectan espacios, en las tres poblaciones, con rasgos de una cultura comunitaria colaborativa que atienden problemas de mejora de vivienda, pero que bien se podrían trasladar a la conservación de sus recursos naturales para una reconfiguración comunitaria. Sin embargo, es común que una reconfiguración como la referida choque con resistencias, pues casi siempre implica cuestionar normas y valores ligados a dichas culturas, difíciles de cambiar si se mantienen las condiciones del contexto económico. Por ello, es de esperarse que los esfuerzos para transformar los marcos morales de estas comunidades tengan mayores posibilidades de fracaso que de éxito, si se realizan bajo perspectivas educativas, psicológicas o culturales centradas en el individuo, pues por lo general, el contexto circundante anulará los factores individuales. De esta forma, la construcción comunitaria de dicho marco sólo sería posible si se produce en el marco de un esfuerzo de carácter colectivo que abarque a la mayor

parte de los miembros a través de su participación voluntaria, así como si se llevan a cabo, paralelamente, transformaciones en el contexto socioeconómico, mediante cambios paulatinos que profundicen y/o amplíen los medios de aprovechamiento de sus recursos naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Affolderbach, J.; Clapp, R. A.; Hayter, R., 2012), "Environmental bargaining and boundary organizations: remapping British Columbia's Great Bear Rainforest", en *Annals of the Association of American Geographers*, 102(6): 1391-1408.
- Agrawal, A.; Gibson, C. C., 1999, "Enchantment and disenchantment: the role of community in natural resource conservation", en *World development*, 27(4): 629-649.
- Ahrens, T.; Ferry, L., 2018, "Institutional entrepreneurship, practice memory, and cultural memory: Choice and creativity in the pursuit of endogenous change of local authority budgeting", en *Management Accounting Research*, 38: 12-21.
- Alexander, S. M.; Staniczenko, P. P.; Bodin, Ö, 2020, "Social ties explain catch portfolios of small-scale fishers in the Caribbean", en *Fish and Fisheries*, 21(1): 120-131.
- Berkes, F., 2004, "Rethinking community-based conservation", en *Conservation biology*, 18(3): 621-630.
- Carlisle, K.; Gruby, R. L., 2019, "Polycentric systems of governance: A theoretical model for the commons", en *Policy Studies Journal*, 47(4): 927-952.
- CONEVAL, 2013, *Diagnóstico del avance en Monitoreo y Evaluación en las entidades federativas 2013*, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, México, DF.
- Fazey I. *et al.*, 2014, "Evaluating knowledge exchange in interdisciplinary and multi-stakeholder research", en *Glob Environ Chang*, 25(1): 204-220.
- Feller, I. C. *et al.*, 2010, "Biocomplexity in mangrove ecosystems", en *Annual Review of Marine Science*, 2: 395-417.
- Geels, F. W., 2004, "From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory", en *Research policy*, 33(6-7): 897-920.
- Geels, F. W., 2010, "Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective", en *Research policy*, 39(4): 495-510.
- Geels, F. W.; Schot, J., 2007, "Typology of sociotechnical transition pathways", en *Research policy*, 36(3): 399-417.

- Geels, F. W. *et al.*, 2016, "The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014)", en *Research Policy*, 45: 896-913.
- Gritten, D. *et al.*, 2015, "An uneven playing field: regulatory barriers to communities making a living from the timber from their forests—examples from Cambodia, Nepal and Vietnam", en *Forests*, 6(10): 3433-3451.
- Gritten, D. *et al.*, 2013, "A quantitative review of the representation of forest conflicts across the world: resource periphery and emerging patterns", en *Forest Policy and Economics*, 33: 11–20.
- Hakkarainen, V.; Daw, T. M.; Tengö, M., 2020, "On the other end of research: exploring community-level knowledge exchanges in small-scale fisheries in Zanzibar. *Sustainability Science*, 15(1): 281-295.
- Hinkel, J.; Bisaro, A.; Swart, B., 2016, "Towards a diagnostic adaptation science", en *Regional Environmental Change*, 16(1): 1-5.
- Kathiresan, K.; Bingham, B. L., 2001, "Biology of mangroves and mangrove ecosystems", en *Advances in marine biology*, 40: 84-254.
- Kellert, S. R. *et al.*, 2000, "Community natural resource management: promise, rhetoric and reality", en *Society & Natural Resources*, 13: 705-715.
- Krauss, K. W. *et al.*, 2014, "How mangrove forests adjust to rising sea level", en *New Phytologist*, 202(1): 19-34.
- Lee, S. Y. *et al.*, 2014, "Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment", en *Global ecology and biogeography*, 23(7): 726-743.
- Ludvig, A. *et al.*, (2020), "Governance of Social Innovation in Forestry", en *Sustainability*, 12(3): 1065.
- Moore, D. S., 1998, "Clear waters and muddied histories: Environmental history and the politics of community in Zimbabwe's eastern highlands", en *Journal of Southern African Studies*, 24(2): 377-403.
- Muñoz, J. G. D., 2015, "Economías solidarias y territorio: hacia un análisis desde la complejidad", en *Otra Economía*, 9(17): 123-135.
- Nguyen, V. M.; Young, N.; Cooke, S. J., 2017, "A roadmap for knowledge exchange and mobilization research in conservation and natural resource management", en *Conserv Biol*, 31(4): 789-798.
- Ostrom, E., 1990, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ostrom, E., 2009, *Understanding institutional diversity*, Princeton, University Press.

- Ostrom, E., 2010, "Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems", en *American economic review*, 100(3): 641-72.
- Persson, J.; Prowse, M., 2017, "Collective action on forest governance: An institutional analysis of the Cambodian community forest system", en *Forest Policy and Economics*, 83: 70-79.
- Reckwitz, A., 2002, "Toward a theory of social practices: A development in culturalist theorizing", en *European journal of social theory*, 5(2): 243-263.
- Salerno, J. et al., 2016, "Household livelihoods and conflict with wildlife in community-based conservation areas across northern Tanzania", en *Oryx*, 50(4): 702-712.
- Schatzki, T.; Knorr-Cetina, K.; Savigny, E., 2001, *The practice turn in contemporary theory*, London: Routledge.
- Schot, J.; Geels, F. W., 2008, "Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy", en *Technology analysis & strategic management*, 20(5): 537-554.
- Tang, R.; Gavin, M. C., 2016, "A classification of threats to traditional ecological knowledge and conservation responses", en *Conservation and Society*, 14(1): 57-70.
- Van Kerkhoff, L., 2013, "Knowledge governance for sustainable development: a review", en *Challenges in Sustainability*, 1,2: 82-93.
- Van Kerkhoff, L.; Lebel, L., 2006, "Linking knowledge and action for sustainable development", en *Annu Rev Environ Resour*, 31(1): 445-477.

# Estado de nutrición en madres y menores de cinco años de comunidades rurales de alta marginación de Maravatío, Michoacán

Samuel Coronel Núñez,<sup>1</sup> Isabel Pineda Sales y Rafael Díaz García

**Resumen.** Actualmente, en las comunidades rurales coexiste la desnutrición en niños y sobrepeso en madres de familia, creando una situación difícil de salud y desarrollo social. El objetivo de esta investigación fue hacer un diagnóstico del estado de nutrición en seis comunidades encauzadas en llevar a cabo acciones tendientes a mejorar la situación alimentaria y nutricional. Los resultados que se presentan en este estudio (2017-2019) corresponden a la evaluación del estado de nutrición, por antropometría, en menores de cinco años y madres de familia de comunidades rurales de alta marginación, de Maravatío, Michoacán, mediante indicadores talla para la edad (T/E) y peso para la edad (P/E), en los niños, y el índice de masa corporal (IMC), en el caso de las madres de familia.

Los resultados encontrados muestran que las prevalencias de desnutrición en las comunidades son semejantes a las reportadas a nivel nacional para población rural y las de sobrepeso y obesidad en madres de familia son ligeramente menores al promedio nacional.

**Palabras clave:** desnutrición, sobrepeso, obesidad, comunidades rurales marginadas.

**Abstract.** In rural communities, undernutrition coexists in children with overweight in mothers, creating a difficult situation of health and social development. The objective of this research was to diagnose the nutrition state in six communities, to carry out actions aimed at improving the food and nutritional situation.

The results in this study (2017-2019) correspond to the evaluation of children under five-years old and mothers of rural communities of Maravatío, Michoacán, by anthropometry with indicators height for age (H/A) and weight for age (W/A) and overweight and obese the body index mass (BMI).

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. email: samcor@correo.xoc.uam.mx

*The results found that the prevalence of malnutrition in the communities, are similar to those reported at national level for the rural population and those of overweight and obesity in mothers are less than the national average.*

**Keywords:** *undernutrition, overweight, obesity, marginalized rural communities.*

## INTRODUCCIÓN

Una alimentación y nutrición adecuada son la base para la supervivencia, la salud y el crecimiento del ser humano (Shamah *et al.*, 2015). El sistema alimentario mexicano se encuentra en una situación difícil, no sólo se ha perdido la capacidad de generar los alimentos que requiere la población, sino que se ha perdido la soberanía sobre la conducción estratégica del sector alimentario. En la actualidad, se han adquirido patrones alimentarios profundamente dañinos para la salud de la mayoría de la población, situación agravada en los estratos económicos más pobres, que continúan padeciendo importantes problemas de desnutrición en las primeras etapas de la vida, y es a partir de la etapa escolar que se ven inmersos en un ambiente obesogénico con graves repercusiones para la salud; tanto por la mayor labilidad al daño metabólico, como por el precario acceso a un diagnóstico y atención oportuna (Fonan, 2012).

En el Decreto por el que se estableció el *Sistema Nacional para la Cruzada contra el Hambre*, que fue el programa más importante sobre alimentación en el sexenio 2012-2018, se reconoce: “[...] que en México ha persistido una alta incidencia de personas que experimentan situaciones de hambre, particularmente entre la población más pobre, lo cual tiene efectos negativos en el desarrollo físico y mental de las personas y limita notablemente la calidad de vida de las mismas, afectando en la práctica el acceso generalizado a los derechos sociales y a la justicia social...”, y así mismo establece, “[...] que en pleno siglo XXI, a pesar de haber logrado avances importantes en diversos ámbitos, resulta inaceptable que millones de personas padezcan hambre, por lo que es una prioridad de la política social del Gobierno de la República lograr que las familias mexicanas tengan un piso básico de bienestar” (DOF, 2013: 2).

En cuanto a las principales causas de mortalidad en México, durante los últimos años, las enfermedades asociadas a la epidemia de sobrepeso y obesidad ocupan los primeros lugares, por lo que si no se toman las medidas necesarias para revertir esta situación, el futuro no será nada alentador. Las principales causas de muerte en el país durante el año 2017 fueron las enfermedades del corazón, la diabetes mellitus y las

enfermedades relacionadas con tumores malignos, estas tres enfermedades están relacionadas ampliamente con la alimentación (Inegi, 2018).

## Desnutrición y carencias específicas

A nivel mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura mencionó que existen 811.7 millones de personas subalimentadas en el mundo. En cuanto al grupo de población más vulnerable, se estima que a nivel mundial casi 200 millones de niños menores de cinco años sufren de desnutrición crónica (baja talla para la edad) (FAO, 2019).

En nuestro país, de acuerdo con la última Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en que se reporta desnutrición, en el indicador peso para la edad, la prevalencia fue del 2.8%, indicador de nutrición pasada y presente. En el caso de baja talla, indicador de la desnutrición crónica, fue de 13.6%, lo que significa que más de 1.5 millones de menores de cinco años están en esta condición crítica (INSP, 2012). Es conveniente señalar que en estos datos sólo se contempla la desnutrición moderada y severa y no se toma en cuenta la desnutrición leve.

Aun cuando, en número, las personas con desnutrición son menores a las que tienen sobrepeso, en su mayor parte las que sufren desnutrición son producto de la injusticia social y que, al considerar el potencial económico que tiene México con respecto a países como Chile, Costa Rica y Cuba con bajas prevalencias de desnutrición, resulta inaceptable que en nuestro país se sigan dando las prevalencias señaladas (Kac *et al.*, 2010).

El síndrome de desnutrición-infección da lugar a un círculo vicioso que adquiere su máxima dimensión en ambientes donde hay pobreza de recursos familiares y sociales. El niño desnutrido tiene deficiencias inmunológicas y, por ello, se infecta con facilidad y viceversa; la infección causa anorexia y trastornos metabólicos. En la actualidad, existen estudios que muestran que incluso la forma leve de desnutrición es relevante porque causa trastornos funcionales que, a su vez, dan lugar a lesiones físicas permanentes, entre ellas, las de tipo neuromental, con graves repercusiones individuales y sociales.

La desnutrición, sea grave o moderada, y aún la leve, tiene como resultado el “sobreviviente vulnerable”, es decir, el individuo que en su infancia tuvo uno o varios episodios de desnutrición, algunos asociados a infecciones. Por esto, al llegar a la edad adulta su organismo no cumple con el desarrollo programado en sus genes, sino que queda con deficiencias físicas, mentales o sociales (Chávez *et al.*, 2007: 14).

Se ha descrito también que la malnutrición provoca una disminución de la capacidad intelectual, dado que las condiciones nutricionales y ambientales son inseparables (Leiva *et al.*, 2001). Cuando los niños no cubren sus requerimientos nutricionales padecerán desnutrición, reflejada en el desarrollo físico (crecimiento), mental (intelecto) y psicomotor (habilidades) (Carrasco *et al.*, 2016).

En un niño desnutrido disminuyen las defensas y aumentan las posibilidades de contraer neumonía, diarrea, malaria y sarampión, que son responsables de la mitad de las muertes de niños menores de cinco años en todo el mundo (Rodríguez *et al.*, 2010).

Es importante reconocer además que los efectos de la desnutrición se valoran a corto y largo plazo; en un primer momento, aparecen enfermedades diarreicas, deshidratación, alteraciones hidroelectrolíticas, depresión de la inmunidad, infecciones, pérdida de peso, trastornos hematológicos, cardiorrespiratorios y renales. Más tardíamente, aparecerán déficit de la talla y disminución del cociente intelectual (Ortiz *et al.*, 2006).

La desnutrición durante las etapas tempranas de la vida puede influir en el desarrollo y la aparición de enfermedades en la edad adulta, lo cual tiene importantes implicaciones clínicas y de salud pública (Moreno *et al.*, 2019)

## **Sobrepeso y Obesidad**

La obesidad es una enfermedad crónica multifactorial en la que están involucrados aspectos genéticos, ambientales y de estilo de vida, que condicionan una acumulación excesiva de grasa corporal. Los principales factores de riesgo identificados son la inactividad física, el sedentarismo, la ingesta de alimentos con alta densidad energética y en grandes porciones, el consumo de refrescos y bebidas azucaradas, y una frecuente ingesta de alimentos entre comidas.

México vive la principal epidemia de salud pública de todos los tiempos, el sobrepeso, la obesidad y las enfermedades asociadas a éstas, como diabetes, hipertensión y enfermedades cardiovasculares, entre otras. Esta epidemia ha permeado progresivamente a los estratos de menores ingresos y afecta a 72.5% de la población adulta del país, según datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2016 (INSP, 2016), por lo que se puede decir que se ha transitado aceleradamente del polo de la desnutrición, sin haberla erradicado, al polo del sobrepeso y la obesidad, ambas ubicadas dentro de la mala nutrición.

En el medio rural, esta situación reviste especial gravedad, ya que la obesidad en adultos que fueron desnutridos en la infancia presenta un mayor daño metabólico y au-

menta considerablemente el riesgo de diabetes, enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de tumores malignos y otras enfermedades crónicas no trasmisibles. La situación se complica todavía más por la carencia de servicios de salud de calidad que permitan la prevención, el diagnóstico y el tratamiento oportuno de estos padecimientos (INSP, 2012).

La obesidad aumenta el riesgo de desarrollar diabetes, hipertensión y dislipidemias, asimismo tiene una alta contribución en la generación de discapacidad y mortalidad temprana atribuible por estas enfermedades. Además, la presencia de estas comorbilidades no sólo disminuye la calidad de vida y productividad de las personas que las desarrollan, sino que además generan altos costos para el sistema de salud y para las familias que tienen algún integrante con estas patologías (Rivera *et al.*, 2018).

De acuerdo a lo que se establece en los párrafos anteriores, México, en general, enfrenta graves problemas relacionados con el sobrepeso, obesidad y enfermedades crónicas relacionadas con la nutrición, como diabetes e hipertensión, tanto en población urbana como rural. En el sector rural, hasta fines del siglo pasado el problema de mayor preocupación fue la desnutrición, sin embargo, actualmente la situación es más grave porque siguen existiendo prevalencias altas de desnutrición, aunada a la prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos, particularmente en madres de familia, que es cercana al promedio nacional, sin que en las comunidades se cuente con el apoyo de los profesionales de la nutrición. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es hacer el diagnóstico del estado de nutrición de madres y menores de cinco años en cinco comunidades marginadas con el interés de realizar acciones que permitan contribuir a mejorar la situación alimentaria y nutricional.

## METODOLOGÍA

### Selección de las comunidades

Las comunidades se seleccionaron en coordinación con el Sistema Integral para el Desarrollo Familiar del municipio de Maravatío, Michoacán, utilizando como criterios de inclusión a las comunidades rurales de “alta o muy alta marginación”, clasificados por el Consejo Nacional de Población (Conapo, 2010), y como criterio de exclusión a las comunidades que representaron condiciones de inseguridad. El municipio de Maravatío cuenta en total con 140 comunidades rurales, de las cuales se seleccionaron seis: Llano grande, Tenerías, Tecario Jesús del Monte, Peña Blanca, Pequeña propiedad y Lagunillas.

En el período 2017-2019 se realizó el diagnóstico del estado de nutrición de los niños menores de 12 años y de las madres de familia mayores de 20 años, mediante la toma de medidas antropométricas. En el caso de los niños, se utilizaron los indicadores peso para la edad (P/E), talla para la edad (T/E), y el índice de masa corporal (IMC) para las madres. La clasificación de los niños se hizo con base en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INSP, 2004), que considera normales a los niños con valores antropométricos iguales o mayores a -1 Desviaciones Estándar (D.E.); con desnutrición leve cuando el rango fue menor de -1 D.E. y mayor de -2 D.E.; moderada entre menor o igual a -2 D.E. y mayor que -3 D.E., y severa cuando el valor antropométrico se ubica por debajo de -3 D.E. de la mediana de la población de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En el caso de las mujeres mayores de 20 años, se utilizó el índice de masa corporal (IMC) y se clasificaron de acuerdo con los criterios del manual de antropometría del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, que utiliza los mismos puntos de cohorte que se reconocen por parte de la OMS y que son utilizados en las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición 2012 y 2016, y se consideró como bajo peso <18.5, normal 18.5-24.9, sobrepeso 25 a 29.9 y obesidad mayor a 30.

Se ofrecieron pláticas de orientación nutricional a los niños y mujeres evaluados, y se les otorgó atención personalizada a cada una de las madres de familia para mejorar su situación alimentaria y nutricional con base en aspectos socioeconómicos y los reportes de su consumo de alimentos.

El análisis de datos se hizo con base en los programas de cómputo Anthropometric PLUS, Excel y SPSS.

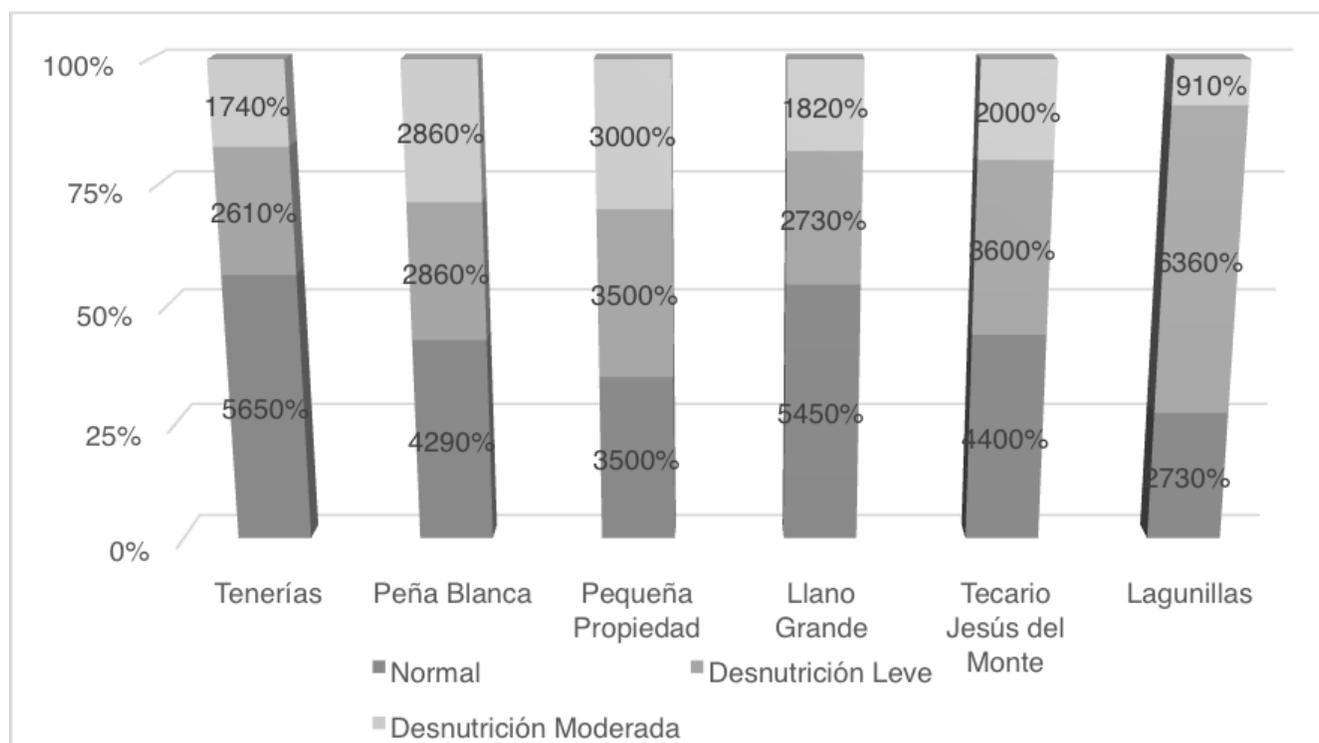
Es conveniente señalar que las prevalencias de talla baja y de bajo peso, reportadas en unidades de desviación estándar, no pueden interpretarse adecuadamente sin tener en cuenta que, por definición, de la población de referencia integrada por individuos normales, aproximadamente 16% lo hace por encima o por debajo de 1 D.E de la mediana y 2.5% se ubica en  $\pm 2$  D.E., este último porcentaje es indicativo de la proporción de positivos falsos que cabe esperar al calcular la prevalencia del estado de nutrición.

## RESULTADOS

Se hizo la evaluación del estado de nutrición de 137 niños menores de cinco años edad. Por comunidad se presentó lo siguiente: Tenerías, 23; Peña Blanca, 20; Pequeña Propiedad, 14; Llano Grande, 44; Tecario Jesús del Monte, 25 y Lagunillas, 11.

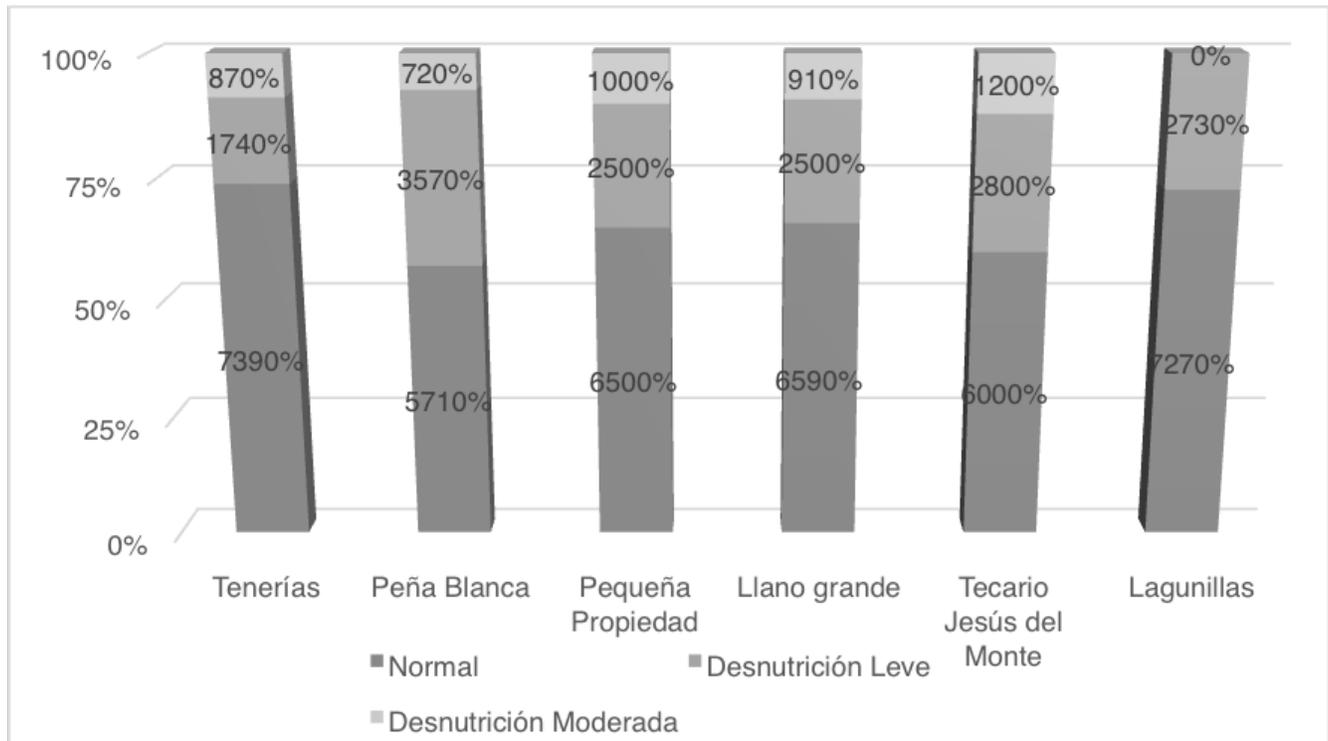
En la gráfica 1 se presentan las prevalencias de desnutrición de niños menores de cinco años de acuerdo al indicador talla para la edad (T/E).

**Gráfica 1. Prevalencias de desnutrición en menores de cinco años de acuerdo al indicador T/E**



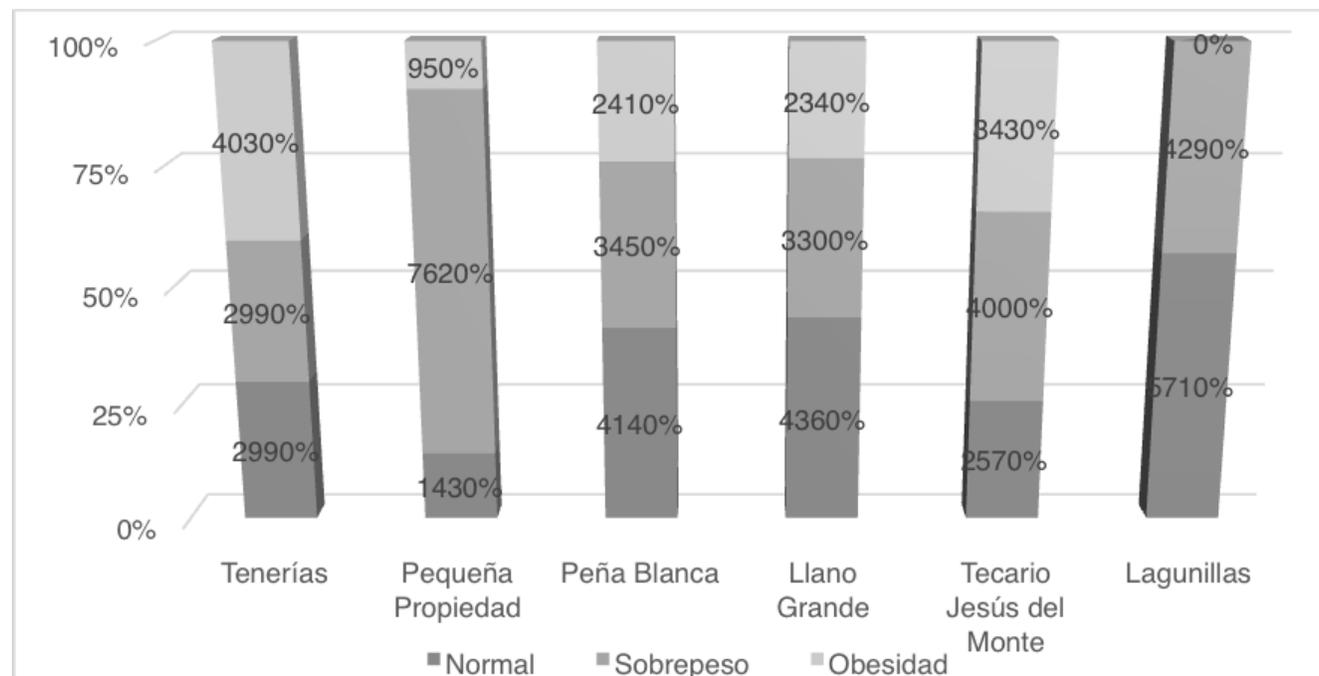
En la gráfica 2 se presentan los resultados de prevalencia de desnutrición de acuerdo al indicador peso para la Edad (P/E).

**Gráfica 2. Prevalencias de desnutrición en menores de cinco años de acuerdo al indicador P/E**



En el grupo de madres de familia se hizo la evaluación del estado de nutrición con base en el Índice de Masa Corporal (IMC); de 267 se presentó lo siguiente: Tenerías, 67; Peña Blanca, 29; Pequeña Propiedad, 21; Llano Grande, 94; Tecario Jesús del Monte, 35 y Lagunillas, 21. En la gráfica 3 se presentan las prevalencias de sobrepeso y obesidad.

Gráfica 3. Prevalencia de Sobrepeso y Obesidad en madres de familia



## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Desnutrición

Es conveniente señalar que las comunidades en las que se realizó la investigación, como se dijo previamente, son de alta marginación y que el acceso a todas ellas, excepto a Llano Grande, es por caminos de terracería y que, en general, son comunidades aisladas y con escaso acceso a la atención de servicios de salud, específicamente no cuentan con ningún servicio profesional de nutrición.

En esta investigación se hizo el diagnóstico del estado nutrición de 355 niños menores de doce años, de los cuales 137 tenían menos de cinco años; en este trabajo se presentan los resultados de este último grupo de edad, considerando que los primeros años de vida constituyen una trascendente etapa formativa para el individuo. Es durante esta etapa que ocurren los cambios más importantes en el crecimiento y desarrollo postnatal. El crecimiento alcanza las velocidades más elevadas de la etapa postnatal y el desarrollo se caracteriza por logros importantes sucesivos en periodos muy cortos.

Es durante esta fase en la que el niño alcanza su madurez inmunológica y adquiere habilidades y destrezas en su desarrollo psicomotor, lo que lo prepara para su ingreso exitoso al sistema educativo formal. En un periodo tan importante para la formación del individuo, la alimentación y la nutrición ocupan un lugar central, al proporcionar la energía y los nutrimentos necesarios para soportar las exigencias del crecimiento y propiciar las condiciones para que se manifieste el desarrollo óptimo (INSP, 1999).

En cuanto a los grados nutrición, se presentan los datos de desnutrición leve, moderada y severa de acuerdo a los indicadores talla para la edad (T/E) y peso para la edad (P/E). Aunque en la mayor parte de publicaciones no se presentan datos de desnutrición leve, se consideró en este estudio presentar los resultados de los niños que se encuentran entre -1 y -1.99 D.E. con respecto a la mediana del patrón de referencia de la OMS, con base en el señalamiento de varios autores, especialmente del Dr. Adolfo Chávez (2007), quien es uno de los investigadores con mayor reconocimiento en el campo de la nutrición en México, adicional a que sustenta el grado de investigador emérito por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. El doctor Chávez señala que la desnutrición, sea grave o moderada, y aun la leve tienen como resultado el “sobreviviente vulnerado”, que al llegar a la vida adulta su organismo queda con deficiencias físicas, mentales y sociales.

En cuanto a la comparación con resultados nacionales, es importante señalar que en la última encuesta de salud y nutrición (realizada en 2016) no se presentan datos de desnutrición, solamente se abordan los temas de sobrepeso y obesidad. En las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición 2006 y 2012, no se presentan datos sobre desnutrición leve, por lo que solamente se hace la comparación con la Encuesta Nacional de Nutrición publicada en 1999 (INSP, 1999) y la Encuesta Nacional de Alimentación y Nutrición en el Medio Rural (ENAL), publicada en 1996 (INSP, 1996)

En la ENAL 1996, se reportó una desnutrición global de 57%, y en la ENN 1999 de 60.3%. De acuerdo con los resultados, podemos decir que las comunidades Pequeña Propiedad y Tecario Jesús del Monte presentan prevalencias semejantes a las reportadas a nivel nacional en población rural, y las comunidades Peña Blanca y Lagunillas, que son las más aisladas, presentan mayores prevalencias de desnutrición.

Las comunidades Llano Grande y Tenerías presentan menor prevalencia de desnutrición con relación a los resultados nacionales de 1996 y 1999.

Con respecto a las prevalencias de desnutrición moderada, sí es posible hacer la comparación con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012 (ENSANUT 2012), que reportó datos de desnutrición (INSP, 2012), y en la que se observa que la prevalencia de desnutrición a nivel nacional con el indicador T/E fue de 13.6% en población general, y

de 20.9% para menores de cinco años de poblaciones rurales, en este caso, la prevalencia es similar a las encontradas en las comunidades de Tecario Jesús del Monte (20%), Llano Grande (18.2%) y Tenerías (17.4%); dos comunidades presentaron prevalencias más altas, Peña Blanca (30%) y Pequeña propiedad (28.6%), y llama la atención que Lagunillas, en donde se encontró la mayor prevalencia combinada de desnutrición leve y moderada, fue la que tuvo la menor prevalencia de desnutrición moderada (0%). Con relación al indicador peso para la edad, dos comunidades: Pequeña Propiedad (42.9%) y Tecario Jesús del Monte, 40% presentan prevalencias semejantes a los resultados reportados en la ENAL 1999 (42.7%) y en la ENN 1999 (41.1%), y en cuatro comunidades se encontró una prevalencia menor: Tenerías, 26.1%; Peña Blanca, 35%; Llano Grande, 34.1% y Lagunillas, 27.3 por ciento.

Considerando solamente la desnutrición moderada, en la ENSANUT 2012, si bien para el indicador T/E se presentan los resultados desglosados para población urbana y rural, en el caso del indicador P/E solamente se presentan los resultados a nivel nacional, con una prevalencia de 2.8%, y al compararla con las prevalencias en las comunidades estudiadas es verdaderamente notorio que, excepto en un caso, la prevalencia en las demás comunidades es mucho mayor, lo que no es extraño, ya que en general la prevalencia de desnutrición en comunidades rurales es mayor que en la población urbana.

Para comprender mejor los resultados presentados es necesario considerar que en las prevalencias combinadas de desnutrición leve y moderada hay 16% de falsos positivos, es decir, niños que, aun cuando están sanos y bien alimentados, presentan baja talla y por otro lado, que las comparaciones sólo se pueden hacer con la ENAL 1996 y la ENN 1999, y que, de 1999 a 2012, la desnutrición, de acuerdo al indicador talla para la edad en población rural, bajó de 36% a 20.9%, y el de peso para la edad en la población en general pasó de 5.6% a 2.8 por ciento.

En todo caso, es necesario señalar que la desnutrición afecta de manera más importante a la población rural que a la población urbana, y que en las comunidades estudiadas, la prevalencia de desnutrición es especialmente alta, por lo que se requiere tanto de la atención de los profesionales que se dedican a la producción de alimentos, como de personal de salud, especialmente de nutriólogos.

## Sobrepeso y obesidad en madres de familia

Hasta finales del siglo pasado, en general, la investigación en poblaciones rurales estuvo centrada en la desnutrición, actualmente el problema se ha complicado porque continúa existiendo el problema de la desnutrición y, al mismo tiempo, se ha agudizado el problema de sobrepeso y obesidad, particularmente en las madres de familia, y que es común que coexistan en un mismo hogar niños desnutridos con madres de familia con sobrepeso y obesidad.

Si bien, como se mostró en los párrafos anteriores, la desnutrición es mucho mayor en población rural que en la población urbana, en el caso de sobrepeso y obesidad la situación es distinta, las prevalencias de acuerdo con la ENSANUT 2016 son semejantes, 72.9% para la población urbana y 71.6% en población rural.

Al comparar la prevalencia de sobrepeso y obesidad en las comunidades investigadas, con relación a la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en población rural, podemos ver que dos casos: Tenerías y Tecario Jesús del Monte son semejantes al promedio nacional, en el caso de Pequeña Propiedad la prevalencia es mucho mayor (85.7%), y las comunidades Peña Blanca, Llano Grande y Lagunillas tienen una prevalencia menor.

Considerando que la obesidad ( $IMC \geq 30 \text{ kg/m}^2$ ) provoca mayor riesgo de contraer enfermedades no transmisibles como diabetes e hipertensión, se comparan los resultados de las comunidades con el resultado nacional de acuerdo a la ENSANUT, 2016. La prevalencia nacional para la población rural fue de 28.8%, cuatro comunidades presentaron una prevalencia menor: Peña Blanca (9.5%), Pequeña Propiedad (24.1%), Llano Grande (23.4%) y Lagunillas, en la que no se presentó ningún caso de obesidad; por otro lado, dos comunidades presentaron una prevalencia mayor: Tecario Jesús del Monte con 34.3% y Tenerías 40.3 por ciento.

Es importante considerar que, si bien, la prevalencia de sobrepeso y obesidad son semejantes en la población rural y la población urbana, es posible que el problema sea más grave en la población rural, particularmente en las comunidades de alta marginación, como las que se presentan en este estudio, donde las madres en general no saben el resultado de su peso al nacer. Barker (1993) mostró que los niños con bajo peso al nacer y/o con episodios de desnutrición, durante el primer año de vida, tenían más riesgo de contraer enfermedades crónicas no transmisibles en la vida adulta.

## CONCLUSIONES

En las comunidades rurales estudiadas se presentan, simultáneamente, desnutrición en menores de cinco años y sobrepeso y obesidad en madres de familia. En general, los resultados de desnutrición son semejantes a los reportados a nivel nacional para población rural, y los de sobrepeso y obesidad en madres de familia son menores al promedio nacional, sin embargo, es probable que la situación sea más difícil en la población rural que en la urbana de acuerdo a la teoría de Barker, que establece que cuando se tuvo bajo peso al nacer o episodios de desnutrición durante el primer año de vida, se incrementa el riesgo de tener enfermedades crónicas no transmisibles en la edad adulta.

Es necesario el trabajo interdisciplinario entre los profesionales que se dedican a la producción de alimentos y el personal de salud, especialmente los nutriólogos, para contribuir a aliviar los graves problemas de alimentación y nutrición de las comunidades marginadas.

Por nuestra parte (los autores de este artículo), estamos trabajando en las comunidades de Tenerías y Jesús del Monte, donde se encontraron las prevalencias más altas de obesidad, con un programa de intervención con tres componentes principales: incremento en el consumo de frutas y verduras, disminución en el consumo de alimentos de alta densidad energética, e incremento en la actividad física. Falta incluir el factor relacionado con producción de alimentos para lo que es necesaria la participación de Agrónomos y Médicos Veterinarios.

## AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

A los alumnos del módulo “Evaluación del estado de nutrición de los grupos humanos” de la licenciatura en nutrición de la Universidad Autónoma Metropolitana.

A la presidenta del Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF) municipal de Maravatío, Michoacán.

A los jefes de tenencia, maestros y habitantes de las comunidades estudiadas.

A la Dra. Norma Ramos Ibáñez y a la Lic. en nutrición Magdalena Rodríguez.

Al personal de transportes de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barker, D. J. *et al.*, 1993, "Fetal nutrition and cardiovascular disease in adult life", en *Lancet*, 341: 938-941.
- Carrasco, M. R. *et al.*, 2016, "Desnutrición y desarrollo cognitivo en infantes en zonas rurales marginadas de México", en *Gaceta Sanitaria*, 30(4).
- Chávez A.; Muñoz, M., 2007, *Desnutrición. Su impacto en la salud humana y en la capacidad funcional*, Grama Editorial, México.
- Consejo Nacional de Población (Conapo), 2010, en [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos\\_Abiertos\\_del\\_Indice\\_de\\_Marginacion](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion). (Consultado: 22/10/19).
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2013, "Decreto por el que se establece el Sistema Nacional para la Cruzada contra el Hambre", México.
- Foro Nacional para la Construcción de la Política alimentaria y Nutricional (Fonfan), 2012, en <http://www.anec.org.mx/noticias/noticias-de-interes/noticias-de-interes-pdf/FONAN2012.pdf>. (Consultado: 22/10/19).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2018, "Características de las defunciones registradas en México durante 2017".
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ), 1996, Encuesta Nacional de Alimentación y Nutrición en el Medio Rural, México.
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), 1999, "Encuesta Nacional de Nutrición", México.
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), 2004. "Manual de antropometría del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán", México.
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), 2012, Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012, México.
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), 2016. "Encuesta de Salud y Nutrición de Medio Camino", México.
- Kac, G.; García, J. L., Red de Malnutrición en Iberoamérica del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red Mel-CYTED), 2010, "Epidemiología de la desnutrición en Latinoamérica: situación actual", en *Nutrición Hospitalaria*, Supl. 3(25): 50-56.
- Leiva, B. *et al.*, 2001, "Algunas consideraciones sobre el impacto de la desnutrición en el desarrollo cerebral, inteligencia y rendimiento escolar", en *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(1).
- Moreno, J. M. *et al.*, 2019, "Los primeros 1000 días: una oportunidad para reducir la carga de las enfermedades no transmisibles", en *Nutrición Hospitalaria*, 36(1): 218-232.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2019, "Hambre e inseguridad alimentaria", en: <http://www.fao.org/hunger/es/> (Consultado: 27/10/19).
- Ortiz, A. *et al.*, 2006, "Desnutrición infantil, salud y pobreza: intervención desde un programa integral", en *Nutrición Hospitalaria*, 21(4): 533-541.
- Rivera, J. A. *et al.*, 2018, "Obesidad en México", Estado de la política pública y recomendaciones para su prevención y control, INSP, México.
- Rodríguez, A. *et al.*, Red de Malnutrición en Iberoamérica del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red Mel-CYTED), 2010, "Implicaciones de la desnutrición en atención primaria", en *Nutrición Hospitalaria*, Supl. 3, 25: 67-79.
- Shamah, T.; Amaya, M.; Cuevas, L., 2015, "Desnutrición y obesidad: doble carga en México", en *Revista digital universitaria*, 16(5): 2-14.



# Contaminación de Fusariotoxinas: Zearalenona, Fumonisinias y Deoxinivalenol en maíz (*Zea mays L.*), procedente de Puebla y de la Ciudad de México

Silvia D. Peña Betancourt,<sup>1</sup> Julio C. Camacho Ronquillo,<sup>2</sup>  
y Eduardo Posadas Manzano<sup>3</sup>

**Resumen.** En México, la contaminación por micotoxinas en el maíz ha sido objeto de estudio desde hace varias décadas. Actualmente, se busca la presencia de más de una micotoxina en los alimentos, por ello, este trabajo se abocó a determinar la co-existencia de tres Fusariotoxinas en el grano de maíz de consumo humano, utilizando para su detección la técnica de inmunoensayo Enzimático (ELISA). Para realizar este trabajo se colectaron muestras de maíz, comercializadas en dos alcaldías de la CDMX (Xochimilco y Tláhuac) y en catorce municipios del estado de Puebla, donadas por el Colegio de Posgraduados de Puebla, durante el ciclo agrícola 2018. Las muestras se prepararon, identificaron y analizaron en el laboratorio de Toxicología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. La información obtenida se analizó considerando el valor promedio de cada micotoxina, desviación estándar y varianza. Los resultados mostraron que el maíz procedente de la Ciudad de México y Puebla presentaron una contaminación por Zearalenona, Fumonisinias y Deoxinivalenol. El maíz procedente de la CDMX, con un contenido promedio total de 1,136.3  $\mu\text{g kg}$ , es mayor que el maíz de Puebla (830.92  $\mu\text{g kg}$ ). No se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) de acuerdo al origen de las muestras. Se concluye que el maíz de los dos estados mostraron la co-existencia de más de una micotoxina en niveles no permitidos para el consumo humano infantil, por lo que se requiere establecer la vigilancia de las fusariotoxinas identificadas en el maíz con el objeto de evitar daño a la salud, por ser sustancias tóxicas.

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Laboratorio de Toxicología, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, email spena@correo.xoc.uam.mx.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, e-mail: camacho90@colpos.mx.

<sup>3</sup> Departamento de Medicina y Zootecnia de Rumiantes, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, e-mail: eposadasm@yahoo.com.

**Palabras clave:** contaminación múltiple, fusariotoxinas, maíz crudo.

**Abstract.** In Mexico, mycotoxin contamination in corn has been the object of study for several decades. Currently the search for the association between the different mycotoxins has been constantly increasing, so in this work the simultaneous presence of three Fusariotoxins: Zearalenone (ZEA), Fumonisin (FUM) and Deoxynivalenol (DON), in the grain of corn for human consumption, using the Enzymatic Immunoassay (ELISA) technique for its detection. In order to carry out this work, samples of corn commercialized were collected in two mayoralties of the CDM (Xochimilco and Tlahuac) and in fourteen municipalities of the state of Puebla, donated by the Colegio de Posgraduados de Puebla, during the 2018 agricultural cycle. The samples were prepared, identified and analyzed in the Toxicology Laboratory of the Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. The information obtained from this study was analyzed considering the average value of each mycotoxin and its standard deviation, using an analysis of variance. The results showed that the corn from the two states shows contamination of three mycotoxins (ZEA, FUM and DON). Corn from CDM, with a total average content of 1,136.3  $\mu\text{g kg}$  and 830.92  $\mu\text{g kg}$  for corn from Puebla. No statistically significant difference ( $P < 0.05$ ) was observed, due to the origin of the samples. It is concluded that the corn of the two evaluated states, showed the joint presence of three mycotoxins, at levels not allowed for human consumption, so it is necessary to establish the surveillance of more than one mycotoxin in corn in order to avoid damage to health, as they are toxic substances.

**Keywords:** fusariotoxins, association, corn, chemical, contaminants.

## INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo de mayor importancia, cuenta con una producción de 23 millones de toneladas al año y un rendimiento de 3.2 toneladas. Los estados de Puebla y Ciudad de México son los que ocupan la mayor superficie de área para la siembra, sin embargo, estos estados presentan los rendimientos por hectárea mas bajos, debido probablemente a la falta de agua y al empobrecimiento de los suelos, de acuerdo con De la Torre *et al.*, 2014. El maíz es un alimento de la canasta básica de la población, por ello su calidad e inocuidad (libre de contaminantes químicos) se considera primordial para garantizar la salud y el bienestar de la población, particularmente de los niños por ser una población vulnerable dada la inmadurez de su sistema inmunológico, aunado a la deficiente nutrición, por lo que las micotoxinas pueden ser un riesgo a su salud (Keusch, 2003).

Los sectores públicos y privados involucrados en la producción de alimentos, a nivel mundial, consideran una prioridad evitar la contaminación química de los alimentos, por lo que se apegan a las regulaciones del país, quien establece los niveles máximos permitidos (LMP) de las micotoxinas (Zhang *et al.*, 2016).

En México, la contaminación química en los alimentos, en particular de las micotoxinas, ha sido abordada desde que se identificaron las aflatoxinas en el maíz almacenado en Tamaulipas (Peña y Durán, 1990), estableciendo como estrategia para su control la regulación, tanto en el maíz crudo como en el procesado, para consumo humano (NOM-188-SSA1-2002).

Las Fusariotoxinas son micotoxinas sintetizadas por especies del género *Fusarium*, un hongo microscópico y filamentoso aeróbico que habita en el suelo, de gran distribución y que crece bajo condiciones ambientales que le favorecen, como la temperatura y humedad, siendo además capaz de sintetizar diferentes fusariotoxinas, como la Fusariotoxina T2, mejor conocida como Zearalenona (ZEA), el Deoxinivalenol (DON) y la Fumonisina B1 (FB1), entre otras (Kagot *et al.*, 2019). *Fusarium verticillioides* y *F. proliferatum* sintetizan Fumonisinas (FUM), *Fusarium culmorum* W.G., sintetiza DON y ZEA; *Fusarium graminearum* Sch., *F. cerealis* sintetiza más de 17 micotoxinas, entre las cuales se encuentran la ZEA y el DON (Brown *et al.*, 2017).

En Europa, las fumonisinas son las micotoxinas de mayor frecuencia, sin embargo, se ha visto que el hongo *Fusarium* spp puede adaptarse a climas tropicales y subtropicales (Doohan *et al.*, 2003), como los que predominan en el Continente Americano (Kagot *et al.*, 2019; Valenzuela *et al.*, 2019). Además, es un hongo que aprovecha los suelos agotados (Rodríguez *et al.*, 2012; Lee y Ryu, 2017), como es el caso de algunas zonas agrícolas maiceras de los estados del centro del país (hecho que ha sido documentado por diversos autores), principalmente en los estados de Hidalgo y Estado de México, y por la presencia de fumonisinas en el maíz (Espinoza *et al.*, 2003; Peña, 2006); también ha sido demostrada la presencia de más de una micotoxina (Streit *et al.*, 2013; Smith *et al.*, 2016).

La Zearalenona (ZEA) es una hepatotoxina con potente actividad estrogénica y androgénica que ha sido señalada como responsable de inducir hiperplasia en órganos del aparato reproductor en animales, y de un desarrollo precoz de mamas en niñas y de órganos genitales en niños (Ahmad y Jae-H, 2017); este desarreglo celular puede llevar al desarrollo de cáncer por el consumo de alimentos contaminados por largos períodos de tiempo, como ha sido señalado por Belhassen *et al.*, 2015, quienes mencionan que los tumores pueden desarrollarse en las mamas por ser dependientes de los niveles hormonales. La ZEA también induce estrés oxidativo (Da Silva *et al.*, 2018), lo que conlleva

a un efecto genotóxico, que se traduce por la generación de adductos, micronúcleos y aberraciones cromosómicas (Yazar *et al.*, 2008; Zorgui *et al.*, 2009).

El límite máximo permitido (LMP) para la Zearalenona es de 20  $\mu\text{g kg}$ , para alimentos de consumo infantil (Comisión Europea, 2007), y de 100  $\mu\text{g kg}$  para la población en general, de acuerdo con la FDA-USDA de los Estados Unidos; desafortunadamente en México no existe la regulación para esta micotoxina.

Las fumonisin (FUM) son capaces de inhibir la síntesis de los esfingolípidos y han sido relacionadas con cáncer esofágico en humanos (Brown *et al.*, 2017). El LMP es de 2000  $\mu\text{g kg}$  para alimentos en general y de 200  $\mu\text{g kg}$  para alimentos infantiles; en el país no se han determinado los niveles permisibles.

El Deoxinivalenol (DON) inhibe la síntesis de proteína y disminuye la actividad del sistema inmunológico, por lo que su ingesta se relaciona con una baja de defensas y una mayor susceptibilidad a desarrollar enfermedades, como hepatitis y problemas gastro-intestinales (Zhou *et al.*, 2019). El LMP en países Europeos es de 50  $\mu\text{g kg}$  para alimentos de consumo infantil (CE, 2007), y de 1000  $\mu\text{g kg}$  en cualquier alimento (FDA, 2001).

En virtud de la necesidad de detectar las fusariotoxinas presentes en los alimentos para establecer los límites máximos permitidos y cumplir con la legislación, se han implementado numerosas técnicas analíticas que se diferencian en la sensibilidad y especificidad de cada una de ellas, es decir, en la capacidad de identificar pequeñas cantidades, generalmente del orden de los microgramos por kilogramo de alimento (ppb). Así, la técnica de mayor sensibilidad es la Cromatografía Líquida de alto desempeño o HPLC, acoplada a un detector de masas (Zhang *et al.*, 2016).

La técnica de inmunoensayo enzimático (ELISA) es una técnica de análisis sencilla y rápida que está validada por el Sistema de Inspección Federal de Granos de los Estados Unidos (FGIS-USDA, 2017), se le considera muy útil en los análisis de rutina en los laboratorios dedicados a las micotoxinas (Peña, 2006; Peruzzo y Pioli, 2016). ELISA es una técnica cuyo fundamento es la unión específica de antígeno (micotoxina) y anticuerpo, utilizando enzimas. Su límite de detección es del orden de las ppb o  $\mu\text{g kg}$ , sin embargo, es necesario no desestimar que pueden ocurrir reacciones cruzadas, dando resultados sobrestimados por lo que si existe alguna duda, se deberá recurrir a la comprobación de los resultados con alguna otra técnica de mayor sensibilidad y especificidad como es la Cromatografía Líquida o HPLC, acoplada a un detector de masas (Huang *et al.*, 2014).

Considerando la falta de información sobre la presencia conjunta de fusariotoxinas en el maíz relacionada con su fuente de origen se realizó el presente estudio.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Un total de 34 muestras de maíz fueron colectadas: 10, procedentes de la Ciudad de México, de la alcaldías de Xochimilco y Tláhuac, cada una con cinco muestras, mismas que se identificaron con la inicial X y T, respectivamente, con su número consecutivo. Otras 24 muestras fueron donadas por el Colegio de Posgraduados del estado de Puebla, procedentes de 11 municipios (Libres, El Salado, Chalchicomuco de Sesme, Ciudad Serdán, Tlacotepec, Palmar de Bravo, Cuautlancingo, Tecamachalco, San Francisco Cuautlancingo, Tepanco de López y Xochitlán).

### Preparación de muestras

Fueron transportadas 500 g de cada muestra al Laboratorio de Toxicología, de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, donde se procedió a realizar su limpieza, pesaje e identificación; posteriormente, las muestras se dividieron en sub-muestras de 100 g cada una, se molieron en un molino eléctrico y se tamizaron hasta un tamaño de partícula de 1 mm, de acuerdo con lo señalado por Vanara *et al.*, 2018.

### Análisis de Fusariotoxinas

Se utilizó la técnica de inmunoensayo enzimático ELISA-Indirecto, para determinar cualitativa y cuantitativamente cada micotoxina, de acuerdo con las especificaciones del kit comercial para granos de cereales a partir de 5 g de la muestra. Para la extracción se utilizó 25 mL de una solución de metanol:agua (70/30, v/v) y se agitó mecánicamente durante 5 minutos. Se dejó sedimentar y filtró utilizando papel de filtro Whatman núm. 2.

### Técnica ELISA para Zearalenona

La técnica de inmunoensayo enzimático (ELISA) presenta un límite de detección de 17  $\mu\text{g kg}$ . El kit comercial Ridascreen fast Zearalenona cuenta con una placa de 48 pocillos y contiene cinco concentraciones del estándar 0, 50, 100, 200 y 400  $\mu\text{g kg}$ : A cada muestra problema se le agregó 25 mL de una solución de metanol: agua (70:30% v/v), para agitar, posteriormente, de manera vigorosa mediante agitador mecánico durante 5 minutos; se

filtra en papel Whatman núm. 2 y se diluye hasta un volumen de 1:1 con H<sub>2</sub>O destilada. Se agregan 50 µl de cada concentración del estándar y la muestra problema en cada pocillo y se adiciona el conjugado zearalenona-enzima. Se añaden 50 µl del anticuerpo anti-zearalenona a cada pocillo y se mezcla dejando la placa en incubación por 10 minutos. Se realizan tres lavados de la placa con 250 µl de H<sub>2</sub>O destilada. Se agregan 100 µl del sustrato/cromógeno a cada pocillo y se incuba nuevamente la placa por 5 min a temperatura ambiente. Finalmente, se adicionan 100 µl de la solución stop para observar un cambio de coloración de azul a amarillo. La ZEA se determina fotométricamente a una longitud de 450 nm, en un lector de placas ELISA marca Biotek modelo ELX800 y la cuantificación en el software comercial RIDA SOFT Win.

### **Técnica ELISA para Deoxinivalenol**

Se utilizó el kit comercial Ridascreen fast deoxinivalenol, el cual presenta un límite de detección de 220 µg kg. En el kit se incluyen cinco concentraciones del DON (0, 0.222, 0.666, 2.0 y 6.9 mg L). A la muestra se le agregaron 100 mL de H<sub>2</sub>O destilada. Siguiendo el mismo procedimiento que el mencionado anteriormente para la ZEA en cuanto a la agitación, filtrado y adición de los reactivos de enzima y anticuerpo correspondientes. Los tres lavados se realizan con 250 µl de una solución amortiguadora de lavado (PBS-Tween). Para finalmente realizar la medición fotométrica y cuantificación previamente descrita.

### **Técnica ELISA para Fumonisin**

El kit comercial Ridascreen fast fumonisina presenta un límite de detección de 220 µg kg. Los estándares de fumonisin incluyen cinco concentraciones de 0, 0.222, 0.666, 2 y 6 mg L. A cada muestra se le agregó 25 mL de una solución de metanol: agua (70:30 v/v). Posteriormente, se diluyó el extracto a un volumen de 1:14 con H<sub>2</sub>O destilada, para continuar con las indicaciones del kit.

## Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial en el que los factores fueron maíz contaminado y sitio de procedencia, utilizando un modelo lineal y la comparación de medias. Estableciendo como nivel significativo una  $P= 0.05$ .

## RESULTADOS

Los resultados del estudio mostraron diferencias en los niveles de contaminación de las tres micotoxinas evaluadas, entre los municipios del estado de Puebla y las alcaldías de Xochimilco y Tláhuac en la CDMX (Cuadros 1 y 2). Sin embargo, en el análisis de ANOVA realizado sólo con las muestras de Puebla, las diferencias entre las medias no fueron significativas (Cuadros, 3, 4, 5). No se llevó a cabo el ANOVA en las muestras de maíz procedente de la CDMX, debido al número tan reducido de muestras y la falta de por lo menos una réplica.

**Cuadro 1. Frecuencia de Fusariotoxinas en maíz procedente de Puebla**

	ZEARALENONA	FUMONISINA	DON/VOMITOXINA
	21	12/21	15/21
	100%	57%	72%
	52.13-276.87	90-580	220-812
Promedio=	108.42±66.02	341.±148.83	381.53±187

**Cuadro 2. Frecuencia de Fusariotoxinas en maíz procedente de CDMX**

	ZEARALENONA	FUMONISINA	DON/VOMITOXINA	AFLATOXINA
POSITIVAS	8/10	9/10	10/10	6/10
	80%	90%	100%	60%
	31.51-329.9	220-551	22-1710	2.0-7.8
Promedio=	172.49±102.60	375.67±148.9	588.2±497	6.89

**Cuadro 3. Análisis estadístico de las medias de fumonisinas detectadas en maíz**

ANOVA de Fumonisin					
	SC	GL	CM	Fc	F-Fisher
SCtrat	0.2480691	11	0.02255174	1.13290225	2.31
SCtotales	0.42722457	20	0.02136123	Fc < F-fisher Se acepta Ho	
SCerror	0.17915547	9	0.01990616		

**Cuadro 4. Análisis estadístico de las medias de Deoxinivalenol detectadas en maíz**

ANOVA de DON					
	SC	GL	CM	Fc	F-Fisher
SCtrat	0.59379854	11	0.05398169	0.9393934	2.216
SCtotales	1.34083584	24	0.05586816	Fc < F-fisher Se acepta Ho	
SCerror	0.7470373	13	0.05746441		

**Cuadro 5. Análisis estadístico de las medias de Zearalenona detectadas en maíz**

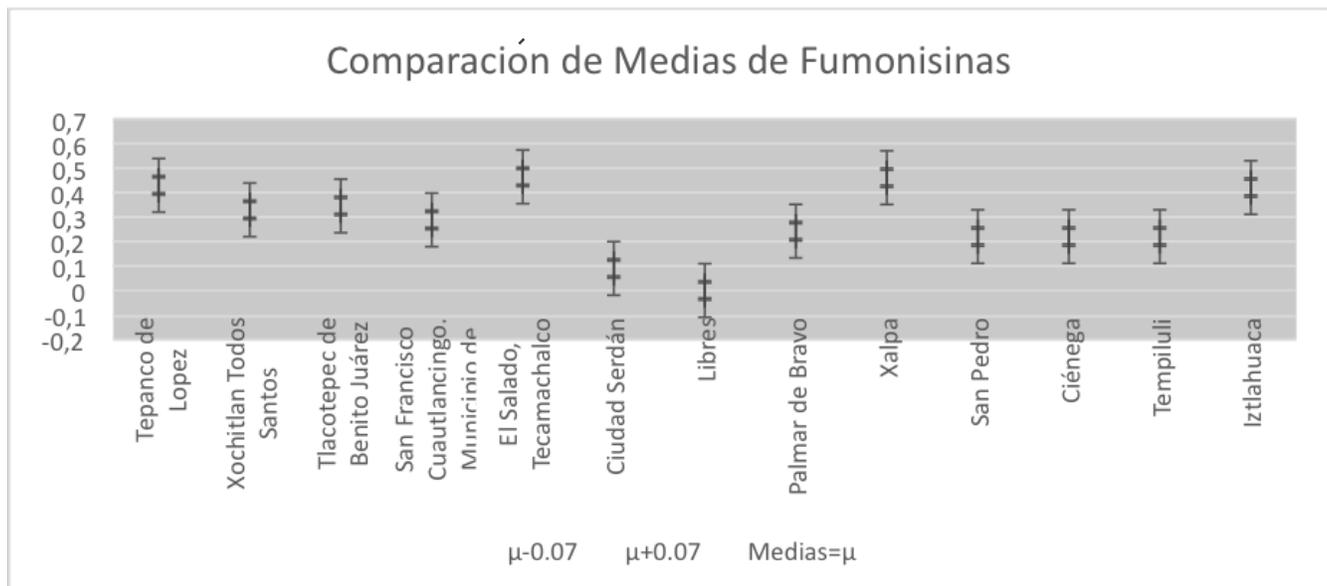
ANOVA de Zearalenona					
	SC	GL	CM	Fc	F-Fisher
SCtrat	133964.221	11	12178.5656	2.88370071	2.151
SCtotales	184643.124	28	6594.39728	Fc > F-fisher Se rechaza hipótesis nula y se acepta hipótesis alternativa	
SCerror	50678.9025	12	4223.24187		

En Puebla se detectó en nueve municipios (70.83%) de los 11 muestreados, la contaminación conjunta de Fusariotoxinas, entre los municipios destacaron Tlacotepec de Benito Juárez y Xalpa, con tres micotoxinas; San Francisco Cuautlancingo, Palmar de bravo, Ciudad Serdán y Ciénega, con dos micotoxinas: DON y ZEA, y el salado en Tecamachalco y Tepanco de López con: FUM y ZEA, por lo que 29.17% de los municipios se encontraron libres de alguna de las tres micotoxinas, los cuales fueron Libres y Xochitlán. El contenido promedio de la ZEA fue de  $108.42 \pm 66.02 \mu\text{g kg}$ , con un rango de 52 a  $277 \mu\text{g kg}$ ; para FUM de  $341.14 \pm 148.83$  y un rango de 90 a  $580 \mu\text{g kg}$ , el DON con un promedio de  $381.53 \pm$

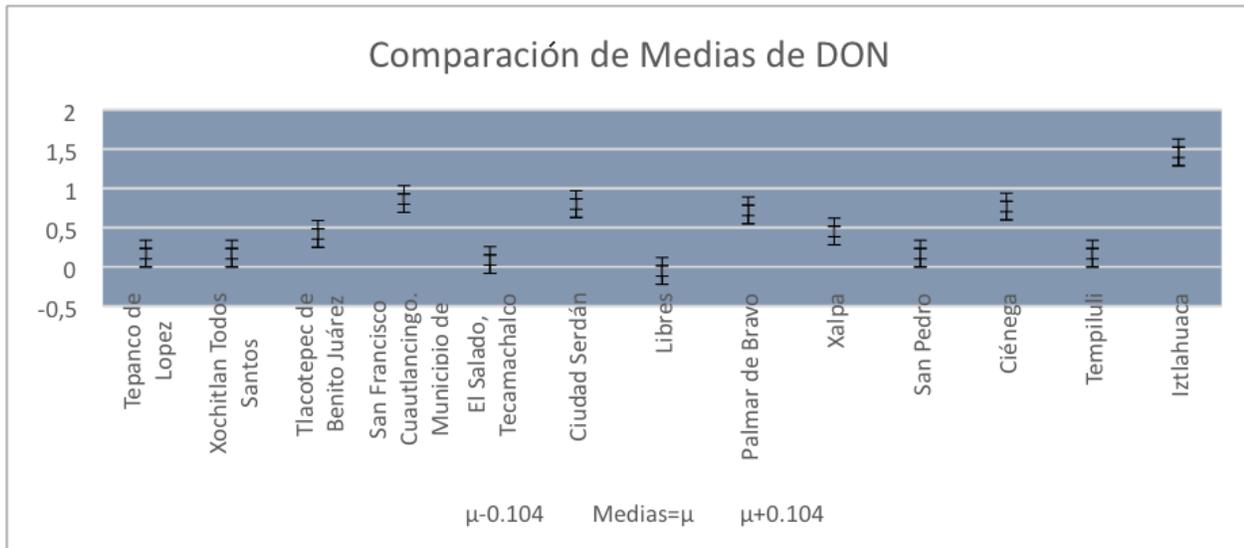
187.77  $\mu\text{g kg}$  y rango de 220-812. La sumatoria de las tres micotoxinas alcanzaron un nivel de 830.92  $\mu\text{g kg}$ . Cabe señalar que sólo un municipio del estado de Puebla se encontró libre de por lo menos una micotoxina.

Las muestras de maíz procedentes de la CDMX presentaron para la ZEA un contenido de 172.49 $\pm$ 102.60  $\mu\text{g kg}$  y un rango de 31 a 324  $\mu\text{g kg}$ ; para FUM de 375.6  $\mu\text{g kg}$  y para el DON de 588.2  $\mu\text{g kg}$  y un rango de 22 a 1,710  $\mu\text{g kg}$ , el promedio de la presencia conjunta de ZEA + FUM + DON fue de 1,967.32 $\pm$ 170.53  $\mu\text{g kg}$ .

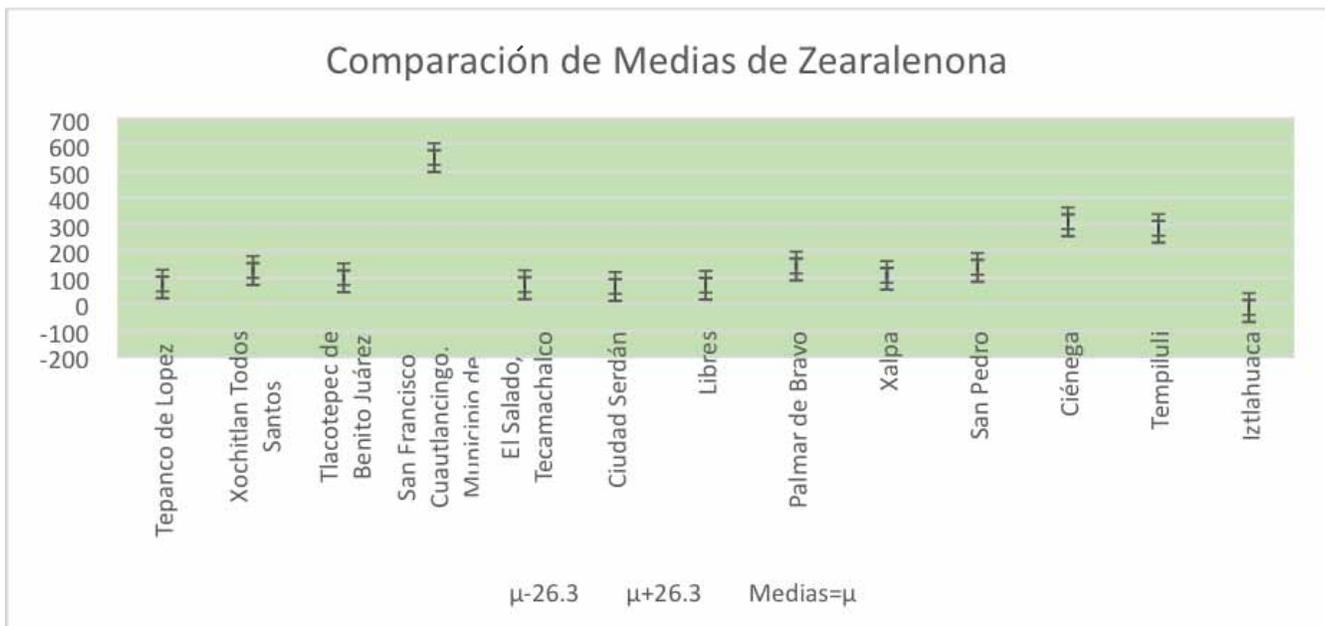
Gráfica 1. Comparación de medias de Fumonisinas en los municipios de Puebla



Gráfica 2. Comparación de medias para DON



Gráfica 3. Comparación de medias para ZEA



## DISCUSIÓN

Las diferencias en los niveles de contaminación por fusariotoxinas, encontradas en los maíces procedentes de los dos estados evaluados, pueden ser un reflejo de la infección del hongo *Fusarium spp* en el campo, ya que se conoce que es un hongo aeróbico, oligotrófico, oportunista y de una gran distribución (Kagot *et al.*, 2019).

Los maíces procedentes de los 14 municipios de Puebla presentaron niveles de contaminación distintos debido a las diferencias de micro-clima, que se presentaron durante el ciclo agrícola 2018, ya que como lo menciona Milani (2013), la temperatura y la humedad son factores cruciales para la infección del hongo *Fusarium spp* y la síntesis de las fusariotoxinas (Smith *et al.*, 2016). En el municipio de Tlacotepec el clima es semi-seco, con una precipitación pluvial baja con un promedio anual de 500 mm y una altitud de 1,945 m, y como lo menciona Baliukoniene *et al.*, 2011, una baja precipitación pluvial, acompañada de temperatura templada (promedio anual de 18 °C), puede incrementar la colonización del hongo *Fusarium verticillioides* y la síntesis de FUM, tal como se observó en este municipio, mientras que en San Francisco Cuautlan-cingo, la precipitación pluvial y altitud fueron mayores (729 mm y 2,709 m), con una temperatura moderada (25°C), lo que favoreció el desarrollo de *Fusarium graminearum* y la síntesis de ZEA; en los municipios del Palmar de bravo, Ciudad Serdán y Tecamachalco, el clima templado favoreció al *Fusarium culmorum* y la síntesis de DON, por tener temperaturas más bajas (Doohan *et al.*, 2003). Además del clima, los hongos filamentosos, como el *Fusarium spp.*, no presentan grandes requerimientos de materia orgánica, por lo que los suelos agrícolas de cada uno de los municipios del estado de Puebla y de la CDMX fue probablemente un factor que favoreció la instalación del hongo y su sobrevivencia, posteriormente su desarrollo se debió a las condiciones climáticas de cada lugar, estableciéndose la competencia entre las especies del *Fusarium spp.* por los nutrientes, lo cual influyó en el desplazamiento de alguna de sus especies (Champeil *et al.*, 2004). Además, es importante destacar que, dependiendo del genotipo del maíz, será su poder de resistencia o susceptibilidad a las condiciones ambientales, por presentar un mayor vigor y por tanto mayor resistencia a los ataques de los hongos en el campo, como lo expresa Marta *et al.* (2017); lo contrario sucede con los maíces de menor vigor por lo que el daño que los insectos causan a la planta durante su desarrollo puede ser aprovechado por los hongos que son oportunistas, como es el caso del *Fusarium spp*; incluso ha sido mencionado que algunos compuestos químicos presentes en la planta del maíz, como los fenoles, pueden actuar como mecanismo de defensa contra las plagas del campo, y su contenido depende del genotipo (Peng *et al.*,

2018); por otro lado, el manejo agrícola que se le da al cultivo en cada lugar, como la preparación de la tierra, el uso de fertilizantes nitrogenados y de insecticidas, vulnera a la planta de maíz. Las muestras procedentes de las dos alcaldías de la CDMX también presentaron diferencias en el contenido de las Fusariotoxinas. Las muestras de Tláhuac fueron las que presentaron mayor contenido de Zearalenona, por las mismas condiciones de micro-clima que favorecieron al *Fusarium graminearum*, y en las muestras de maíz de Xochimilco al *Fusarium verticillioides* y la síntesis de Fumonisinias.

El total de muestras de maíz procedentes de los estados de Puebla y CDMX presentaron niveles de fusariotoxinas fuera de la regulación internacional, lo que resulta muy importante al considerar que estos maíces se destinan al consumo de la población, por lo que el maíz no es apto, aún si se procesa el grano, ya que las micotoxinas son termoestables, incluso pueden modificarse en nuevas moléculas más tóxicas, como es el caso de la ZEA, cuyo metabolito el Zeranol posee diez veces más el poder estrogénico.

## CONCLUSIONES

Se demostró la contaminación conjunta de tres Fusariotoxinas en el maíz sin procesar procedente de Puebla y de la Ciudad de México.

Se requiere de un mayor número de muestras para poder establecer un análisis estadístico más preciso.

Se debe procurar la instalación de la regulación de las fusariotoxinas en maíz sin procesar, cuyo destino es la producción de alimentos para la población humana, principalmente de niños.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad A.; Jae-H., Yu, 2017, "Occurrence, toxicity and analysis of major mycotoxins in food", en *Int. J. Environ. Res. Pub. Health*, 14(6): 632.
- Alizadeh A. M.; Rohandel, G.; Roudbarmohammadi, S., 2012, "Fumonisin B1 contamination of cereals and risk of esophageal cancer in northeastern Iran", en *Asian Pac. Cancer Prev.* 13(6): 2625-2628
- Alshannaq A.; Jae-H., Yu, 2017, "Occurrence, toxicity and analysis of Major Mycotoxins in Food", en *Intern. Journal of Environ Research and Public Health*.
- Belhassen, H.; Jiménez, D. I.; Arrebola, J. P., 2015, "Zearalenone and its metabolites in urine and breast cancer risk", en *Chemosphere*, 128: 1-6.
- Baliukoniene V.; Bakutis, B.; Januskeviciene, G., 2011, "Fungal contamination and Fusarium mycotoxins in cereals grown in different tillage systems", en *J. of Animal and Feed Sciences*, 20: 637-647.
- Brown D. W.; Butchko, A. E.; Bushman, M., 2017, "The *Fusarium verticilloides* FUM Gene Cluster Encodes a Zn(II)<sub>2</sub>Cys<sub>6</sub> Protein That Affects FUM Gene Expression and Fumonisin Production", en *Eukaryotic Cell*, 6 (7):1210-1218.
- Champeil A.; Dore, T.; Fourbet, J. F., 2004, "*Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains", en *Plant Sci.*, 166: 1389-1415.
- Comisión Europea (CE), 2007, Comisión de Regulación No. 1126/2007. "Niveles máximos de ciertos contaminantes en ingredientes alimenticios de Fusariotoxinas en maíz y derivados", en *Off. J. Eur. Union* 2007, 255: 14-17.
- Da Silva E.O.; Bracarense, A. P.; Oswald I. P., 2018, "Mycotoxins and oxidative stress: where are we", en *World Mycotoxin Journal*, 11(1): 113-133.
- Dall 'Asta, Ch. *et al.*, 2009, "Difficulties in fumonisin determination", en *Anal. Bioanal. Chem.*, 395: 1335-1345.
- De la Torre, M. *et al.*, 2014, "Fumonisin-síntesis y Función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz", en *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1): 77-91.
- Doohan, F. M.; Brennan, J.; Cooke, B. M., 2003, "Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals", en *Eur. J. Plant Pathol*, 109: 755-768.
- Food and Drug Administration (FDA), 2001, Guidance for Industry: Fumonisin Levels in Human Foods and Animal Feeds en <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-fumonisin-levels-human-foods-and-animal-feeds> (Consultado: 10/06/2019).

- FGIS-USDA, 2016, Grain Fungal Diseases and Mycotoxin Reference, <https://www.ams.usda.gov/resources/fungal-disease-and-mycotoxin-reference>.
- Huang, L. C. *et al.*, 2014, Simultaneous determination of AFM1 Ochratoxin A, Zearalenone, alfa Zearalenol in milk by UHPLC-MS/MS, en *Food Chemistry*, 146: 242-249.
- Kagot, V. *et al.*, 2019, "Biocontrol of *Aspergillus* and *Fusarium* mycotoxins in Africa", en *Toxins*, 11(2): 109-111.
- Keusch, G., 2003, "The history of nutrition: malnutrition, infection and immunity", *J. Nutr.*, 2003(133): S336-340.
- Lee, H. J.; Ryu, D., 2017, "Worldwide occurrence of mycotoxin", en *J. Agric. Food. Chem.*, 65(33): 7034-7051.
- Marin S., Ramos, A. J., 2013, "Mycotoxins", en *Food Chem. Toxicol.* 60: 217-218.
- Marta, H.; Survadi, E.; Ruswandi, D., 2017, "Chemical composition and genetics of Indonesian maize hybrids", en *American Journal of Food Technology*, 12(2): 116-123.
- Milani, J. M., 2013, "Ecological conditions affecting mycotoxin production in cereals", en *Vet Med Czech Repub.*, 58: 405-411.
- Norma Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, 2002, Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias, en <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/188ssa12.html>
- Pereira, V. L.; Fernandes, J. O.; Cunha, S. C., 2014, "Mycotoxins in cereals and related foodstuffs", en *Trends Food Sci Technol.*, 36: 96-136.
- Peruzzo, A. M.; Pioli, R. N., 2016, "Mycotoxins in flours derived from wheat detected by the ELISA test", en *Pesq. Agropec. bra.*, 51(5).
- Peña, B.S.D., 2007, "Detection of Fumonisin in Maize (*Zea mays* L.) by Three Analytical Techniques (HPLC, TLC and ELISA)", en Njapau, H. *et al.* (Eds.), *Mycotoxins and Phycotoxins Advances in Determination, Toxicology and Exposure Management*, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Peng, B. *et al.*, 2018, "Improving maize growth processes in the community land model: Implementation and evaluation", en *Agricultural and Forest Meteorology*, 250-251, 64-89, en <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.012>
- Peña, B. S. D.; Durán de B., M. C., 1990, "Efecto tóxico de las aflatoxinas en la dieta", en *Ciencia y Desarrollo* (Conacyt, México), XVI(94): 61-70.
- Rodrigues, I.; Naehrer, K., 2012, "A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuff and feed", en *Toxins*, 4: 663-675.
- Smith, M. C. *et al.*, 2016, "Natural Cooccurrence of mycotoxins in foods and feeds and their in vitro combined toxicological effects", en *Toxins*, 8(4): 94

- Streit, E. *et al.*, 2013, "Multi-Mycotoxin Screening Reveals the Occurrence of 139 Different Secondary Metabolites in Fed and Feed Ingredients", en *Toxins*, 5: 504-523, en <http://dx.doi.org/10.3390/toxins5030504>
- Valenzuela, P.; Legarraga, P.; Rabagliati, R., 2019, "Epidemiología de la enfermedad fúngica invasora por hongos filamentosos en el período 2005 a 2015, en un hospital universitario en Santiago, Chile", *revista chilena de infectología*, 36(6).
- Vanara, F.; Scarpino, V.; Blandino, M., 2018, "Fumonisin distribution in maize, dry-milling products", en *Toxins*, 10(9): 357.
- Yazar, S., Omurtag, G. Z., 2008, "Fumonisin, Tricothecens and Zearalenone in cereals", en *Int. J. Mol. Sc.*, 9: 2062-2090.
- Zhang, X. *et al.*, 2018, "Dual Flow Immunochromatographic Assay for Rapid and Simultaneous Quantitative Detection of Ochratoxin A and Zearalenone in Corn, Wheat, and Feed Samples", Nov 19(11): 871-883. *J Zhejiang Univ Sci B*.
- Zhou, H.; Guog, T.; Dai, H.; Yo, Y., 2019, "Deoxinivalenol: toxicological profile and perspectives views for future research", en *World Mycotoxin Journal*, 13(2): 179-188.
- Zorgui, L.; Boussema J.; Ayed Y., 2009, "The antigenotoxic activities of cactus against the zearalenone", en *Food Chem, Toxicol*, 47: 662-667.



# Evaluación de suplemento comercial en el crecimiento de *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein, 1823)

Jesús Damaso Bustamante González,<sup>1</sup> Danae Rocío Álvarez García,<sup>1</sup> Randy Gilberto Rojas Rubio<sup>2</sup> y Araceli Cortes García<sup>1</sup>

**Resumen.** El pez ángel (*Pterophyllum scalare*) es una de las especies ornamentales más codiciadas y populares en el mercado dada su finura, belleza, color, variedad y tamaño de aletas. Su comercialización depende del tamaño, siendo el macho quien presenta mayor talla, por eso son los más demandados en la acuariofilia, debido a esto, es necesario considerar alternativas de alimentación que favorezcan su crecimiento, color y salud animal. La incorporación de probióticos comerciales en la alimentación de peces es una alternativa viable para la producción acuícola dado que modulan la colonización microbiana, así como aumentan la actividad enzimática, digestibilidad, promueven el crecimiento de los organismos, además de mejorar la respuesta inmune y calidad del agua. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del probiótico PROBION-forte<sup>®</sup> como suplemento alimenticio sobre el crecimiento de *P. scalare*. El experimento consistió en mantener 30 juveniles en acuarios de 40 L alimentados con Silver Cup El Pedregal<sup>®</sup>: 45% de proteína a 3% de la biomasa, dividida en seis raciones al día, con cuatro porcentajes de suplemento alimenticio PROBION forte<sup>®</sup>: 5, 7.5, 10 y 12.5%, y como grupo control sólo el alimento comercial. Para determinar el crecimiento se registró la longitud total y altura (mm) con vernier digital marca SURTEK<sup>®</sup> ( $\pm 0.001$  mm), y el peso (g) con una balanza digital marca Sartorius talent<sup>®</sup> ( $\pm 0.1$  g). Los resultados muestran que los juveniles alimentados con 12.5% de probiótico fueron quienes presentaron mayor ganancia en longitud total, con un incremento diario de 0.29 mm, tasa de crecimiento absoluto 17.36 mm, tasa de crecimiento específico 0.54 mm. Sin embargo, el grupo control mostró el mayor factor de conversión  $2.49 \pm 0.7$ . En conclusión, los juveniles de *P. scalare* alimentados con todos los porcentajes de suplemento nutricional mostraron mayor longitud total, actividad vigo-

<sup>1</sup> Laboratorio de Reproducción Genética y Sanidad Acuícola. Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: jesusbustamantegonzalez@gmail.com, acortes@correo.xoc.uam.mx.

<sup>2</sup> Maestría en Ciencias Agropecuarias, UAM-Xochimilco.

rosa y color de piel brillante, lo que permite llevar a cabo estudios sobre estas variables, así como determinar la diversidad microbiota intestinal para fortalecer este tipo de estudios y promover en, los productores de zonas rurales, el uso de probióticos en el cultivo de peces de interés comercial.

**Palabras clave:** cíclidos, talla e incremento en peso diario, Tasa de Crecimiento Absoluto, Tasa de Crecimiento Específico, Factor de Condición, bacillus.

**Abstract.** The *Pterophyllum scalare* angelfish is one of the coveted and popular ornamental species on the market due to its fineness, beauty, color, variety, and fin size. Its commercialization depends on the size, with the male being the one with the largest size, which is why they are most in demand in aquarium hobby; for this reason, it is necessary to consider feeding alternatives that favor growth, color, and animal health. The incorporation of commercial probiotics in fish feed is a viable alternative for aquaculture production, since they modulate microbial colonization, increase digestive enzyme activity, promote the growth of organisms, in addition to improving the immune response and quality of the water. Therefore, the objective of the present research was to evaluate the effect of the PROBION-forte® probiotic as a food supplement on the growth of *P. scalare*. The experiment consisted of keeping 30 juveniles in 40 L aquariums fed with Silver Cup El Pedregal® 45% protein at 3% of the biomass, divided into six servings per day, with four percentages of food supplement PROBION forte®: 5, 7.5, 10, and 12.5% and, as a control group, commercial food without probiotic. To determine the growth, the total length and height (mm) were registered with the digital vernier: SURTEK® ( $\pm 0.001$  mm) and the weight (g) with a digital scale: Sartorius talent® ( $\pm 0.1$  g). The results show that the juveniles fed with 12.5% probiotic were the ones that presented the greatest gain in total length with a daily increase of 0.29 mm, absolute growth rate 17.36 mm, specific growth rate 0.54 mm. However, the control group showed the highest conversion factor,  $2.49 \pm 0.7$ . In conclusion, the juveniles of *P. scalare* fed with all the percentages of nutritional supplement showed greater total length, vigorous activity, and bright skin color, which allows studies on these variables to be carried out, as well as determining the intestinal microbiota diversity to strengthen this type of studies and promote the use of probiotics in fish raising with commercial interest to rural producers

## INTRODUCCIÓN

En México, la industria de peces ornamentales creció en los últimos diez años en 250%, convirtiéndose en una alternativa de producción rentable con perspectivas de crecimiento social y económico en 23 entidades federativas del país, y que, en algunos casos, supera los ingresos obtenidos por la comercialización en donde se cultivan más de 160 especies diferentes, incluyendo las variedades de *Pterophyllum scalare*. Entre las de mayor producción y demanda se encuentran los siguientes: guppy (*Poecilia reticulata*; Peters, 1859), carpa dorada (*Carassius auratus*; Linnaeus, 1758), pez ángel (*Pterophyllum scalare*; Lichtenstein, 1823), platy (*Xiphophorus maculatus*; Günther, 1866), cebrá (*Danio rerio*; Hamilton-Buchanan, 1822), tetra (*Hemiframmus caudovittatus*; Eigenmann, 1907), betta (*Betta splendens*; Regan, 1910) y gurami (*Trichogaster* sp.; Pallas, 1970), entre otros (Sagarpa, 2015).

Dentro de estas especies, el pez ángel es el más codiciado y popular en el mercado (Bustamante *et al.*, 2017) debido a su finura, belleza, colores, variedades y diversas formas de aletas, las que pueden ser cortas, dorsal delta, velo y velo bifurcado (Landines *et al.*, 2007), características que lo hacen atractivo y apreciado por el público (Ortega *et al.*, 2009; Kasiri *et al.*, 2011). Por ello, para los productores de peces es necesario contar con alternativas de alimentación que favorezcan el crecimiento, color, y salud de los organismos, características importantes para su comercialización.

En el campo de la acuicultura la incorporación de probióticos, definidos por la Organización Alimentaria y Agrícola (FAO) y Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006) como “microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas son beneficios para la salud”, es un elemento que puede aportar propiedades específicas que beneficien, mantengan o restablezcan una relación favorable entre microorganismos que constituyen la microbiota gastrointestinal o de la piel de los organismos acuáticos (Ali, 2000). En general, los estudios están direccionados a cepas probióticas aisladas de microbiota nativa predominante de especies de agua dulce o salada, según sea el objetivo, considerando cepas no patógenas y no tóxicas, para evitar efectos secundarios indeseables cuando se administra a los peces (Sayes *et al.*, 2016).

Por otro lado, están los probióticos comerciales, productos que se promueven por su acción multifactorial (Gómez *et al.*, 2007) como: el antagonismo a los patógenos (Vine *et al.*, 2004), por su capacidad de las células para producir metabolitos (como vitaminas), enzimas y digestibilidad (Ali, 2000), colonización o propiedades de adhesión (Crittenden *et al.*, 2005; Ouwehan *et al.*, 2000), así como promover el crecimiento de los organismos, además de mejorar la respuesta inmune (Nikoskelainen *et al.*, 2003) y calidad del agua (Kuebutornye *et al.*, 2019). Estos probióticos, si se administran en cantidades adecuadas,

podrían incrementar la viabilidad de los cultivos de organismos acuáticos, mejorar la inmunidad del pez y resistencia a enfermedades y, de manera indirecta, el desempeño en las tasas de crecimiento (Gatlin *et al.*, 2006).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto del probiótico comercial PROBION-forte® como complemento alimenticio en el crecimiento de *Pterophyllum scalare*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de organismos

Se utilizaron 150 juveniles de peces, de mes y medio de edad, con una longitud total y peso promedio de  $68.36 \pm 0.73$  mm y  $4.51 \pm 0.17$  g, respectivamente, procedentes de la granja Ornamental fishes de la Ciudad de México.

Los organismos fueron acondicionados en el Laboratorio de Reproducción, Genética y Sanidad Acuícola, de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Previo al inicio del experimento, los peces se mantuvieron en cuarentena en una pecera de 120 L, temperatura de  $25 \pm 1$  °C, pH  $7.8 \pm 0.2$ , oxígeno disuelto entre  $3-5 \text{ mg L}^{-1} \pm 0.5$  y fotoperiodo natural 10L/14O, alimentados a 3% de la biomasa diariamente y ajustado cada quince días con alimento comercial para trucha Silver Cup El Pedregal®, con un contenido de proteína del 45%, grasa 16% Fibra 2.5% Ceniza y humedad de 12 por ciento.

### Diseño experimental

Para cada tratamiento se utilizaron  $n=30$  peces, los grupos fueron colocados en acuarios de 40 L, provistos con filtro biológico y un termostato, con recambios de agua al 20% semanalmente, y recuperando el nivel de agua por evaporación; se monitoreo la temperatura y oxígeno disuelto mediante un equipo HANNA modelo HI9146; mientras que el pH fue con un potenciometro HANNA modelo HI9125, y fotoperiodo natural (10 h de luz y 14 h de oscuridad). Los peces fueron alimentados con Silver Cup El Pedregal® suplementado con probiótico PROBION forte® a cuatro porcentajes: 5, 7.5, 10 y 12.5, y como grupo control se empleo alimento comercial sin probiótico; la cantidad de ración se calculó sobre la base de la biomasa a una tasa de alimentación de 3%, la cual se suministró seis veces al día.

**Evaluación del crecimiento y peso.** Cada 15 días se midió la longitud total (punta de la boca al término de la aleta caudal) y altura (abdomen al dorso), con vernier digital SURTEK® ( $\pm 0.001$  mm), y el peso, con una balanza digital marca Sartorius talent® ( $\pm 0.001$  g), de todos los organismos de cada grupo; los peces se extrajeron mediante una red de acuario y de manera individual se anestesiaron con esencia de clavo a una concentración de  $3 \mu\text{L}^{-1}$  de agua.

La talla e incremento en peso diario  $\text{g día}^{-1}$  (ID) se calculó de acuerdo con Luna-Figueroa *et al.* (2010).

$$\text{ID} = \frac{\text{VBF} - \text{VBI}}{\text{T}}$$

Donde:

**ID** = Incremento diario.

**VBF** = Variable biométrica final (longitud, altura, peso).

**VBI** = Variable biométrica inicial (longitud, altura, peso).

**T** = Días al final del periodo experimental.

La ganancia de peso (GP) se calculó de acuerdo con Moreno *et al.* (2000).

$$\text{GP} = \text{W}_2 - \text{W}_1$$

Donde:

**GP** = Ganancia de peso en gramos.

**W<sub>2</sub>** = Peso en gramos al finalizar el periodo.

**W<sub>1</sub>** = Peso en gramos al iniciar el periodo.

La tasa de crecimiento absoluto (TCA) se determinó de acuerdo con Wootton (1991).

$$\text{TCA} = \text{VBF} - \text{VBI}$$

Donde:

**TCA** = Tasa de crecimiento absoluto.

**VBF** = Variable biométrica final (longitud, altura, peso).

**VBI** = Variable biométrica inicial (longitud, altura, peso).

La tasa de crecimiento específico (TCE) se calculó de acuerdo con Mohanta *et al.*, 2011.

$$\text{TCE} = \frac{\text{Ln VBF} - \text{Ln VBI}}{\text{T}} \quad (100)$$

Donde:

**TCE** = Tasa de crecimiento específico.

**Ln** = Logaritmo natural.

**VBF** = Variable biométrica final (longitud, altura o peso).

**VBI** = Variable biométrica inicial (longitud, altura o peso).

**T** = Tiempo (días).

El Factor de Condición (FC) se determinó de acuerdo con Vazzoler (1982).

$$\text{FC} = \frac{\text{P}}{\text{L}_3} \quad (100)$$

Donde:

**FC** = Factor de condición.

**P** = Peso.

**L** = Longitud.

El porcentaje de sobrevivencia se calculó de acuerdo con Luna-Figueroa *et al.* (2010).

$$\text{Sobrevivencia (\%)} = \frac{\text{Número final de peces}}{\text{Número inicial de peces}} \quad (100)$$

**Análisis estadístico.** Los resultados fueron procesados mediante análisis descriptivos expresados como medias  $\pm$  desviación estándar. La normalidad de los las variables fue comprobada mediante el test de Shapiro-Wilk. Para determinar diferencias significativas entre la longitud, altura y peso con respecto a las dietas se empleó un análisis de varianza de una vía (ANOVA). Al encontrar diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) se realizó la prueba de Tukey.

## RESULTADOS

Los datos sobre el crecimiento del pez ángel alimentado con los diferentes porcentajes de probióticos incorporados al alimento se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Indicadores del crecimiento en *P. scalare* por tratamiento**

Variable	Grupos	Valor inicial	Valor final	ID	TCA	TCE
Longitud total (mm)	Control	14.83 $\pm$ 0.89	27.37 $\pm$ 3.02 <sup>12.5</sup>	0.21	12.54 <sup>7.5, 10, 12.5</sup>	0.44
	5%	14.19 $\pm$ 1.22	28.28 $\pm$ 2.80 <sup>12.5</sup>	0.23	14.09 <sup>12.5</sup>	0.50
	7.5%	15.51 $\pm$ 1.39	30.29 $\pm$ 4.01	0.25	14.78 <sup>12.5</sup>	0.48
	10%	15.50 $\pm$ 0.93	31.21 $\pm$ 1.89 <sup>C</sup>	0.26	15.71 <sup>12.5</sup>	0.51
	12.5%	15.84 $\pm$ 2.18	33.20 $\pm$ 3.84 <sup>C, 5</sup>	0.29	17.36 <sup>C, 5, 7.5, 10</sup>	0.54
Altura (mm)	Control	5.79 $\pm$ 0.52 <sup>7.5, 10, 12.5</sup>	17.50 $\pm$ 1.88	0.20	11.71	0.80
	5%	6.36 $\pm$ 0.74 <sup>10, 12.5</sup>	18.67 $\pm$ 2.54	0.21	12.31	0.78
	7.5%	6.73 $\pm$ 0.74 <sup>C, 10, 12.5</sup>	19.14 $\pm$ 3.11	0.21	12.41	0.76
	10%	7.64 $\pm$ 0.81 <sup>C, 5, 7.5</sup>	19.40 $\pm$ 1.24	0.20	11.76	0.67
	12.5%	7.77 $\pm$ 0.62 <sup>C, 5, 7.5</sup>	19.85 $\pm$ 1.41	0.20	12.08	0.68
Peso (g)	Control	0.087 $\pm$ 0.027	0.729 $\pm$ 0.194	0.011	0.642 <sup>10, 12.5</sup>	1.54
	5%	0.080 $\pm$ 0.010	0.735 $\pm$ 0.193	0.011	0.655 <sup>12.5</sup>	1.61
	7.5%	0.086 $\pm$ 0.011	0.742 $\pm$ 0.106	0.011	0.656 <sup>12.5</sup>	1.56
	10%	0.091 $\pm$ 0.016	0.782 $\pm$ 0.080	0.012	0.691 <sup>C</sup>	1.56
	12.5%	0.092 $\pm$ 0.013	0.794 $\pm$ 0.110	0.012	0.702 <sup>C, 5, 7.5</sup>	1.56

Superíndices indican el grupo donde se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

Los peces alimentados con probiótico comercial PROBION-forte® al 10 y al 12.5% mostraron mayor incremento diario en peso, que el resto, y en lo que respecta al crecimiento en longitud total, todos los grupos alimentados con probiótico fue mayor, con respecto al grupo de control; se detectaron diferencia significativas ( $P < 0.05$ ), el mayor ID fue con 12.5%, siendo de 0.29 mm y la TCA de longitud total fue de 17.36 mm y peso de 0.702 g.

En cuanto a la TCA en altura, los peces con el suministro al 7.5% de probiótico fue mayor de 12.41 mm, no obstante, resaltar que la TCE fue mayor en el control y con 5%, siendo de 0.80 y 0.78 mm, detectándose diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Las curvas del crecimiento respecto a longitud total y altura se ajustaron al modelo polinómico para los cinco porcentajes de probiótico (Figura 1 y 2); en cuanto a la ganancia de peso, las curvas para los grupos: control, 5, 7.5 y 10% se ajustaron al modelo polinómico y el de 12.5% a un modelo exponencial (Figura 3).

**Figura 1. Curvas de crecimiento respecto a la longitud total en *P. scalare*. A) Control (sin probiótico); B) 5% de suplemento; C) 7.5% de suplemento; D) 10% de suplemento y E) 12.5% de probiótico PROBION-forte® como suplemento comercial**

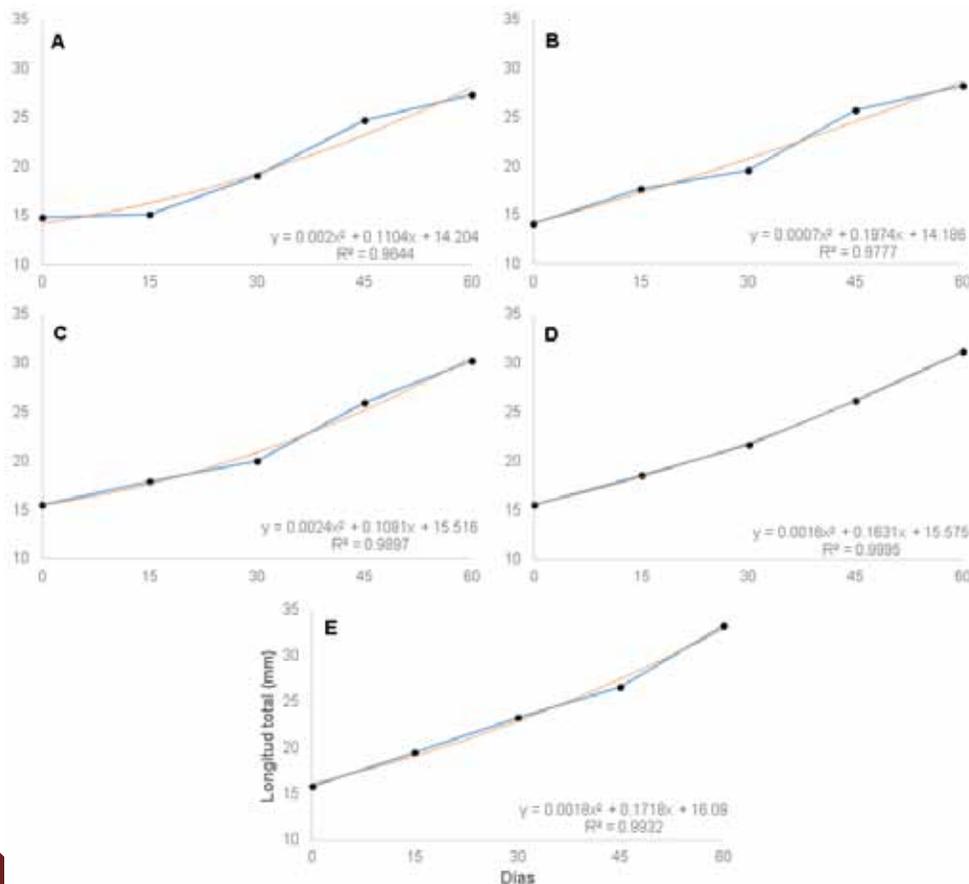


Figura 2. Curvas de crecimiento respecto a la altura en *P. scalare*. A) Control; B) 5%; C) 7.5%; D) 10% y E) 12.5% de probiótico PROBION-forte® como suplemento comercial

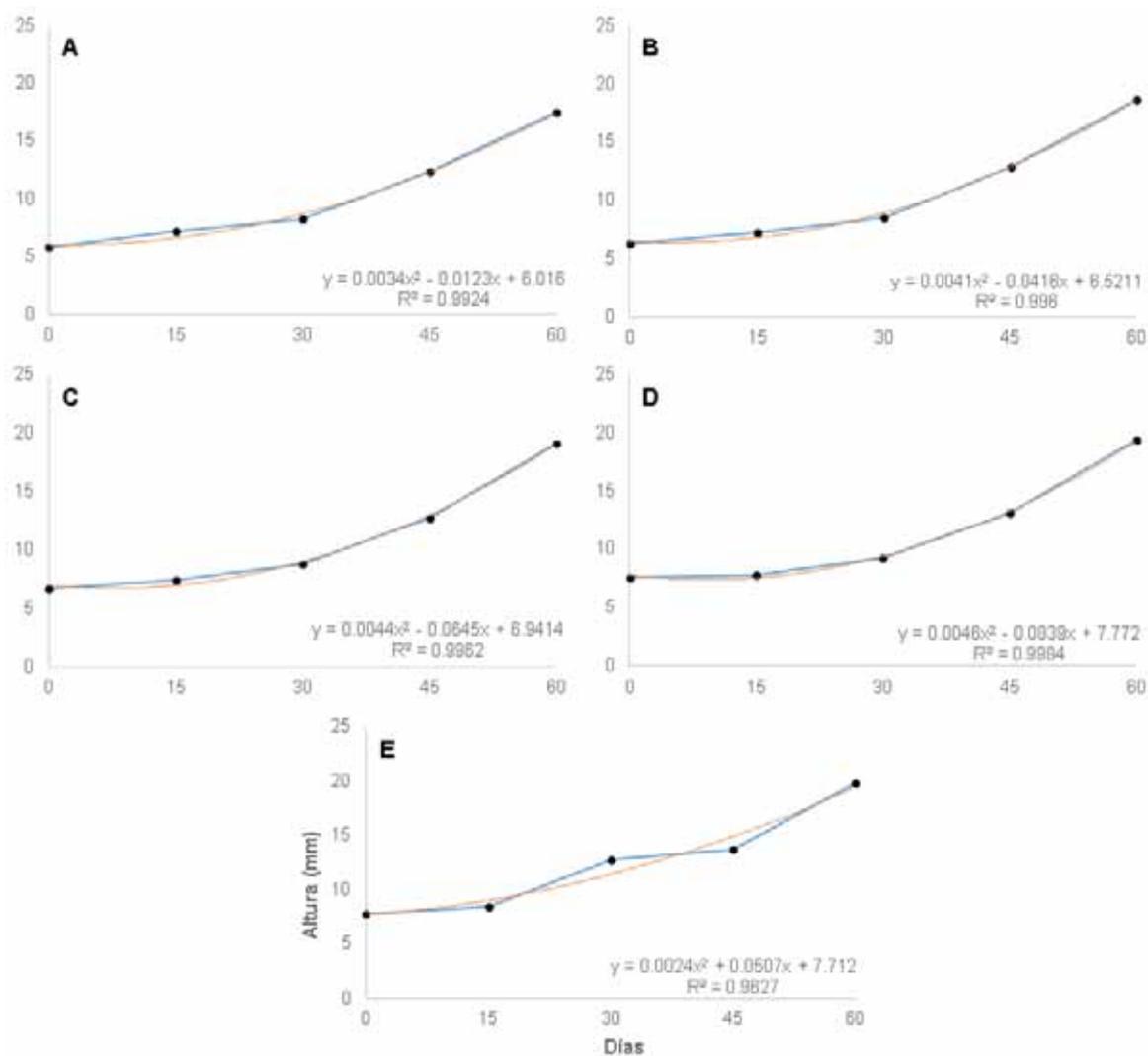
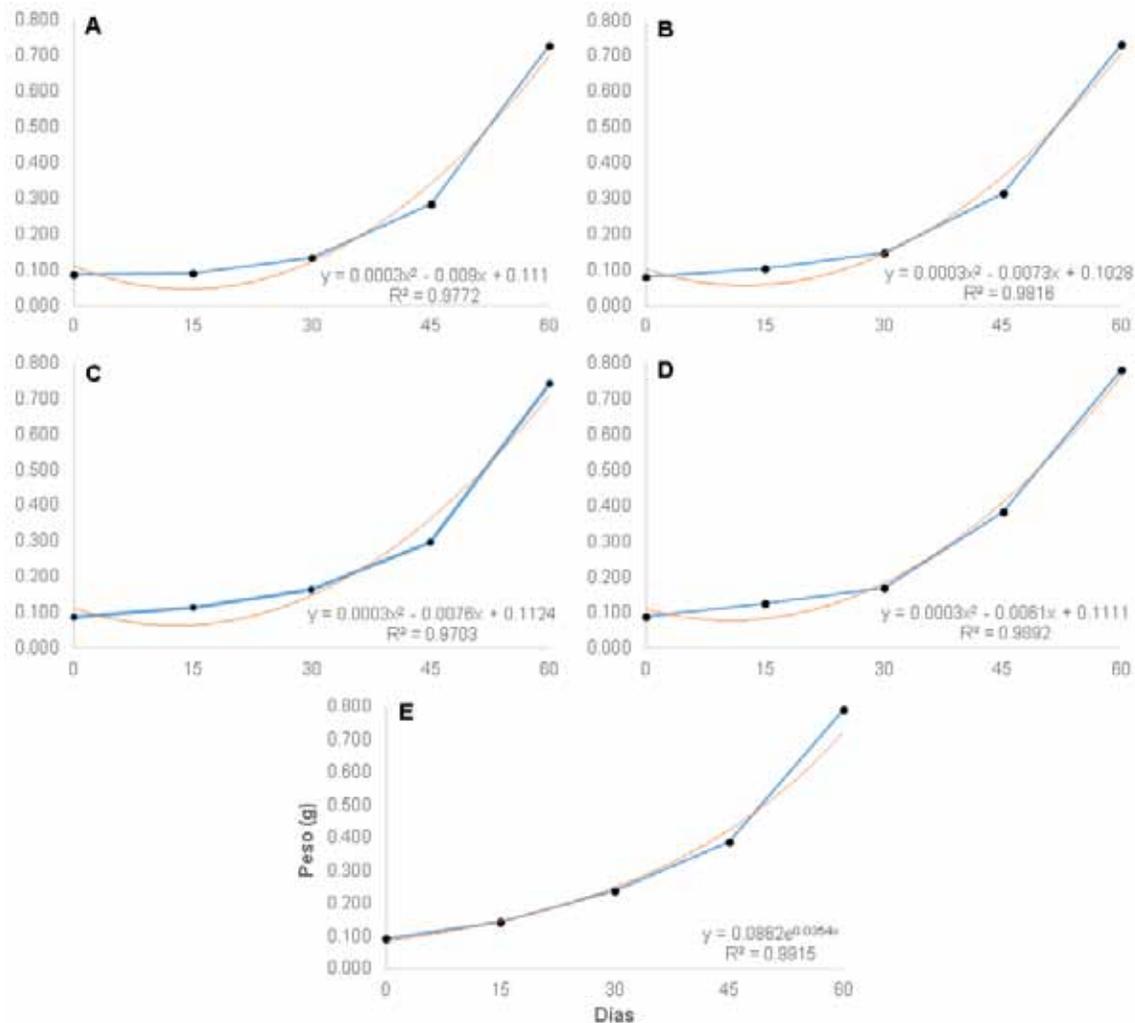


Figura 3. Curvas de crecimiento respecto a la ganancia de peso en *P. scalare*. A) Control; B) 5%; C) 7.5%; D) 10% y E) 12.5 % de probiótico PROBION-forte® como suplemento comercial



El factor de condición presentó diferencias entre los porcentajes de probiótico suministrados con el grupo control ( $P < 0.05$ ), entre los días 0-15, siendo de 1.9 y de 2.62, respectivamente, entre los días 16-30, el FC mayor fue con 7.5% con relación al resto y al término del experimento el mayor FC fue con el grupo control y al 5% con probiótico 3.55 y 3.25, respectivamente (Cuadro 2), lo que demuestra que la relación peso-longitud de los peces

fue similar entre los porcentajes de probiótico suministrado, pero mayor en el control. La tasa de supervivencia fue de 100% después de 60 días de cultivo para todos los grupos.

**Cuadro 2. Factor de condición de *P. scalare***

Días	Control	5%	7.5%	10%	12.5%
0-15	2.62	1.88	1.95	1.99	1.94
16-30	1.91	1.97	2.02	1.67	1.90
31-45	1.88	1.85	1.96	2.13	2.07
46-60	3.55	3.25	2.67	2.57	2.17
Promedio	2.49±0.79	2.24±0.68	2.15±0.35	2.09±0.37	2.02±0.12

## DISCUSIÓN

En la industria de la acuicultura, el reto es llegar a la talla comercial en el menor tiempo, razón por la que se ha buscado la aplicación de suplementos en la alimentación como aditivos seguros para mejorar el crecimiento de los peces y fortalecer su sistema inmunológico (Kuebutornye *et al.*, 2019; Reda *et al.*, 2015), y donde la incorporación de probióticos ha resultado ser una opción.

Se ha reportado que la adición de probióticos en el agua y/o combinado en el alimento favorece el crecimiento y resistencia a enfermedades patógenas en los peces, con lo que se favorece la viabilidad económica y sostenibilidad de la piscicultura (Ringø *et al.*, 2010; Wang *et al.* 2019).

La mayoría de probióticos comerciales y cepas aisladas de la microbiota nativa de las especies en interés pertenecen a los géneros *Lactobacillus* y *Bacillus*, probados ampliamente en la dieta de peces, ostión y camarón (Wang *et al.*, 2019).

En el presente estudio se demostró que la incorporación de *Bacillus subtilis*, *Bacillus coagulans*  $1 \times 10^8$  UFC  $g^{-1}$ , contenidas en el probiótico comercial PROBION-forte® a cuatro porcentajes: 5, 7.5, 10 y 12.5 favorecieron, estadísticamente, el incremento de longitud total, altura y peso de *P. scalare* vs. el grupo control. Resultados similares se obtuvieron en especies de las familias: Cichlidae *Oreochromis niloticus* especie modelo (Elsabagh *et*

al., 2018; Liu *et al.*, 2017; Adeoye *et al.*, 2016), Cyprinidae *Cyprinus carpio* (Yanbo y Zirong, 2006), *Ctenopharyngodon idella* (Wang, 2011), *Labeo rohita* (Mukherjee *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2006), Ictaluridae *Ictalurus punctatus* (Thurlow *et al.*, 2019), Siluriformes *Pangasius bocourti* (Meidong *et al.*, 2018; Chun-Hung *et al.*, 2012), Serranidae *Epinephelus coioides* (Sun *et al.*, 2010), y crustáceos de la familia: *Penaeidae* *Litopenaeus vannamei* (Sadat *et al.*, 2018; Nimrat *et al.*, 2012; Far *et al.*, 2009), *Fenneropenaeus indicus* (Ziaei-Nejad *et al.*, 2006), *Marsupenaeus japonicus* (Hong-biao *et al.*, 2014) y Palaemonidae *Macrobrachium rosenbergii* (Kumar *et al.*, 2013), en donde la inclusión de cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. coagulans*, *B. methylotrophicus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. aerius* y *B. clausii*, en concentraciones de  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^8$ ,  $1 \times 10^9$  y  $1 \times 10^{10}$  UFC g<sup>-1</sup>, han estimulado significativamente las tasas de crecimiento al mejorar la digestión, absorción y transformación de diversos nutrientes en el tracto digestivo, por tal motivo el género *Bacillus* ha sido ampliamente utilizado como probiótico en la acuicultura.

No obstante, para los productores resulta complicado extraer bacterias probióticas del tracto digestivo de la especie objeto, purificarlas y caracterizarlas previamente mediante pruebas microbiológicas, bioquímicas y moleculares; está reportado que la inclusión de cepas aisladas del tracto digestivo confieren mayores beneficios en la tasa de crecimiento y respuesta inmune (Liu *et al.*, 2017; Adeoye *et al.*, 2016; Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2016; Hong-biao *et al.*, 2014; Wang, 2011; Sun *et al.*, 2010), en contraste con los probióticos comerciales aislados del ser humano u otros mamíferos (Jiménez-Rojas *et al.*, 2012), sin embargo, para los productores resulta más fácil, práctico y económico hacer uso de probióticos comerciales, aunque la literatura reporta que los resultados son variables y dependientes de la especie.

Diversos investigadores han evaluado los efectos de los probióticos comerciales en la acuicultura, algunas de estas investigaciones han mostrado resultados positivos y negativos como: Elsabagh *et al.* (2018), quienes demostraron que el suministro de *B. subtilis*  $3.25 \times 10^9$  CFU g<sup>-1</sup>, *B. licheniformis*  $3.50 \times 10^9$  CFU g<sup>-1</sup> y *B. pumilus*  $3.25 \times 10^9$  CFU g<sup>-1</sup>, contenidas en el probiótico comercial Sanolife PRO-F, expresaron una mejora significativa en el crecimiento y conversión alimenticia de *O. niloticus* vs. el grupo control, resultados contrarios a los reportado por Adeoye *et al.* (2016) para *O. niloticus* con el suministro del mismo probiótico comercial Sanolife PRO-F ( $3.25 \times 10^9$  CFU g<sup>-1</sup>, *B. licheniformis*  $3.50 \times 10^9$  CFU g<sup>-1</sup> y *B. pumilus*  $3.25 \times 10^9$  CFU g<sup>-1</sup>), sin efectos significativos en la ganancia de peso con respecto al grupo control.

Por otra parte, Sadat *et al.* (2018) reportan que la provisión de *B. licheniformis* y *B. subtilis*  $1 \times 10^8$  UFC g<sup>-1</sup>, contenidas en el probiótico comercial Protexin Aquatech, mejoraron estadísticamente la longitud total, ganancia de peso y tasa de crecimiento específica

de *L. Vannamei* vs. grupo control, resultados contrarios a los obtenidos por Far *et al.* (2009), quienes evaluaron el efecto del probiótico comercial BIO-GOLD (*L. acidophilus*, *L. plantarum* y *B. subtilis*  $1 \times 10^6$  UFC mL<sup>-1</sup>) y cuyos resultados no indicaron diferencias significativas en el crecimiento de *L. vannamei* con respecto al grupo control.

Aunado a lo anterior, y aun cuando los resultados han mostrado variación, se demuestra que las bacterias del género *Bacillus*, extraídas directamente de la flora intestinal del pez y contenidas en los probióticos comerciales, pueden ser eficientes en mejorar la tasa de crecimiento (Elsabagh *et al.*, 2018; Sadat *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2017; Adeoye *et al.*, 2016; Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2016; Hong-biao *et al.*, 2014; Wang, 2011 y Sun *et al.*, 2010), tal y como se presentó en esta investigación, donde el suministro de *B. subtilis*, *B. coagulans*  $1 \times 10^8$  UFC g<sup>-1</sup>, contenidas en el probiótico comercial PROBION-forte®, favorecieron estadísticamente el crecimiento de *P. scalare*.

Dicho resultado es justificado por Zuo *et al.* (2019), Mukherjee *et al.* (2019), Wang, (2010; 2011), Liu *et al.* (2017) y Lara-Flores *et al.* (2003), quienes han demostrado que las bacterias del género *Bacillus* forman una asociación con el huésped después de colonizar el intestino y, en consecuencia, mejoran la producción de ácidos orgánicos, activación de enzimas digestivas relevantes como proteasa, amilasa, lipasa y celulasa que mejoran la digestibilidad y asimilación de nutrientes, mismos que se ven reflejados en la tasa de crecimiento.

En la presente investigación se detectó que a mayor porcentaje de probiótico en la dieta, los peces presentaron mayor longitud respecto al control, en donde el mejor ID y la TCE fue con el suministro de 12.5% de probiótico, lo cual demuestra que hay una variación entre la concentración y/o dosificación del probiótico comercial, con respecto al crecimiento, como lo refieren Gatlin *et al.* (2006), quienes indican que si se administran cantidades adecuadas de probiótico, éste se verá reflejado en la tasa de crecimiento de los organismos. Considerando además a Günther y Jiménez-Montealegre (2004), quienes mencionan que la incorporación de bacterias benéficas en la alimentación de los organismos acuáticos mejorará la salud y/o el crecimiento, siendo esta última consecuencia del primero. Por tanto, el suplemento de probiótico comercial representa una alternativa viable y práctica para que el productor mantenga su cultivo e, hipotéticamente, acelere la talla comercial, además de ofertar un producto resistente a patógenos.

El factor de condición de Fulton permite determinar la condición individual del organismo (Froese, 2006; Sarkar *et al.*, 2013), sin embargo, los resultados de este experimento mostraron que el factor no se modificó estadísticamente, lo que sugiere que la relación peso-longitud de los peces se mantuvo uniforme entre tratamientos, lo que conlleva a realizar más análisis sobre la poca respuesta al crecimiento, aunque cabe resaltar

que *P. scalare* es un pez ornamental y de talla pequeña, en contraste con los resultados obtenidos en peces de consumo humano por los siguientes autores: Munkherjee *et al.*, 2019; Thurlow *et al.*, 2019; Elsabagh *et al.*, 2018; Meidong *et al.*, 2018; Sadat *et al.*, 2018 y Wang *et al.*, 2011.

No obstante, el bienestar y crecimiento de los peces depende directamente de su entorno, por lo que es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua; está reportado que la incorporación de bacterias probióticas favorecen significativamente la concentración de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos e incrementa las concentraciones de oxígeno disuelto (Hura *et al.*, 2018; Elsabagh *et al.*, 2018; Banerjee y Kumar, 2017; Nimrat *et al.*, 2012). En la presente investigación, los parámetros físico-químicos del agua se mantuvieron constantes, por una parte, gracias al recambio del agua que se realizaba y, por otra, se asume a la acción bacteriana del probiótico comercial (Gram *et al.*, 2001).

Sin duda, este resultado nos lleva a plantear que el objetivo de la piscicultura es mantener el cultivo, tener 100% de supervivencia y optimizar el crecimiento, por lo que se debe sugerir el aislamiento de bacterias probióticas directamente del tracto digestivo del organismo hospedero, ya que éstas son propias de la especie y están adaptadas a tolerar condiciones extremas en el tracto digestivo (Caipang *et al.*, 2010), por ello es conveniente que los productores e investigadores se vinculen para realizar estudios específicos.

## CONCLUSIONES

Los juveniles de *P. scalare* alimentados con 12.5% de probiótico PROBION-forte® mostraron mayor ID y TCE.

Los peces presentaron actividad vigorosa y color de piel brillante, lo que permite llevar a cabo estudios sobre estas variables, así como la evaluación de la diversidad de la microbiota gastrointestinal para fortalecer este tipo de estudios.

Promover en los productores el uso de probióticos comerciales debido a su forma práctica, sin olvidar que se podrían obtener mejores resultados con el aislado de bacterias probióticas nativas de la especie objeto, purificadas y caracterizadas previamente por pruebas microbiológicas, bioquímicas y moleculares.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adeoye, A. A. *et al.*, 2016, "Combined effects of exogenous enzymes and probiotic on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth, intestinal morphology and microbiome" en *Aquaculture*, 463: 61-70.
- Ali, A., 2000, *Probiotic in fish farming-Evaluation of a candidate bacterial mixture*, Sveriges Lantbruks Universitet, Umea, Senegal.
- Banerjee, G.; Ray, A. K., 2017, "The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries", en *Research in veterinary science* Vol. 115: 66-77.
- Bustamante, J. *et al.*, 2017, "Ciclo de vida y frecuencia del desove en el pez ángel (*Pterophyllum scalare* Lichtenstein, 1823) en cautiverio", en *Revista Digital E-BIOS*, 1(13): 16-21.
- Caipang, C. M. A.; Brinchmann, M. F.; Kiron, V., 2010, "Antagonistic activity of bacterial isolates from intestinal microbiota of Atlantic cod, *Gadus morhua*, and an investigation of their immunomodulatory capabilities", en *Aquaculture research*, 41(2): 249-256.
- Chun-Hung, L. *et al.*, 2012, "Dietary administration of the probiotic, *Bacillus subtilis* E20, enhances the growth, innate immune responses, and disease resistance of the grouper, *Epinephelus coioides*", en *Fish & Shellfish Immunology*, 33: 699-706.
- Crittenden, R. *et al.*, 2005, "Probiotic research in Australia, New Zealand and the Asia-Pacific region", en *Current Pharmaceutical Design*, 11(1): 37-53.
- Elsabagh, M. *et al.*, 2018, "Assessing the impact of *Bacillus* strains mixture probiotic on water quality, growth performance, blood profile and intestinal morphology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*", en *Aquaculture nutrition*, 24(6): 1613-1622.
- FAO (Organización Alimentaria y Agrícola); OMS (Organización Mundial de la Salud), 2006. Probióticos en los alimentos propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación, Roma Italia, Córdoba, Argentina.
- Far, H. Z. *et al.*, 2009, "Effect of *Bacillus subtilis* on the growth and survival rate of shrimp (*Litopenaeus vannamei*)", en *African Journal of Biotechnology*, 8(14): 3369-3376.
- Froeze, R., 2006, "Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations", en *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4): 241-253.
- Gatlin, D. *et al.*, 2006, "Potential Application of Prebiotics in Aquaculture", en Cruz, S. I. E. *et al.* (Eds.), pp. 371-376, *Avances en nutrición acuícola VIII*. VIII Simposio Internacional de Nutrición Acuícola.

- Gómez, R. *et al.*, 2007, "Probiotics as control agents in Aquaculture", en *Journal Ocean University of China*, 6: 76-79.
- Gram, L. *et al.*, 2001, "In vitro antagonism of the probiont *Pseudomonas fluorescens* strain AH2 against *Aeromonas salmonicida* does not confer protection of salmon against furunculosis", en *Aquaculture*, 199: 1-11.
- Günther, J.; Jiménez-Montealegre, R., 2004, "Efecto del probiótico *Bacillus subtilis* sobre el crecimiento y alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y langostino (*Macrobrachium rosenbergii*) en laboratorio", en *Revista de biología tropical*, 52(4): 937-943.
- Gutiérrez-Ramírez L. A. *et al.*, 2016, "Efecto de la inclusión en la dieta de probióticos microencapsulados sobre algunos parámetros zootécnicos en alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*)", en *Revista Salud Animal*, 38(2): 112-119.
- Hassaan, M. S.; Soltan, M. A., 2016, "Evaluation of essential oil of fennel and garlic separately or combined with *Bacillus licheniformis* on the growth, feeding behaviour, hemato-biochemical indices of *Oreochromis niloticus* (L.) fry", en *Journal of Aquaculture Research & Development*, 7: 422-429.
- Hong-biao, D. *et al.*, 2014, "Dietary supplementation with *Bacillus* can improve the growth and survival of the kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* in high-temperature environments", en *Aquaculture International*, 22: 607-617.
- Hura, M. U. D. *et al.*, 2018, "Effect of commercial probiotic *Bacillus megaterium* on water quality in composite culture of major carps", en *International Journal of Current Agricultural Sciences*, 8(1): 268-273.
- Jiménez-Rojas, J. E.; Alméciga-Díaz, P. A.; Herazo-Duarte, D. M., 2012, "Desempeño de juveniles del pez ángel *Pterophyllum scalare* alimentados con el oligoqueto *Enchytraeus buchholzi*", en *Universitas Scientiarum*, 7(1): 28-34.
- Kasiri, M.; Farahi, A.; Sudagar, M., 2011, "Effects of feeding frequency on growth performance and survival rate of angel fish, *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae)", en *Veterinary Research Forum*, 2(2): 97-102.
- Kuebutornye, F. K.; Abarike, E. D.; Lu, Y., 2019, "A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture", en *Fish & shellfish immunology*, 87: 820-828.
- Kumar, N. R. *et al.*, 2013, "Effect of dietary supplementation of *Bacillus licheniformis* on gut microbiota, growth and immune response in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879)", en *Aquaculture International*, 21(2): 387-403.
- Kumar, R. *et al.*, 2006, "Evaluation of *Bacillus subtilis* as a probiotic to Indian major carp *Labeo rohita* (Ham.)", en *Aquaculture Research*, 37(12): 1215-1221.
- Lara, F. M. (2011). "The use of probiotic in aquaculture: an overview", en *International Research Journal of Microbiology*, 2(12): 471-478.

- Landines, M. A.; Sanabria, A. I.; Daza, P. V., 2007, "Producción de peces ornamentales en Colombia", pp. 23-27, en *INCODER*, Bogotá Colombia.
- Liu, C. H. *et al.*, 2012, "Dietary administration of the probiotic, *Bacillus subtilis* E20, enhances the growth, innate immune responses, and disease resistance of the grouper, *Epinephelus coioides*", en *Fish & shellfish immunology*, 33(4): 699-706.
- Liu, H. *et al.*, 2017, "Dietary administration of *Bacillus subtilis* HAINUP40 enhances growth, digestive enzyme activities, innate immune responses and disease resistance of tilapia, *Oreochromis niloticus*", en *Fish & shellfish immunology*, 60: 326-333.
- Luna-Figueroa, J.; Vargas, Z. D. J.; Figueroa, T. J., 2010, "Alimento vivo como alternativa en la dieta de larvas y juveniles de *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein, 1823)", en *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(3): 63-72.
- Meidong, R. *et al.*, 2018, "Evaluation of probiotic *Bacillus aerius* B81e isolated from healthy hybrid catfish on growth, disease resistance and innate immunity of Pla-mong *Pangasius bocourti*", en *Fish & shellfish immunology*, 73: 1-10.
- Mohanta, K. N.; Subramanian, S.; Korikanthimath, V. S., 2013, "Effect of dietary protein and lipid levels on growth, nutrient utilization and whole-body composition of blue gourami, *Trichogaster trichopterus* fingerlings", en *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 97(1): 126-136.
- Moreno, M. *et al.*, 2000, "Alimentación de tilapia con raciones parciales de cáscaras de naranja tilapia feeding supplemented with orange peel alimentación de tilapia con raciones parciais de cáscaras de laranja", en *CYTA-Journal of Food*, 3(1): 29-33.
- Mukherjee, A.; Chandra, G.; Ghosh, K., 2019, "Single or conjoint application of autochthonous *Bacillus* strains as potential probiotics: Effects on growth, feed utilization, immunity and disease resistance in Rohu, *Labeo rohita* (Hamilton)", en *Aquaculture*, 512: 1-15.
- Nikoskelainen, S. *et al.*, 2003, "Immune enhancement in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by potential probiotic bacteria (*Lactobacillus rhamnosus*)", en *Fish & shellfish immunology*, 15(5): 443-452.
- Nimrat, S. *et al.*, 2012, "Potential *Bacillus* probiotics enhance bacterial numbers, water quality and growth during early development of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)", en *Veterinary microbiology*, 159(3-4): 443-450.
- Ortega-Salas, A. A.; Cortés, G.; Reyes-Bustamante, H., 2009, "Fecundity, growth, and survival of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae) under laboratory conditions", en *Revista de Biología Tropical*, 57(3): 741-747.
- Ouwehand, A. C. *et al.*, 2000, "Adhesion of inactivated probiotic strains to intestinal mucus", en *Letters in Applied Microbiology*, 31(1): 82-86.

- Ramos, M. A. *et al.*, 2015, "Growth, immune responses and intestinal morphology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) supplemented with commercial probiotics", en *Fish & shellfish immunology*, 45(1): 19-26.
- Reda, R. M.; Selim, K. M., 2015, "Evaluation of *Bacillus amyloliquefaciens* on the growth performance, intestinal morphology, hematology and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*", en *Aquaculture International*, 23(1): 203-217.
- Ringø, E. *et al.*, 2010, "Prebiotics in aquaculture: a review", en *Aquaculture Nutrition*, 16(2): 117-136.
- Sadat, H. M. N. *et al.*, 2018, "The effects of dietary probiotic Bacilli (*Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*) on growth performance, feed efficiency, body composition and immune parameters of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae", en *Aquaculture Research*, 49(5): 1926-1933.
- Sarkar, U. K. *et al.*, 2013, "Length weight relationship and condition factor of selected freshwater fish species found in river Ganga, Gomti and Rapti, India", en *Journal of Environmental Biology*, 34(5): 951-956.
- Sayes, Y. L.; Riquelme C. E., 2016, "Bacteria *Pseudoaltermonas* sp. con potencial probiótico para cultivos larvales de peces Camila", en *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(1): 76-84.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), 2015, Aumenta la demanda de peces ornamentales: CONAPESCA, en <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa//2012/Paginas/2015B162.aspx> (Consultado: 15/10/2019).
- Sun, Y. Z. *et al.*, 2010, Probiotic applications of two dominant gut *Bacillus* strains with antagonistic activity improved the growth performance and immune responses of grouper *Epinephelus coioides*, en *Fish & shellfish immunology*, 29(5): 803-809.
- Thurlow, C. M. *et al.*, 2019, "*Bacillus velezensis* AP193 exerts probiotic effects in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and reduces aquaculture pond eutrophication", en *Aquaculture*, 503: 347-356.
- Vazzoler, A. E. A. M. (1982). "Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes", en *Reprodução e crescimento*, en CNPq, Programa Nacional de Zoologia, Brasília, Vol. 2.
- Vine, N. G. *et al.*, 2004, "Competition for attachment of aquaculture candidate probiotic and pathogenic bacteria on fish intestinal mucus", en *Journal of fish diseases*, 27(6): 319-326.
- Wang, A. *et al.*, 2019, "Use of probiotics in aquaculture of China a review of the past decade", en *Fish & shellfish immunology*, 86: 734-755.



- Wang, Y., 2011, "Use of probiotics *Bacillus coagulans*, *Rhodopseudomonas palustris* and *Lactobacillus acidophilus* as growth promoters in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fingerlings", en *Aquaculture nutrition*, 17(2): 372-378.
- Wang, Y. B., 2007, "Effect of probiotics on growth performance and digestive enzyme activity of the shrimp *Penaeus vannamei*", en *Aquaculture*, 269(1-4): 259-264.
- Wootton, R. J., 1991, *Ecology of teleost fishes*, Chappman & Hall, Springer Netherlands.
- Yanbo, W.; Zirong, X., 2006, "Effect of probiotics for common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities", en *Animal feed science and technology*, 127(3-4): 283-292.
- Ziaei-Nejad, S. et al., 2006, "The effect of *Bacillus spp.* bacteria used as probiotics on digestive enzyme activity, survival and growth in the Indian white shrimp *Fenneropenaeus indicus*", en *Aquaculture*, 252(2-4): 516-524.
- Zuo, Z. H. et al., 2019, "Screening of intestinal probiotics and the effects of feeding probiotics on the growth, immune, digestive enzyme activity and intestinal flora of *Litopenaeus vannamei*", en *Fish & shellfish immunology*, 86: 60-168.



# Bioplaguicidas fúngicos y botánicos en el manejo sustentable de plagas en la agricultura moderna

Nelly Martínez Fiel,<sup>1</sup> Verónica Nava Rodríguez,<sup>2</sup> Antonio Flores Macías,<sup>2</sup> Silvia Rodríguez Navarro<sup>2</sup> y Juan Esteban Barranco Florido<sup>3</sup>

**Resumen.** El uso de hongos entomopatógenos y extractos de plantas son métodos de fitoprotección que permite la sostenibilidad de los agroecosistemas, ya que sus metabolitos tienen efectos insecticidas o insectistáticos (pueden inhibir desarrollo, conducta, fertilidad y fecundidad), y tienen baja residualidad en el ambiente. El conocimiento de las relaciones y procesos biológicos de los hongos y plantas con los insectos es fundamental, así como poder utilizar los metabolitos secundarios que producen de forma natural para la creación de bioinsecticidas que sean amigables con el medio ambiente. Por ello, es necesario seguir realizando estudios sobre las nuevas tecnologías de compartimentación y formulación que permitan un mejor control sobre la disponibilidad y la actividad de los bioplaguicidas. Para que el uso de los bioinsecticidas botánicos y fúngicos sea cada vez más frecuente, por parte de los agricultores, es necesario tomar en cuenta: la forma de producción más eficiente, la comercialización y la vida útil y de almacenamiento, la bioseguridad, el registro del producto desarrollado y la entrega de esta tecnología. Además, el producto tiene que ser eficaz con la plaga y debe producirse masivamente a bajos costos para que pueda competir con los productos existentes, y con ello obtener un beneficio aceptable por su inversión en investigación y desarrollo.

**Palabras clave:** bioplaguicidas, botánicos, fúngicos, sustentabilidad.

**Abstract.** The use of entomopathogenic fungi and botanical insecticides are methods of phytoprotection that allows the sustainability of agroecosystems, since the metabolites of both organisms have insecticidal or insectistatics effects (they can inhibit development, behavior, fertility and fe-

<sup>1</sup> Maestría en Ciencias Agropecuarias, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

<sup>2</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

<sup>3</sup> Departamento de Sistemas Biológicos, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: barranco@correo.xoc.uam.mx

*cundity); and it have low residuality in the environment. Knowledge of the biological relationships and processes of fungi and plants with insects is essential, and to be able to use the secondary metabolites they produce naturally, for the creation of bioinsecticides that are friendly to the environment. Further studies on new compartmentalisation and formulation technologies are therefore necessary to allow better control over the availability and activity of biopesticides. For the use of botanical and fungal bioinsecticides to become more and more frequent by farmers, it is necessary to take into account the most efficient form of production, marketing and shelf life and storage, biosafety, registration of the product developed and delivery of this technology. In addition, the product has to be effective with the pest and must be produced massively at low costs so that it can compete with existing products and thereby obtain an acceptable return on its investment in research and development.*

**Keyword:** *biopesticide, botanicals, fungal, sustainability.*

## INTRODUCCIÓN

A fin de satisfacer la demanda de alimentos y productos de los más de nueve mil millones de personas que habitarán en el año 2050, la agricultura tendrá que producir 60% más de alimentos a nivel mundial y 100% más en los países en desarrollo (FAO, 2015). Sin embargo, la producción no debe basarse en incrementar la superficie arable, sino mejorar la productividad agrícola (Dimetry, 2014). Esto puede lograrse reduciendo las pérdidas por plagas, enfermedades y malezas, mismas que se estiman en 38-42% de la producción potencial antes de la cosecha. Una plaga agrícola se define como cualquier organismo que genere una disminución en la calidad o el rendimiento de un cultivo, en una cantidad que esté por encima del umbral económico. Un umbral económico es el máximo nivel poblacional tolerable sin que la plaga ocasione daño económico, y dentro del cual se debe aplicar un método de control para prevenir que la población creciente logre alcanzar el nivel de daño económico (Badii, 2007).

Tras el descubrimiento del DDT, empezó la producción de insecticidas sintéticos con un futuro aparentemente prometedor; esto abrió la puerta a la búsqueda de nuevos compuestos de síntesis, como los organofosforados, los carbamatos y los piretroides (Pérez *et al.*, 2013). En la actualidad, los insecticidas sintéticos siguen desempeñando un papel importante en el desarrollo de la agricultura, aunque, al mismo tiempo, ha generado efectos negativos en la salud del ser humano. De acuerdo a la estimación de la OMS, cada año se producen 3 millones de casos de intoxicación por plaguicidas,

ocasionando más de 250 000 muertes, principalmente por el mal manejo y aplicación. Además, los insecticidas sintéticos han generado resistencia en las plagas, así como han provocado contaminación del agua, suelo y aire, reduciendo la biodiversidad (Pavela, 2016). Debido a los efectos negativos de los insecticidas convencionales, se ha impulsado la búsqueda de diferentes estrategias bajo un manejo integrado de plagas (MIP). El MIP es considerado, por Johnson y Hamilton (2009), como un enfoque que utiliza diversas técnicas de control para mantener o administrar a la población de las plagas en niveles inferiores a los que provocan un daño económico, al tiempo que se mantiene la calidad ambiental. Fischbein y Corley (2015) definen al MIP como un método que busca sostener las poblaciones de plagas por debajo del nivel de daño económico, basándose en la mortalidad natural ocasionada por los enemigos naturales; si es necesario, también con la aplicación de plaguicidas.

En la actualidad, se comercializan bioinsecticidas de origen vegetal y fúngico que presentan un perfil toxicológico diferente a los convencionales, haciéndolos aptos para programas de MIP (García-Gutiérrez y González-Maldonado, 2012; Ondarza-Beneitez, 2017). Los insecticidas botánicos pueden proporcionar un control eficiente de las plagas debido a los metabolitos secundarios (MS), que las plantas sintetizan como parte de su autodefensa (Miresmailli e Isman, 2014). Estos MS se obtienen con diversos métodos de extracción, de esta forma los extractos de plantas se han convertido en sustancias activas de los insecticidas botánicos (IBs) (Tiwari *et al.*, 2011). Se consideran IBs tradicionales a aquellos que no se distribuyen comercialmente y que son elaborados por los productores de acuerdo a su conocimiento tradicional y, en otro grupo, se encuentran los productos fabricados comercialmente (Pavela, 2016). Los insecticidas botánicos pueden tener diferentes modos de acción, actuando en el sistema nervioso, en el sistema endocrino o en el balance hídrico (Shivanandappa y Rajashekar, 2014). Otra alternativa son los hongos entomopatógenos (HE), los cuales son agentes de control biológico ampliamente disponibles; los géneros más utilizados son *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., *Isaria* spp. y *Lecanicillium* spp. Estos hongos tienen mecanismos de acción únicos que les permiten atravesar la cutícula e infectar al insecto hospedero. A través de la fermentación se han obtenido extractos que contienen los metabolitos y enzimas de los HE, con lo que se ha demostrado que tienen efectos insecticidas e insectistáticos en plagas agrícolas (Marín-Cruz *et al.*, 2017).

Hoy en día, el conocimiento empírico tradicional sobre el control de plagas resultó aparentemente desplazado por un conocimiento tecnológico, dando origen a la llamada agricultura moderna, no obstante, es fundamental que ambas prácticas sean llevadas a cabo con una conciencia agroecológica. Esta revisión presenta la importancia del uso

de los bioinsecticidas fúngicos y botánicos en la agricultura moderna, así como de los avances y barreras en su producción para la aplicación en campo.

## Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos (HE) han sido ampliamente utilizados en la agricultura. Faria y Wraight (2007) reconocieron 110 productos comerciales, de los cuales 40% son de *Beauveria bassiana* y 39% de *Metarhizium anisopliae*. El resto de los productos fueron de *B. brongniartii*, *Isaria fumosorosea*, *I. farinosus* y *Lecanicillium lecanii*. Los HE tienen la capacidad de infectar a diversas especies de insectos de los órdenes como Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Homoptera, Diptera, Hemiptera, Orthoptera, Siphonaptera, Thysanoptera, Neuroptera, Dermaptera y Embioptera (Zimmermann, 2007). Los HE no son tóxicos en mamíferos, aves y plantas, adicional a que son seguros para el medio ambiente y la salud humana (Ragavendran *et al.*, 2017). El proceso infectivo de los HE inicia cuando los conidios entran en contacto con la cutícula del insecto, adhiriéndose en la superficie cuticular mediante hidrofobinas (Zhang *et al.*, 2011). Posteriormente, el conidio germina y penetra a través de dos mecanismos: el primero, es la acción mecánica con el desarrollo y formación del haustorio; el segundo, es por la acción de enzimas hidrolíticas que degradan los componentes de la cutícula, estas enzimas son lipasas, proteasas y quitinasas (Butt *et al.*, 2016). Las lipasas degradan a los lípidos de la cutícula que son hidrocarburos de cadena larga, ácidos grasos y ésteres de cera (Ali *et al.*, 2014). Las proteasas que degradan la cutícula son serinas del tipo subtilisina Pr1 y tripsinas del tipo Pr2 y las quitinasas son de diversos tipos que hidrolizan la quitina hasta acetilglucosamina (Sánchez-Pérez *et al.*, 2014). Una vez superada la barrera estructural, los HE proliferan en el hemocel como blastosporas para evadir la respuesta inmune del insecto, llegando al tejido muscular, al cerebro, al intestino, a los túbulos de Malpighi (Ishii *et al.*, 2017). Además, el HE produce metabolitos secundarios (MS) que destruyen tejidos internos, causan malformaciones, provocan parálisis y lentitud neuromusculares (Marín-Cruz *et al.*, 2017), así como cambios conductuales y de alimentación, pérdida de peso y de fecundidad (Zimmermann, 2007), aunado a la inhibición del crecimiento de microorganismos competidores (Ortiz-Urquiza y Keyhani, 2016). Una vez que el huésped muere, el hongo emerge del cadáver y sus conidios se diseminan por factores bióticos y abióticos (Mascarin y Jaronski, 2016). Los productos comercializados de los HE se basan en el uso de conidios, sin embargo, se ha explorado el uso de metabolitos que los HE producen, como las enzimas y MS durante el proceso natural de patogénesis y que causan efectos insecticidas o insectistáticos (Marín-Cruz *et al.*, 2017).

## Insecticidas botánicos

Las plantas han desarrollado MS que son usados como bioinsecticidas en la agricultura (Chandler *et al.*, 2011); son moléculas orgánicas que no tienen una función directa en procesos fotosintéticos, de asimilación de nutrientes o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, sin embargo, tienen una relación ecológica con su ambiente. Los insecticidas botánicos actúan como repelentes, agentes disuasorios o antialimentarios, tóxicos, retardantes del crecimiento y atrayentes (Rajashekar *et al.*, 2012), y pueden ser aceites esenciales, alcaloides, flavonoides, glucósidos, ésteres y ácidos grasos. El más utilizado es la Nicotina, alcaloide obtenido del tabaco (*Nicotiana tabacum*), que es un tóxico similar al neurotransmisor acetilcolina y causa síntomas de envenenamiento similares a los organofosforados y carbamatos (El-Wakeil, 2013). Las piretrinas son insecticidas botánicos que se obtienen del *Chrysanthemum cinerariifolium* e interrumpen el proceso de intercambio de iones sodio y potasio en las células nerviosas de los insectos, provocando la transmisión anormal de los impulsos nerviosos. Además, los MS pueden tener efectos antialimentarios y pueden ser encontrados en los terpenoides (Isman, 2006). Los aceites esenciales también tienen este efecto debido a que son mezclas volátiles de hidrocarburos con una diversidad de grupos funcionales, y su actividad repelente se ha relacionado con la presencia de monoterpenos y sesquiterpenos; entre los géneros más utilizados están *Cymbopogon* spp., *Ocimum* spp. y *Eucalyptus* spp., los compuestos identificados en estas mezclas con alta actividad repelente incluyen a-pineno, limoneno, citronelol, alcanfor y timo (Nerio *et al.*, 2010).

## Producción biotecnológica de extractos botánicos y fúngicos

A través de los bioprocesos biotecnológicos se han obtenido enzimas, como los MS y conidios de los HE. La producción de los HE se basan en cultivos que pueden ser de tipo sólido o líquido. En los cultivos líquidos se utilizan sustratos solubles que generalmente producen blastosporas (Ravichandran y Vimala, 2012). El cultivo sólido se define como un proceso donde los microorganismos crecen en materiales sólidos sin la presencia de agua libre; este cultivo tiene como ventajas: una baja contaminación, facilita la dispersión del hongo, hay aprovechamiento uniforme del medio, reducidos costos de producción, la aireación se logra fácilmente, además los rendimientos son confiables y reproducibles (Renge *et al.*, 2012). En el cultivo sólido de HE se usan como sustratos: granos de cebada, trigo, maíz, sorgo, salvado de trigo y de arroz (Gortari y Hours, 2016). Sin embargo, pier-

den virulencia los HE con la utilización del caparazón de camarón que induce enzimas hidrolíticas y MS de *B. bassiana* y *Lecanicillium lecanii* por FS (Barranco-Florido *et al.*, 2009).

Los insecticidas botánicos también utilizan la biotecnología, por ejemplo, para la producción de los MS, el primer paso es la recolección del material vegetal a utilizar, pueden ser de plantas cultivadas *in situ* (selección de cultivos de plantas que producen un metabolito en particular), cultivos *in vitro* de células y tejidos, cultivos de células en suspensión (compuestos de agregados celulares indiferenciados con un diámetro de 40-200  $\mu\text{M}$ ) y cultivo de raíces transformadas (estas raíces transformadas pueden ser cortadas y cultivadas indefinidamente bajo condiciones estériles). Para incrementar la producción de MS, la primera estrategia es la selección y mejoramiento de la línea celular y la utilización de ingenierías genética y metabólica (Zabala *et al.*, 2009). Una vez que se tiene el material vegetal, se escoge el disolvente, polar o no polar, tomando en cuenta principalmente su polaridad, los tipos y la cantidad de fitoquímicos que se pretenden obtener, la velocidad de extracción, la facilidad de manipulación posterior de los extractos y la toxicidad. Posteriormente, se utilizan diferentes métodos de extracción, como Soxhlet, maceración, infusión y percolación (Tiwari *et al.*, 2011). En el Cuadro 1 se muestran laboratorios reproductores y comercializadores de México.

**Cuadro 1. Laboratorios Reproductores y Comercializadores de Agentes de Control Biológicos**

Mexico Green House S. de R.L.	Agroindustria Andrew y Willians de México S.A. de C.V.	CRIBIO, S.A. de C.V.
Centro de Producción e Investigación de Organismos Benéficos (CRIOB)	Centro Regional de Estudios y Reproducción de Organismos Benéficos	Biokrone, S.A. de C.V.
Laboratorio Reprodutor de Organismos Benéficos NOCON S.A. de C.V.	Proveedora de Servicio para el Campo, S.A. de C.V.	CESAVEG -Laboratorio de Reproducción de Organismos Benéficos
Tecnologías Naturales Internacional, S.A. de C.V.	Centro Reprodutor de HE. S.C.	Alta Tecnológica Agrotécnica SPR. de R.L. de C.V.
Laboratorio en Biotecnología Aplicada Agrícola S.A. de C.V.	Laboratorio Regional de Reproducción de Agentes de Control Biológico (DGSV-SENASICA)	Laboratorio de Control Biológico CESAVE-NL
Agrobiológicos del noroeste S.A. de C.V.	Biotecnología Agroindustrial S.A. de C.V.	Biotecnología Andreb S.A. de C.V.

## Aplicación de extractos botánicos y fúngicos en plagas agrícolas

Los extractos crudos (EC) de HE han sido evaluados en insectos, por ejemplo, Resquín-Romero y col. (2016) evaluaron los EC de *Metarhizium* sp. y *Beauveria* sp. en el segundo instar de *Spodoptera littoralis*, de esto se obtuvo que: con EC de *M. brunneum* hubo la mayor mortalidad, con 83.3% en 5.1 días, y en *B. bassiana* una mortalidad de 66.7%. En otro estudio, se evaluaron los EC de *Metarhizium* sp. y *Beauveria* sp. en *Spodoptera littoralis*; los resultados mostraron que con *M. anisopliae* hubo una mortalidad entre 82.5% y 100%, y con *B. bassiana* fue de 20 a 35% (Quesada-Moraga *et al.*, 2006). Sánchez-Pérez y col. (2016) inyectaron extractos enzimáticos, conidios y combinados en larvas de *Cyclocephala lunulata*, obteniendo 100% de mortalidad, y en adultos de *Metamasius spinolae* tuvieron una mortalidad de 29% con extractos enzimáticos, de 27% con conidios y de 31% con la combinación. En gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) se inyectaron los EC y se registró 100% de mortalidad, a los ocho días de aplicación (Chávez *et al.*, 2014). Marín-Cruz y col. (2017) aplicaron EC, enzimas, MS y conidios de *B. bassiana* en *Bradysia impatiens*; los resultados mostraron que, a los 20 días de evaluación, la mortalidad por MS fue de 47.5%, y en adultos tuvo un 65% de malformaciones, esto sugiere que los MS tienen un efecto más prolongado con malformaciones en adultos emergidos de pupas como efecto insectistático.

Otras aplicaciones de los EC en la agricultura han sido dirigidas no sólo a insectos plaga, sino con hongos fitopatógenos. Reddy y col. (2010) evaluaron los EC de *B. bassiana* bajo condiciones de laboratorio sobre diferentes hongos fitopatógenos; los resultados mostraron que *B. bassiana* tuvo poca actividad antifúngica en *Aspergillus niger*, y no tuvo ningún efecto en *Alternaria tenuissima*, sin embargo, hubo una buena respuesta de actividad antifúngica sobre *Alternaria solani*, *Glomerella cingulata*, *Rhizopus oryzae*, *Chrysosporium tropicum*, *Rhizoctonia solani*, *Myrethecium roridum* y *Fusarium oxysporum*. Sahab (2012) evaluó EC de *B. bassiana* en *Alternaria tenuis*, *Fusarium avenaceum* y *F. graminearum*, sin mostrar diferencia significativa; sin embargo, con los hongos: *Aspergillus parasiticus*, *F. moniliforme* y *F. oxysporum* hubo diferencia significativa, en *Verticillium dahliae* y *Phytophthora* spp, se obtuvo como resultado 100% de inhibición en el crecimiento micelial de esos hongos (Lozano-Tovar *et al.*, 2013). Esto nos indica que los HE tienen potencial para ser utilizados en el control de hongos fitopatógenos, pero es necesario investigar sobre en qué especies es posible inducir el efecto de inhibición, lo cual dependerá del HE, el cultivo agrícola y el hongo fitopatógeno.

Para el caso de la aplicación de los extractos botánicos en los insectos, éstos han tenido efectos sobre el sistema nervioso, el sistema digestivo y el sistema inmune (Acheuk y Doumandji-Mitiche, 2013), además pueden bloquear la síntesis y liberación de hor-

monas de la muda de la glándula protorácica, lo que lleva a una ecdisis incompleta en insectos inmaduros, y en insectos adultos conduce a la esterilidad (Isman, 2006). Con el uso de aceites esenciales de *Citrus aurantium*, *Eruca sativa*, *Zingiber officinale* y *Origanum majorana* contra *Rhyzopertha dominica* se han demostrado daños en el ADN debido a alteraciones en las enzimas acetilcolinesterasa, fosfatasa ácida, fosfatasa alcalina, lactato deshidrogenasa y fenol oxidasa (Qari *et al.*, 2017). Diversas plantas han sintetizado los MS que pueden afectar a los insectos, como se muestran en el Cuadro 2. El daño provocado por los MS a su hospedero depende de la parte de la planta de donde son obtenidos los MS, el método de extracción, el estadio del insecto, la dosis y forma de aplicación, así como de las condiciones medio ambientales en que son aplicados.

**Cuadro 2. Investigaciones del efecto insecticida de plantas sobre insectos plaga o vectores**

Planta	Insecto	Referencia
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Trips, mosca blanca	Pavela, 2016
<i>Ricinus communis</i>	<i>Culex tritaeniorhynchus</i> ; <i>Anopheles gambiae</i> ; <i>Spodoptera frugiperda</i> ; <i>Plutella xylostella</i>	Rampadarath y Puchooa, 2016; Torija-Torres <i>et al.</i> , 2014; Ramos-López <i>et al.</i> , 2010; Tounou <i>et al.</i> , 2011
<i>Artemisia herbaalba</i> ; <i>Eucalyptus camaldulensis</i> ;	<i>Myzus persicae</i>	Billal <i>et al.</i> , 2015
<i>Tamarindus indica</i> ; <i>Azadirachta indica</i> ; <i>Cucumis sativus</i> ; <i>Enhydra fluctuans</i> ; <i>Clerodendrum viscosum</i>	<i>Tribolium castaneum</i>	Amin <i>et al.</i> , 2012
<i>Daphne mucronata</i> ; <i>Tagetes minuta</i> ; <i>Calotropis procera</i> ; <i>Boenninghausenia albiflora</i> ; <i>Eucalyptus sideroxylon</i> ;	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Khan <i>et al.</i> , 2017

## Comercialización de los bioplaguicidas

Los bioinsecticidas fúngicos y botánicos tienen como ventaja la seguridad ambiental, porque son degradados fácil y rápidamente por mecanismos naturales como la temperatura, la luz y la accesibilidad al oxígeno atmosférico. Otra ventaja es que son mezclas de sustancias activas de acción sinérgica, que en las plantas es la combinación de MS, y en los HE son diversos depsipéptidos con diferentes actividades biológicas, lo que disminuye las posibilidades de generar resistencia de las plagas (Pavela, 2016). La acción sinérgica es fundamental, ya que con un solo componente acelera la resistencia de la plaga, como lo demostró Feng e Isman (1995) con dos líneas de *Myzus persicae*, tratadas con azadirachtin (aza) puro y un extracto de semilla de neem, después de 40 generaciones la línea aza-seleccionada había desarrollado una resistencia nueve veces mayor, mientras que en la otra línea no sucedió, lo que indica que una mezcla de componentes activos en el insecticida botánico reduce el desarrollo de resistencia en comparación con lo esperado con un solo ingrediente activo. La resistencia a los HE ha sido evaluada en *Galleria mellonella* con *B. bassiana* bajo presión selectiva; las larvas de la 25ª generación mostraron resistencia, estos resultados nos indican la importancia de incorporar los bioinsecticidas a los programas de manejo integrado de plagas, ya que éstos mitigan o retrasan el desarrollo de resistencia en las poblaciones de plagas (Khater, 2012).

Las principales barreras para su comercialización en:

**Material vegetal e inóculo.** Es necesario tomar en cuenta que las plantas con potencial insecticida deben ser cultivadas de forma convencional o *in vitro*, de manera que puedan proporcionar una cantidad suficiente de material de alta calidad. En la actualidad, pocas especies de plantas proporcionan rendimientos suficientemente altos, por ello, es necesario utilizar MS de plantas que se encuentran en las áreas agrícolas *in situ*, contribuyendo al equilibrio y sostenibilidad del agroecosistema, lo mismo sucede con los HE, ya que su virulencia y efectividad está dada por la relación en que se encuentra el HE y su hospedero dentro del ecosistema. Se debe considerar la cantidad del inoculante, la calidad y la capacidad de reducir el tiempo de infección de los conidios (Muñiz-Paredes *et al.*, 2017), respecto a los extractos crudos de HE, debe ser la cantidad suficiente que se aplica en el cultivo, semejante a los MS de las plantas.

**Regulación.** Un problema al que se enfrenta la comercialización de los bioinsecticidas es el proceso de registro de los productos desarrollados, el cual es costoso y prolongado (Grzywacz *et al.*, 2014). El registro de un producto es un proceso oficial donde se examinan los bioinsecticidas para determinar su toxicidad y riesgos para el humano y otros mamíferos (cáncer, efectos teratogénicos y mutagénicos), además de sus posibles efectos ambientales, información de su toxicidad oral y dérmica y su  $DL_{50}$  (García-Gutiérrez y González-Maldonado, 2012). Los países en desarrollo tienen poca capacidad de personal e infraestructura para realizar pruebas múltiples de bioinsecticidas y suelen adoptar criterios normativos de otros países como: la Agencia de Protección del Ambiente (EPA), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), el Departamento de Agricultura de los EUA (USDA) y la Unión Europea (Toriello y Mier 2007), esto ocasiona que los bioinsecticidas sólo sean utilizados en cultivos de mercados especializados, como la producción orgánica certificada. Además, en muchas jurisdicciones, no se hace distinción entre plaguicidas sintéticos y bioplaguicidas, por lo que el tiempo para que los bioplaguicidas lleguen al mercado se prolonga, aun cuando la mayoría de los componentes se caracterizan por una baja toxicidad y una persistencia ambiental mínima (El-Wakeil, 2013).

En México, Cofepris, Sagarpa y la Semarnat, en su conjunto, someten los productos a estrictas evaluaciones antes de emitir un registro sanitario, lo que garantiza su calidad y seguridad. En el proceso de registro de un bioplaguicida intervienen tres áreas: a) Agricultura, que evalúa la eficacia en que el producto controla la plaga para la cual fue diseñada, b) Ambiente, que evalúa el impacto que el producto pueda tener en el agua superficial y subterránea, en la fauna y en el aire, y c) Salud, que evalúa el riesgo que el producto pueda tener en el aplicador y en el consumidor de alimentos. Esta evaluación es un requisito fundamental para otorgar el permiso de venta o registro del producto. Respecto a los plaguicidas, Cofepris se encarga de autorizar el registro y expedir certificados de libre venta y exportación, así mismo otorgar sus permisos de importación, previo análisis, evaluación y dictamen de la información técnica, toxicológica y de seguridad correspondiente, de igual forma realizar las evaluaciones de riesgo correspondientes para establecer los límites máximos de residuos. Semarnat, por su parte, emite la opinión técnica respecto de la protección del ambiente en los casos que establece el Reglamento, previo análisis y evaluación de la información técnica y ecotoxicológica, además autoriza la importación y exportación. En el caso de Sagarpa, ésta emite una opinión técnica sobre la efectividad biológica y sobre los aspectos fitosanitarios de los límites máximos de residuos. En los casos de emergencias fitozoosanitarias, el Regla-

mento establece y determina los plaguicidas de uso agrícola y de uso pecuario que se podrán utilizar.

**La calidad.** La calidad de los bioplaguicidas debe garantizar su efecto y tiempo de acción, así como la estabilidad; por ejemplo, la composición de los aceites esenciales de las plantas que es afectada por la estación, la geografía, el tiempo de cosecha, el quimiotipo de las especies y los métodos de extracción, además los MS son propensos a daños oxidativos, transformaciones químicas o reacciones de polimerización. Con el paso del tiempo, pierden algunos de sus atributos (Miresmailli e Isman, 2014). En el caso de los HE, al utilizar conidios en su aplicación en campo, se requieren condiciones específicas de temperatura, humedad y baja radiación solar (Khan *et al.*, 2012). En un esfuerzo por aumentar la eficacia biológica y la calidad de los bioplaguicidas, se ha buscado el desarrollo de una formulación nanoencapsulada de propiedades de liberación lenta, permeabilidad y estabilidad, sin embargo, la falta de un análisis de costo-beneficio de los materiales de nanoencapsulación ha dificultado su aplicación, además de que se necesita mayor investigación del comportamiento de dichos materiales y su destino final en el medio ambiente para su comercialización (Nuruzzaman *et al.*, 2016).

En México, el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB) tiene la misión de desarrollar y establecer estrategias de control biológico para plagas reglamentadas, proporcionando tecnologías alternativas con el uso de organismos benéficos como agentes de control biológico. Sus áreas estratégicas son: el centro de insectos entomófagos, hongos entomopatógenos, colección de insectos entomófagos y colección de hongos entomopatógenos. Son usados en campañas fitosanitarias en el territorio nacional, por ejemplo, se ha reproducido masivamente el parasitoide *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) contra el psílido en limonaria *Murraya paniculata* (L.), en los estados de Colima y Yucatán.

**Bioplaguicidas fúngicos y botánicos en México.** La producción comercial de bioplaguicidas se realiza en 68 empresas, en ellas se reproducen masivamente 14 hongos entomopatógenos, principalmente *Beauveria bassiana* (Vuill.) Bálamo y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin; además, seis bacterias entomopatógenas, donde la principal es *B. thuringiensis* (García de León y Mier, 2010). Las empresas productoras de los bioplaguicidas en México se localizan en 25 entidades del país. Se presentan algunos de los bioplaguicidas fúngicos y botánicos registrados (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Bioplaguicidas fúngicos y botánicos registrados en México**

Registro	Ingrediente activo	Nombre comercial	Usos	Vigencia
RSCO-MEZC-FUNG-0103G-0231-009-18	Aceite de romero+aceite de clavo+aceite de tomillo	SPORATEC AG / SPORATEC	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, chile, tabaco	18/01/2023
RSCO-MEZC-INAC-0103G-0233-009-10	Aceite de romero+aceite de hierbabuena	ECOTEC AG / ECOTEC	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, chile, tabaco, papa, berenjena	18/01/2023
RSCO-INAC-0104S-X0298-064-20.0	Aceite esencial de neem	MIX PROTECTIVEE-N / AZAMIX-N / SUMMIX-N	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, tomate verde, chile, berenjena, papa, pimienta morrón, zarzamora, arándano, grosella, fresa, frambuesa kiwi, vid, calabacita, calabaza, chayote, pepino, melón, sandía, ajo, cebolla, cebollín, poro, espárrago	11/12/2023
RSCO-INAC-0103F-301-009-090	Aceite vegetal de semilla de soya	PROTECTOR 90 / PROTECTOR 90 PLUS / ASPHIX 90 / EPA 90 / NOTOX 90	Aplicación al follaje en los cultivos de: jitomate, cebollín, lima, limón, naranja, toronja, fresa, arándano, frambuesa, grosella, zarzamora, chile, berenjena, tomate verde, okra, papa, pimienta morrón, vid kiwi, aguacate	INDETERMINADA
RSCO-NEMA-0103Q-0232-009-70	Aceite de sésamo	SESAMIN EC / SESAMIN / NEOTEC SO / NEOTE SO	Aplicación en drench, a la base del tallo de la planta en los cultivos de: jitomate, chile, tabaco, papa, berenjena	16/01/2023
RSCO-MEZC-INAC-0104S-0104V-0302G-X0033-098-60.0	Extracto de neem+aceite esencial de canela+aceite esencial de naranja	ACCEEM / HASSASIN / CINNAFULL / ANTARES / ARTURUS	Aplicación foliar en los cultivos de: pepino melón, calabaza, calabacita, sandía, chayote, chilacayote, jitomate, berenjena, chile, chile bell, papa, tomate de cáscara y tabaco	13/09/2023
RSCO-MEZC-INAC-0103S-0645-009-21	Aceite extracto de canela+extracto de piretro	CINNACROP / DISACANEL / ALDHECROP / ALDHEGROW	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomates, chile, chile bell, berenjena, tomate de cáscara, papa	20/02/2025
RSCO-MEZC-FUNG-1803-X0254-375-90.00	Aceite de higuera+aceite extracto de canela + aceite extracto de neem+extracto de quitinasa + extracto de lipasa	EXTRACBACTER / AZACINNAGROW / BACTEROIL / MASTEROIL / BACTERFIN	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate y pimienta morrón	30/01/2025

Registro	Ingrediente activo	Nombre comercial	Usos	Vigencia
RSCO-MEZC-FUNG-1304-X0017-096-055	<i>Bacillus</i> spp.+aceite de clavo +aceite de neem	ROYA OUT / ROYA AWAY / YAVASTA-TRIXX / ROYA BROWN / ROYA STOP / ROYAL OUT	Aplicación foliar en el cultivo: cafeto	11/05/2022
RSCO-IN-AC-0195-0636-096-54	<i>Beauveria bassiana</i> Conidios + <i>Nomurea rileyi</i> conidios + aceite de neem + <i>Bacillus thuringiensis</i> esporas var. kurstaki y var. israelensis	LARBIOL 2X / BIO-HAMMER / LARVI-OUT / KILLARV / LARBIOL GM / LEP-IDOUT / ENTOMAXX 5X2 / BIOPESTMAX	Aplicación foliar en los cultivos de: brócoli, col, coliflor	21/01/2020
RSCO-MEZC-INAC-1101Q-0680-096-30.0	Aceite de orégano + aceite de menta+aceite de canela + aceite de clavo + aceite de soya + aceite de neem+aceite de pescado	AKABROWN / ACALLESS / AKAR OUT / KILLER AC / KILLMITE /AKAR GREEN	Aplicación foliar en el cultivo de: zarzamora, fresa, arándano	23/06/2020
RSCO-MEZC-NEMA-0910-X0008-096-29.0	Extracto de cempazúchitl + extracto de gobernadora + extracto de cáscara de nuez + aceites esenciales de origen vegetal + quitosan + materia orgánica	NEMAXXION XT PLUS / BIOFUMIGATE OR N	Aplicación a base de la planta del cultivo: cafeto	28/05/2023
RSCO-INAC-1108-X0297-052-90.0	Aceite vegetal de palma Africana	TARU OIL / TONALI OIL / TEMINI OIL / TLALI OIL / ATL OIL / UKUL OIL / ABAN OIL / KWEEN OIL	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, chile, tomate de cáscara, papa, tabaco y berenjena	13/12/2023
RSCO-INAC-FUNG-0808-X0354-350-6.00	Aceite de naranja	PREV-AM /OR-009-C	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, berenjena, chile, papa, pimiento morrón, tomate de cáscara, fresa, arándano, frambuesa, grosella, zarzamora, calabacita, calabaza, chayote, melón, sandía, pepino, aguacatero y vid.	28/10/2024
RSCO-IN-AC-0195-303-012-002	<i>Beauveria bassiana</i> CEPA GHA	NATURALIS L	Aplicación al follaje en los cultivos de: algodónero, cacahuate, caña de azúcar, frijol, jitomate, lechuga, melón, soya	INDETERMINADA
RSCO-IN-AC-0908-0285-002-5.7	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i> + <i>Beauveria bassiana</i>	TRI-SIN / TRI PLUS / TRI- TRON / CONTROL-TRI	Aplicación al follaje en los cultivos de: jitomate, chile, chile bell, tomate de cáscara, berenjena, papa	18/05/2023

Registro	Ingrediente activo	Nombre comercial	Usos	Vigencia
RSCO-MEZC- INAC-0903- 0195-X0052-002-16.0	<i>Metarhizium anisopliae</i> + <i>Beauveria bassiana</i>	BIOMABB	Aplicación foliar en el cultivo de: chile	11/02/2025
RSCO-MEZC- INAC-0903- 0195-X0050-0008-3.0	<i>Metarhizium anisopliae</i> + <i>Beauveria bassiana</i>	ANIQUM / MBgolf / METABASS / BM CONTROL	Aplicación foliar en cultivos de: brócoli, col, col de bruselas, coliflor, colinabo, colza, mostaza, lechuga, fresa, frambuesa, mora, zarzamora, cebolla, cebollín, chile, avena, centeno, maíz, sorgo, trigo, berenjena, jitomate, papa, tabaco, tomate de cáscara, calabaza, calabacita, chayote, melón, pepino y sandía	14/11/2024

## CONCLUSIONES

Los EC obtenidos por fermentación sólida muestran un gran potencial para el manejo agroecológico de plagas y enfermedades, así mismo es importante escalar su producción, tomando en cuenta aspectos como una adecuada vida útil y de almacenamiento, tecnología aplicativa eficiente con bioseguridad y registro del producto desarrollado. Además, es requerida su evaluación en campo con diferentes plagas, cultivos y condiciones ambientales. Las aplicaciones de extractos fúngicos y botánicos en diversos insectos plaga tienen diferentes efectos como insecticidas, inhibidores del crecimiento y antialimentarios; el uso de mezclas de los bioinsecticidas tienen efectos sinérgicos que reducen el desarrollo de resistencia de los insectos. Así mismo, es necesario seguir incursionando en los métodos de extracción económicamente viables, y que permitan tener un mejor control de los componentes, así como conocer los componentes y su modo de acción. Para que los bioinsecticidas puedan ser comercializados, competitivos y exitosamente, a gran escala en el futuro, se requiere de organizar las fuentes naturales de suministro, desarrollar controles de calidad, adoptar estrategias de estandarización y modificar las restricciones regulatorias. Finalmente, todos los que componen la cadena agroalimentaria deben tener confianza en los bioinsecticidas que, en un principio, no producen un efecto inmediato, sin embargo, tienen ventajas que los hacen, en un futuro, ser esenciales en el manejo integrado de plagas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acheuk, F.; Doumandji-Mitiche, B., 2013, "Insecticidal activity of alkaloids extract of *Perularia tomentosa* (Asclepiadaceae) against fifth instar larvae of *Locusta migratoria cinerascens* (Fabricius 1781) (Orthoptera: Acrididae)", en *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 3: 8-13.
- Ali, S., Ren, S.; Huang Z., 2014, "Extracellular lipase of an entomopathogenic fungus effecting larvae of a scale insect", en *Journal of Basic Microbiology*, 54: 1148-1159.
- Amin, R. *et al.*, 2012, "Evaluation of insecticidal activity of three plant extracts against adult *Tribolium castaneum* (Herbst)", en *Biologija*, 58: 37-41.
- Badii, M., Landeros, J.; Cerda, E., 2007, "Manejo Sustentable de Plagas o Manejo Integral de Plagas: Un apoyo al desarrollo sustentable", en *Cultura Científica y Tecnológica*, 23: 13-30.
- Barranco-Florido, J. E. *et al.*, 2009, "β-N Acetylglucosaminidase Production by *Lecanicillium* (*Verticillium*) *lecanii* ATCC 26854 by Solid-State Fermentation Utilizing Shrimp Shell", en *Interciencia*, 34: 356-360.
- Billal, NIA.; Naama, Frah; Imane, Azoui, 2015, "Insecticidal activity of three plants extracts against *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) and their phytochemical screening", en *Acta agriculturae Slovenica*, 105: 261-267.
- Butt, T. *et al.*, 2016, "Entomopathogenic fungi: new insights into host-pathogen interactions", en *Advances in Genetics*, 94: 307-364.
- Chandler, D. *et al.*, 2011, "The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366: 1987-1998.
- Chávez, I. E. *et al.*, 2014, "Actividad insecticida *in vitro* de extracto crudo de *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin sobre larvas de *Phyllophaga* spp. (Harris)", en *Revista de Protección Vegetal*, 29: 226-230.
- Dimetry, A. N., 2014, "Different plant families as bioresource for pesticides", en Dwijendra, S. (Eds), *Advances in Plant Biopesticides*, (pp. 1-20), New Delhi, India.
- El Wakeil, N., 2013, "Botanical Pesticides and Their Mode of Action", en *Gesunde Pflanzen*, 65 :125-149.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura), 2015, Agricultura sostenible. La agenda de desarrollo post-2015 y los objetivos del desarrollo del milenio, en <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/sustainable-agriculture/es/>, (Consultado: 20/09/2019).

- Faria, M.; Wraight, S., 2007, "Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types", en *Biological Control*, 43: 237-256.
- Feng, R.; Isman. M. B., 1995, "Selection for resistance to azadirachtin in the green peach aphid, *Myzus persicae*", en *Experientia*, 51: 831-833.
- Fischbein, D.; Corley, J. C., 2015, "Classical biological control of an invasive forest pest: a world perspective of the management of *Sirex noctilio* using the parasitoid *Ibaliia leucospoides* (Hymenoptera: Ibalidae)", en *Bulletin of Entomological Research*, 105: 1-12.
- García Gutiérrez, C.; González-Maldonado, M., 2012, "Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de Sinaloa", en *Ra Ximhai*, 8: 31-45.
- Gortari, M. C.; Hours, R. A., 2016, "*Purpureocillium lilacinum* LPSC # 876: producción de conidias en cultivos sobre sustratos sólidos y evaluación de su actividad sobre *Nacobbus aberrans* en plantas de tomate", en *Revista de la Facultad de Agronomía*, 115: 239-249.
- Grzywacz, D. et al., 2014. "The use of indigenous ecological resources for pest control in Africa", en *Food Security*, 6: 71-86.
- Ishii, M. et al., 2017, "Proboscis infection route of *Beauveria bassiana* triggers early death of *Anopheles* mosquito", *Scientific Reports*, 7: 1-10.
- Isman, M. B., 2006, "Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world", en *Annual Review of Entomology*, 51:45-66.
- Johnson, M. P.; Hamilton, G. C., 2009, "Invasive Species: Real Threats to the Homeland", en *American Entomologist* 55: 14.
- Khan, S. et al., 2017. "Insecticidal activity of plant-derived extracts against different economically important pest insects", en *Phytoparasitica*, 45: 113-124.
- Khan, S. et al., 2012, "Entomopathogenic Fungi as Microbial Biocontrol Agent", en *Molecular Plant Breeding*, 3: 63-79.
- Khater, H. F., 2012, "Prospects of botanical biopesticides in insect pest management", en *Pharmacology*, 3: 641-655.
- Lozano-Tovar, M. D. et al., 2013, "Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive", en *Biological Control*, 67: 409-420.
- Marín Cruz, V. et al., 2017. "Insectistatic and insecticide activity of *Beauveria bassiana* in *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae)", en *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23: 329-340.

- Mascarin, M.; Jaronski, T., 2016, "The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide", en *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32: 177-202.
- Miresmailli, S.; Isman, M., 2014, "Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions", en *Trends in plant science*, 19: 29-35.
- Muñiz-Paredes, F.; Hernández, M.; Loera, O., 2017, "Production of conidia by entomopathogenic fungi: from inoculants to final quality tests", en *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33: 57-66.
- Nerio, L. S.; Olivero-Verbel, J.; Stashenko, E., 2010, "Repellent activity of essential oils: A review." *Bioresource Technology*, 101: 372-378.
- Nuruzzaman, M. *et al.*, 2016, "Nanoencapsulation, Nano-guard for Pesticides: A New Window for Safe Application", en *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64:1447-1483.
- Ondarza Beneitez, M. A., 2017, "Biopesticidas: Tipos y aplicaciones en el control de plagas agrícolas", en *Revista Agroproductividad*, 10: 31-36.
- Ortiz Urquiza, A.; Keyhani, N. O., 2016, "Molecular Genetics of *Beauveria bassiana* Infection of Insects", en Brian Lovett, Raymond J. St. Leger (Ed), *Advances in Genetics*, Academic Press, 94: 165-249
- Pavela, R., 2016, "History, Presence and Perspective of Using Plant Extracts as Commercial Botanical Insecticides and Farm Products for Protection against Insects - a Review", en *Plant Protection Science*, 4: 229-241.
- Pérez, E. *et al.*, 2013, "La química verde como fuente de nuevos compuestos para el control de plagas agrícolas", en *Ciencia en Desarrollo*, 4: 83-91.
- Qari, S. H. *et al.*, 2017. "Assessment of DNA damage and biochemical responses in *Rhyzopertha dominica* exposed to some plant volatile oils", en *Journal of Pharmacology and Toxicology*, 12: 87-96.
- Quesada-Moraga, E.; Carrasco-Díaz, A.; Santiago-Álvarez, C., 2006, "Insecticidal and antifeedant activities of proteins secreted by entomopathogenic fungi against *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera:Noctuidae)", en *Journal of Applied Entomology*, 130: 442-452.
- Ragavendran, C.; Dubey, N.; Natarajan, D., 2017, "*Beauveria bassiana* (Clavicipitaceae): a potent fungal agent for controlling mosquito vectors of *Anopheles stephensi*, *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)", en *The Royal Society of Chemistry Advances*, 7: 3838-3851.
- Rajashekar, Y.; Bakthavatsalam, N.; Shivanandappa, T., 2012, "Botanicals as grain protectants", en *Psyche*, 2012: 1-13.

- Ramos López, M. A. *et al.*, 2010. "Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)", en *African Journal of Biotechnology*, 9: 1359-1365.
- Rampadarath, S.; Puchooa, D., 2016, "In vitro antimicrobial and larvicidal properties of wild *Ricinus communis* L. in Mauritius", en *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6: 100-107.
- Ravichandran, S.; Vimala, R., 2012, "Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study", en *International Journal of Science and Nature*, 3: 480-486.
- Reddy, P. N. *et al.*, 2010, "Antifungal Efficacy of Secondary Metabolites from Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana*", en *Journal of Pharmacy Research*, 3: 854-856.
- Renge, V. C.; Khedkar, S. V.; Nandurkar, N. R., 2012, "Enzyme Synthesis by Fermentation Method: A Review", en *Scientific Reviews and Chemical Communications*, 2: 585-590.
- Resquín-Romero, G.; Garrido-Jurado, I.; Quesada-Moraga, E., 2016, "Combined use of entomopathogenic fungi and their extracts for the control of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae)", en *Biological Control*, 92: 101-110.
- Sahab, A. F., 2012, "Antimicrobial efficacy of secondary metabolites of *Beauveria bassiana* against selected bacteria and phytopathogenic fungi", en *Journal of Applied Sciences Research*, 8: 1441-1444.
- Sánchez-Pérez, L. *et al.*, 2014, "Enzymes of Entomopathogenic Fungi, Advances and Insights", en *Advances in Enzyme Research*, 2: 65-76.
- Sánchez Pérez, L. *et al.*, 2016, "Assessment of *Beauveria bassiana* and their enzymatic extracts against *Metamasius spinolae* and *Cyclocephala lunulata* in Laboratory", *Advances in Enzyme Research*, 4: 98-112.
- Shivanandappa, T.; Rajashekar Y., 2014, "Mode of Action of Plant-Derived Natural Insecticides", en Singh D. (Eds.), *Advances in Plant Biopesticides* (pp. 323-345), Springer, New Delhi.
- Tiwari, P. *et al.*, 2011, "Phytochemical screening and Extraction: A Review", en *Internationale Pharmaceutica Scientia*, 1: 98-106.
- Toriello, C.; Mier, T., 2007, "Bioseguridad de Agentes de Control Biológico", en *Teoría y Aplicación del Control Biológico*, Sociedad Mexicana de Control Biológico, México, 303.
- Torija Torres, A.; Huerta-De la Peña, A.; Aragón-García, A., 2014, "Evaluación de dos extractos vegetales y el colorante phloxine-b, para la captura de la mosca del nogal de Castilla, en Puebla, México", en *Ra Ximhai*, 10: 9-22.

- Tounou, A. K. *et al.*, 2011, "Bioinsecticidal effects of plant extracts and oil emulsions of *Ricinus communis* L. (Malpighiales: Euphorbiaceae) on the diamondback, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory and semi-field conditions", en *Journal of Applied Biosciences*, 43: 2899-2914.
- Zabala, M. *et al.*, 2009. "Estrategias para incrementar la producción de metabolitos secundarios en cultivos de células vegetales", en *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 62:4881-4895.
- Zhang, S., Xia, Y.; Keyhani, N. O., 2011, "Contribution of the *gas1* gene of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*, encoding a putative glycosylphosphatidylinositol-anchored beta-1,3-glucanosyltransferase, to conidial thermotolerance and virulence", en *Applied and Environmental Microbiology*, 77: 2676- 2684.
- Zimmermann, G., 2007. "Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*", en *Biocontrol Science and Technology*, 17: 553-596.



# Technologies to assess and increase the innate immune response to infections in tilapia (*Oreochromis niloticus*). A review

Daniel Becerril Cortés,<sup>1</sup> María del Carmen Monroy Dosta,<sup>2</sup> Aida Hamdan Partida,<sup>3</sup> José Antonio Mata Sotres,<sup>4</sup> Jaime Bustos Martínez,<sup>3</sup> Leonor Rojas Huerta<sup>5</sup> y Kathia Cienfuegos Martínez.<sup>1</sup>

**Abstract.** *Within aquaculture, tilapia is one of the most important species, has great physical resistance, is fast growing and adaptable to various growing conditions, in addition to providing meat of excellent nutritional quality, good taste, low spine and affordable price. However, the intensification in its cultivation has implied the appearance of different infectious diseases. This review of the bibliography is aimed at widening the knowledge on the mechanisms associated to the innate immune response of tilapia (*Oreochromis niloticus*), emphasizing the use of diverse types of immunostimulants for disease control and the techniques used to validate the results of their application, because infectious processes are still the most important limitations in worldwide aquaculture production systems. The review is structured based on three main subjects: innate immunity in bony fish, applicable biotechnology to stimulate innate immunity, and genomic tools related with the assessment of the immune response in fish.*

**Keywords:** *tilapia, innate immunity, biotechnology, aquaculture, genomic tools.*

**Resumen.** *Dentro de la acuicultura, la tilapia es una de las especie más importantes, presenta gran resistencia física, es de crecimiento rápido y alta capacidad de adaptación a diversas condiciones de cultivo, además de brindar una carne de excelente calidad nutricional, buen sabor, poca espina y de precio accesible. No obstante, la intensificación en su cultivo ha implicado la aparición de*

<sup>1</sup> Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, e-mail: danielbecerrilc@gmail.com.

<sup>2</sup> Laboratorio de Análisis Químico de Alimento Vivo.

<sup>3</sup> Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular, 5Undergraduate Studies in Biology, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

<sup>4</sup> CONACYT, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, México.

*enfermedades infecciosas, mismas que son la mayor limitante en la acuicultura a nivel mundial. La presente revisión bibliográfica tiene como objetivo ampliar el conocimiento sobre los mecanismos asociados a la respuesta inmune innata de la tilapia, enfatizando el uso de inmunoestimulantes de diversos tipos para el control de enfermedades y las técnicas utilizadas para validar los resultados de su aplicación. La revisión se estructura con base a tres temas principales, inmunidad innata en peces óseos, biotecnología aplicable a la estimulación de la inmunidad innata y herramientas genómicas relacionadas con la evaluación de la respuesta inmune en peces.*

**Palabras clave:** *tilapia, inmunidad innata, biotecnología, acuicultura, herramientas genómicas.*

## INTRODUCTION

Aquaculture is undoubtedly one of the productive activities with the highest economic and social impact, as it is aimed at satisfying the increasing need of animal protein for human consumption through farming of tilapia, trout, catfish, blue-fin tuna, shrimp, among other species, with the consequent generation of economic revenues and employments, and contributing to improve the quality of life of the populations in different regions of the world (Cuéllar *et al.*, 2018). Tilapia is considered as the second most important species in aquaculture. It is a fish endemic to Africa, and is currently cultivated in the Americas, Southeast Asia, some countries of Europe, and even in Australia, because it has a high physical resistance, which allows it to develop in poorly oxygenated waters, tolerates large salinity ranges, grows fast, has a high reproductive capacity, and adapts well to living in captivity, as well as at high densities. Besides, it offers a high nutritional quality meat, of a good taste, scarce fish bones, and is accessible cost-wise (FAO, 2016). Notwithstanding, intensification of its production has led to the appearance of infectious diseases.

During the past decades, the traditional use of antibiotics was the main strategy to confront these diseases, this practice has been very much questioned due to the potential development of antibiotics-resistant bacteria, the presence of antibiotics in food, destruction of microbial populations in the aquatic environment, and the suppression of the immune system in aquatic animals (Ringø *et al.*, 2018).

In response, an impressive industry of additives has been generated, particularly of immunostimulants for the control and prevention of infectious diseases. According to the FAO, it is expected that the aquaculture additives market will reach more than 22-thousand millions of US-dollars at the end of 2020. Among these additives are immunostimulants (e.g., prebiotics, probiotics, and vaccines), which can be of various origins:

chemical agents, animal and vegetal extracts, fungi, bacteria, and yeasts, among others (Ruiz *et al.*, 2018).

Innate immunity is a very important defense mechanism in fishes, because they require mechanisms to protect themselves against a large variety of microorganisms immersed in their surrounding environment; consequently, this immunity is influenced by diverse factors both internal and external. Regarding internal factors (depending on the organism *per se*), these are age, nutritional status, stress, hormonal levels, and sexual maturation cycles (Chen *et al.*, 2019). Regarding the external ones (attributable to the environment), these are temperature, salinity, pH, oxygen level, organic load of pollutants in the water, and handling of the organisms (Malmstrøm *et al.*, 2016).

The discovery of the DNA at the end of the XX century and, later on, the studies on the mechanisms that code the genetic information have opened the possibility to understand many of the response processes to environmental alterations or additives in foods by means of molecular tools (e.g., genes expression). Within the molecular tools, the expression of genes allows identifying transcriptional changes as a response to environmental factors or stressors (Zaha *et al.*, 2014). Hence, an efficacious tool is available to identify the key factors for the survival of fishes from their initial developmental states and, with it, to establish the bases to design specific programs for the control of diseases in aquaculture (Plumb, 2018).

### **Immune system of bony fish**

In bony fish, the group to which tilapia belongs, immunity is achieved through two mechanisms: innate immunity and acquired immunity, the latter is considered poorly efficient, because being poikilothermic (cold blooded) organisms they depend strongly on the innate response, hence, the latter is considered uttermost important in fishes (Lizárraga *et al.*, 2018). It must be pointed out that other groups of fishes, like lampreys or hagfishes (Myxini) only present innate immunity.

Regarding differences between the immune system of fishes and mammals, one of the most striking is the lack of bone marrow and lymphatic ganglia. Traditionally, in bony fish, the thymus, kidney, and spleen are considered analogous to the bone marrow and lymphatic ganglia, and as the main organs of the immune system in fishes (Table 1). On the other side, recent research considers the microbiome (the complex formed by the microorganisms of a specific ecological niche) as a new organ/tissue, pointing out the diverse functions related to the immune response in which it participates (Barko *et*

*al.*, 2018; Sebastián and Sánchez, 2018). The microbiomes of fishes comprise a diverse community of protists, yeasts, bacteria, and archaea that inhabit the skin, gills, and the intestinal tract (GI) and are influenced by diverse factors like temperature of the water, seasonality, genetics of the fish per se, and the diet (Merrifield and Rodiles, 2015).

**Table 1. Main organs of the immune system of bony fish and their functions**

Organ	Function related to immunity	Ref
Thymus	Its principal function is the differentiation and selection of T lymphocytes.	1,2
Kidney	Contains many macrophages and B lymphocytes. Due to its large hematopoietic capacity, it is considered analogous to the bone marrow of mammals.	1,2
Spleen	Has similar function to the kidney with emphasis on antigen presentation and induction of the adaptive immune response.	1,2
Mucosa- or gut-associated lymphoid tissue (MALT and GALT)	Tissue considered with important defensive functions; constituted by different cell types associated with the immune response, like lymphocytes, plasmatic cells, macrophages, and some types of granulocytes.	1,2
Microbiome	Participates in endocrine signaling, prevention of colonization by pathogens, and regulation of the immune function.	3

Fernández *et al.*, 2002; Vega *et al.*, 2010, Barko *et al.*, 2018.

### Innate immunity

The innate response includes all the components present in the body before the appearance of the pathological agent, among these components are the skin as a physical barrier, the complement system, antimicrobial enzymes, interleukins, interferon, and cells like granulocytes, monocytes, macrophages, and non-specific cytotoxic cells (NCC) (Biller and Urbinati, 2014).

This defense mechanism is characterized by a series of germline-encoded pattern recognition receptors. These receptors recognize two types of molecular patterns: those associated to pathogens (PAMPs) like glycoproteins and lipopolysaccharides (LPS) of bacteria and fungi, bacterial DNA, viral RNA, and other molecules that are not normally on the surface of multicellular organisms; on the other hand, the molecular patterns of the host per se that result from the tissular damage due to an infection or trauma, necrotic changes, or programmed natural cell death, but which are not normally expressed on the cellular surface (Wangkahart *et al.*, 2019).

The innate response is constituted by cellular, humoral, and tissular components; this system acts as the first line of defense against a large variety of external agents, operating in a non-specific way against molecules of both antigenic and immunogenic origin. In inferior invertebrates like fishes, the innate response is highly relevant because the acquired or specific response acts relatively slow when facing an infection (Malmstrøm *et al.*, 2016) The skin, gills, and intestine act consistently as surface barriers against parasites, bacteria, and fungi; in fishes, the humoral innate response acts through several soluble components in body fluids, this includes the production of numerous antibacterial compounds (lysozyme), transferrin. Acute phase proteins (reactive C protein), cytokines like the tumor necrosis factor alpha (TNF $\alpha$ ), interleukins (IL), the inflammation process, the complement mainly activated through an alternate pathway, and phagocytosis (Chen *et al.*, 2019). At the cellular defense level, the nonspecific immune system of bony fishes includes mobile phagocytic cells (macrophages and neutrophils), granular eosinophilic cells that are less mobile and are found in mucosal sites like the intestine or gills (analogues to the mast cells in mammals), and the non-specific cytotoxic cells (NCC); the latter are usually described as granular lymphocytes and are equivalent to the natural killer (NK) cells in mammals. The innate response comprises three defense mechanisms: inflammation, phagocytosis, and non-specific cytotoxicity (González *et al.*; 2020)

Although the components of the innate response detect the invading pathogens at the infection site through their pattern recognition receptors, generating antimicrobial and pro-inflammatory responses that slow down the infection, they also start the process of pathogens presentation to the lymphocytes and help to activate the humoral and cellular responses that will try to resolve the infection (Owen *et al.*, 2014).

## Acquired immunity

In general terms, the acquired immunity is constituted by two elements: the humoral response (involves the production of antibodies), which is mediated by B lymphocytes, and the cellular response mediated by T lymphocytes (Yamaguchi *et al.*, 2019).

The acquired response is characterized by the immunological memory that leads to a faster and more pronounced immune response after a secondary exposure to the same antigen; this exposure leads to the stimulation of a small group of lymphocytes that recognizes that antigen through specific receptors inducing a change in the lymphocytic population, so that, in the next encounters with the antigen, the response will be higher and faster. In fishes, lymphocytes constitute the main population of leukocytes. B lymphocytes are responsible for the production of antibodies and they have been attributed phagocytic function both *in vivo* and *in vitro* in some studies in teleosts (Smith *et al.*, 2019). T lymphocytes are responsible for cellular death and the regulation of the immune response through the secretion of cytokines; both cellular populations are located in tissues, like the kidney, spleen, intestine, heart, and blood

Previously, in fishes, only the presence of the IgM immunoglobulin was known, however, more recent research has reported the presence of IgD and IgT also called IgZ (Yamaguchi *et al.*, 2019); these isotypes have not yet been characterized completely in terms of their function, it is known that IgD could probably functions as a receptor and it is located only in the cell membrane of B cells (Smith *et al.*, 2019). The IgT/IgZ is related to an anti-pathogenic function in the intestine and the mucosal tissue; IgT is expressed as a monomer in the serum of the rainbow trout and as a tetramer in the intestinal mucosa (Zhu *et al.*, 2013).

## Applicable technology to the stimulation and study of immunity in aquaculture

### *Immunostimulants*

As the name indicates, immunostimulants strengthen the immune response (mainly the non-specific) against infectious diseases. In general, they are defined as natural or synthetic compounds that modulate the immune system by increasing the host's resistance to diseases that, in most cases, are produced by pathogens (Zhang *et al.*, 2018). They can come from different sources, like chemical agents, bacterial components, animal extracts, vegetal extracts (polyphenols), nutritional factors, cytokines, yeasts, fungi with mycelia

(Ruiz *et al.*, 2018). Many of these immunostimulants are habitual nutrients of the diet, like polysaccharides, lipids, proteins, vitamins, and minerals that, administered at concentrations higher than the normal ones, will produce a stimulating effect (Carbone & Faggio, 2016). Table 2 depicts some examples of immunostimulants used in aquaculture.

The most common method to supply immunostimulants is through their addition in the diet, which offers many advantages as it results less costly and does not imply handling of the specimens (Vásquez *et al.*, 2012); however, their effect will depend on the receptors of the target cells that will recognize them as molecules of high potential risk and will unleash the corresponding defense routes (Peso *et al.*, 2012).

### **Modulators of the microbiota**

The intestinal microbiota is known as the population of microorganisms that inhabit the intestine (Castañeda, 2017). In terrestrial animals, the initial source of bacterial colonization is the maternal microbiota, whereas in aquatic animals it is determined by the contact with the surrounding water, this microbiota influences directly the health and disease vulnerability of fishes (Puello *et al.*, 2018). The GI microbiota plays a critical role in the development and maturation of the gut-associated lymphoid tissue (GALT), which, in turn, mediates a large variety of immune functions in fishes (Wang *et al.*, 2018).

Prebiotics and probiotic microorganisms stand out among the modulators of microbiota used in aquaculture. Prebiotics are ingredients that are not digestible by enzymes, acids and salts produced during the digestion process of animals, and they influence beneficially the intestinal microbiota (Song *et al.*, 2014; Carbone & Faggio, 2016). Some characteristics they must have are: a) to be a natural product, non-hydrolysable nor absorbable in the upper digestive tract, b) be able to modify the composition of the microbiota after being selectively fermented by one or several bacteria; c) be able to stimulate selectively the growth and/or activity of those bacteria that contribute to the health of the host (Castañeda, 2017). Table 2 presents some prebiotics used in aquaculture.

On the other side, the use of probiotic microorganisms is constantly increasing in aquaculture; for it, a definition more agreeable to aquaculture has been developed: “food supplement constituted by living microorganisms that must be supplied at adequate densities and media to produce beneficial effects in the host, modifying the microbial community associated with it or the cultivation environment, ensuring the use of the feed or increasing its nutritional value, improving the response to diseases or the quality of the environment, and all leading to a better growth and higher survival of the animals being cultivated” (Wang *et al.*, 2020; Dawood & Koshio 2016; Ramírez *et al.*, 2019).

**Table 2. Examples of immunostimulants used in aquaculture**

Immunostimulants and their origin	Action mode	Ref
$\beta$ -glucans, present in plants, algae, bacteria, fungi, and yeasts	Activate leukocytes, stimulate phagocytosis cytotoxic and antimicrobial activity, modulate production of pro-inflammatory mediators	1
Polyphenols, Green tea, onion extract, grape extract, corn silk	Reduce stress, improve the innate immune system of omnivore, herbivore, and carnivore fishes. Increase lysozyme activity and of the respiratory burst	2,3
Vitamins (C, E, A, D), carotenes, minerals (zinc, copper, manganese, cobalt, iodine, fluorine, among others)	Affect hematological parameters and of the non-specific immune response (phagocytic activity and respiratory burst).	4,5
Pathogens-Associated Molecular Patterns (PAMPs), lipopolysaccharides (LPS), capsule glycoproteins, and muramylpeptides.	They bind to receptors of cells like macrophages or eosinophilic granular cells, this binding activates intracellular signaling pathways and triggers the immune response.	6
Macroscopic fungi containing immunomodulating properties, like lectins, polysaccharides, terpenoid proteins, vitamins, and minerals.	Promote the proliferation of diverse leukocytes, secretion of cytokines, improve the phagocytic activity, production of ROS	7
Prebiotics: manooligosaccharides, fructooligosaccharides, inulin, galactooligosaccharides, polysaccharides.	Regulate the microbiota of the GI and stimulate the immune system.	8,9

Petit & Wiegertjes, 2016; Lizárraga *et al.*, 2018<sup>2</sup>; Catap *et al.*, 2015<sup>3</sup>; Guimarães *et al.*, 2014<sup>4</sup>; Rondón *et al.*, 2004<sup>5</sup>; Vásquez *et al.*, 2012<sup>6</sup>; Ruiz *et al.*, 2018<sup>7</sup>; Song *et al.*, 2014<sup>8</sup>; Tiengtam *et al.*, 2015<sup>9</sup>

Exposure of an organism to a bacterium unleashes a reaction from the immune system. Probiotic bacteria have been shown to have the capacity of stimulating the immune system of fishes (Ringø *et al.*, 2018; Dawood *et al.*, 2019), they have been classified as immunostimulants of biological origin when they increase the secretion of lysozyme (Song *et al.*, 2014), the production of antibodies, the activation of macrophages, and the proliferation of T cells (Panigrahi *et al.*, 2007).

Traditionally, the acid-lactic bacteria like *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus farciminis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus rhamnosus*, and bacteria of the *Bacillus* genus, like *Bacillus cereus var. toyoi*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, have dominated the production and administration in terrestrial organisms and have also been used widely in aquatic organisms (Dawood *et al.*, 2019). However, in aquaculture, a diverse range of microorganisms have been considered as potential probiotics, some of them are the *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Saccharomyces*, *Weisella*, *Vagococcus*, *Rhodococcus*, *Micrococcus*, *Leuconostoc*, *Vibrio*, *Carnobacterium*, *Shewanella*, *Aeromonas*, and *Leuconostoc* genera. Although some of these taxa have been associated with pathological events but only some specific strains and conditions; in addition, many of these have been isolated directly from the organism in cultivation (Ringø *et al.*, 2018; Tan *et al.*, 2019).

The mechanisms by which probiotics can modulate some aspects related with the innate immune response are the expression or pro-inflammatory genes and the expression of receptors in the mucosa that trigger the non-specific immune response (Petit & Wiegertjes, 2016), in addition, probiotics increase the levels of cells and proteins related to the non-specific immunity, produce antimicrobial substances, and present antagonism against pathogenic organisms (Kelly & Salinas 2017). Table 3 shows some of the strains used on *O. niloticus* and the effect produced on immune response parameters.

It is considered that the effect of probiotics is more efficient when these microorganisms have been isolated from a species to which they are to be administered, because there is a better adaptation of bacteria in the intestine (Ramos *et al.*, 2017). Although the use of probiotics in aquaculture is promising, more research is to be done to assess their effects as immunostimulants.

**Table 3. Some probiotic strains and their effect on the immunity of *O. niloticus***

Strain	Source	Effect	Ref
<i>Bacillus pumilus</i>	Farmed fish	Increases the phagocytic activity and levels of superoxide anions leading to a more effective resistance to streptococcosis.	1
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Not specific	Increases lysozyme secretion and improves neutrophils adherence, as well as resistance against pathogens	2
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Humans	Increases intraepithelial lymphocytes, acidophilic granulocytes, increases complement activity and TNF $\alpha$ e IL-1.	3
<i>Pediococcus acidilactici</i>	Laboratory	Increases serum levels of lysozyme and leukocytes; competitive effect in the intestine.	4
<i>Lactobacillus plantarum AH 78</i>	Marine environment	Induces a significant regulation of genes of cytokines, IL-4, IL-12, and IFN- $\gamma$	5

Srisapoome & Areechon, 2017<sup>1</sup>; Aly *et al.*, 2008<sup>2</sup>; Pirarat *et al.*, 2011<sup>3</sup>; Ferguson *et al.*, 2010<sup>4</sup>; Hamdam *et al.*, 2016<sup>5</sup>

### Vaccines in aquaculture

Vaccination is an alternative method to control diseases and stimulate the immune system; however, this method is more complex in aquatic animals as compared with other species due to the aquatic environment in which they develop (Kahieshesfandiari *et al.*, 2019).

Vaccines in aquaculture are generally supplied through an intraperitoneal (IP) injection, bath or immersion (BI), or administered orally. The IP is considered the most effective inoculation method, with the disadvantage that its administration is difficult and can damage the fish. In contrast, BI is less efficient and requires a large amount of vaccine to be used (Yao *et al.*, 2019). In the past, oral vaccines were considered poorly effective because of the degradation of the biological material in the gastric compartment of fishes, which gave rise to a short and deficient immune response. Currently, advances in biotechnology have allowed the development of oral vaccines that present several

benefits like diminished stress levels in fish, minimal handling of fish, a simple, easy, and adequate administration method for massive vaccination; besides, oral vaccination is applicable to fishes of all sizes, and is more profitable than other methods (Kahieshesfandiari *et al.*, 2019). Commercial vaccines for aquaculture are available for species of high economic interest like: salmon, trout, channel catfish, European sea bass and sea bream, tilapia, and the Atlantic cod, most of them are focused on fighting bacterial diseases and only a few are focused on viral diseases (Dadar *et al.*, 2017).

For tilapia, research has focused on the development of vaccines against *Aeromonas hydrophila* (Bactol *et al.*, 2018) and, mainly, against *Streptococcus agalactiae*, these vaccines can be of different types, attenuated, inactivated, or recombinant DNA (Liu *et al.*, 2016). Regarding the effects of vaccines on the innate immune response of tilapia, Zhu *et al.* (2017) supplied an oral vaccine of recombinant DNA against *S. agalactiae* and reported a significant increase in diverse components of the innate immune response, such as in total serum protein, activity of the superoxide dismutase, lysozyme concentration, concentration of the C3 complement in serum, serum antibacterial activity, and TNF $\alpha$ .

### Genomic tools to assess the presence of genes of the innate immune response

Genomic technologies were developed to study the structure, organization, expression, and function of the genome, to select and modify genes of interest to increase the benefits for diverse activities. The fast advance of these molecular tools and the gradual descent in their costs have allowed their use by sciences akin to aquaculture to learn more on the biological processes of the whole genome, about the genetic structure of populations, their local adaptation, evolution, and phylogenetics. They have also allowed the development of eco-toxicological studies, studies on the immunology of fishes, and the genetic expression in different tissues and developmental and/or sexual stages (Kumar and Kocour, 2017).

New generation sequencing (NGS) technologies have been diminishing not only in costs but also in the amount of sample required (DNA, RNA) and the running times, being second generation platforms like HiSeq, NextSeq, and MiSeq (Illumina, Inc.) some of the most utilized; currently NGS are in the third (e.g., Ion Torrent Proton/HeliScope) and fourth (e.g. MinION/GridION) generation of these platforms.

The use of genomic technologies in aquaculture started in the 1990s with the First Workshop on Genomics in Aquaculture, celebrated in Dartmouth, MA, USA. This workshop focused on the research of the genome of six species of commercial interest in the USA: salmonids, catfish, tilapia, striped bass, oysters, and shrimps (FAO, 2017).

Currently, worldwide efforts have allowed knowing the complete genome of at least a dozen of fish species. The relevance of knowing the sequence of the whole genome is that it allows identifying the genes responsible for the traits of higher yields, these genes can be used to program selective reproduction using assisted selection according to specific markers. Besides, the sequence of the whole genome also helps to know the genetic variation in the form of single nucleotide polymorphisms (SNPs), which is one of the fundamental reasons why individuals of the same species act differently from each other. This knowledge allows researchers to approach better the challenges related to the conservation of wild populations and warrant the sustainability of aquaculture operations (Kumar and Kocour, 2017).

Regarding the genome of tilapia, the complete sequence of this species was reported in 2011 by researchers of the University of Stirling, Scotland, however, the first publication to this respect was done by Brawand *et al.* (2014), later on, a re-sequencing was reported by Xia *et al.* (2015), being these works of utter relevance for the development of aquaculture activities with this species (McAndrew *et al.*, 2016).

Regarding studies on the immunity in fish, techniques like RNA-seq, DNA microarrays, real time PCR, expressed sequence tags (EST), transcriptome profile, and digital gene expression (DGE) allow performing analyses of differentially expressed genes and on the regulation of genetic expression leading to information on their functions. Likewise, these studies allow observing the abundance of genetic expression in the corresponding scenario (for example, environmental conditions, development stages, and treatments).

On the other side, NGS allow exploring not only the taxonomic composition (microbiota) of the microorganisms existing in the GI of fishes, but also of the whole set of microorganisms, their genes and metabolites present in the given ecological niche (microbiome), without having to collect, isolate, and cultivate living microorganisms from a microbial community to be observed in the laboratory. Isolation of the DNA in a sample provides information related with the diversity of the microorganisms that strive in that sample and reveals information related to their roles and biological functions (Martínez and Vargas 2017).

These microorganisms perform diverse and relevant functions, they perform an integral role in the health of the host by stimulating the development of the immunological system, helping to acquire nutrients, and eliminating opportunistic pathogens (Tarknecki *et al.*, 2017). Knowledge of the microbiome allows knowing, on one side, the complex relations host/microorganisms and, on the other side, opens the possibility of manipulating the microbiota aimed at diminishing the susceptibility to diseases (Barko *et al.*, 2018).

These tools have been useful to identify the genes implicated in the innate immune response of the tilapia (Zhang *et al.*, 2013; Quiang *et al.*, 2016; Ken *et al.*, 2017; Rather

*et al.*, 2018), and have allowed knowing the genes sensitive to diverse infections and identifying the innate defense genes that are expressed in both the absence and presence of a completely developed adaptive immune system. As shown in Table 4, the immunological functions of diverse tilapia genes have been described in different works.

**Table 4. Example of some tilapia genes related with the innate immune response**

Gene	Function	Ref
Tumor necrosis factor alpha ( <i>tnf-α</i> )	Related with the acute inflammatory response, promotes phagocytosis, respiratory burst, as well as recruitment and proliferation of leukocytes.	1
Interleukin 1-beta ( <i>il-1β</i> )	Plays a critical role in initiating the inflammatory response.	2
Interleukin 10 ( <i>il-10</i> )	Regulates expression of cytokines with pleiotropic effects in immunoregulation and inflammation.	3
Transforming growth factor-beta ( <i>tgf-β</i> )	Involved in the signaling pathway of the immune response; it plays an essential role in progression of inflammation, especially in wounds healing.	4
Cyclooxygenase-2 ( <i>cox-2</i> )	Moderator of inflammation through the generation of prostaglandins.	2, 5
Heat shock protein-70 kDa ( <i>hsp70</i> )	Is expressed when stress occurs in the face of infectious organisms or stress due to overcrowding.	6
Transferrin ( <i>trf</i> )	Associated with the immune system, this gene participates in iron metabolism, which is crucial for cellular proliferation.	7
Heat shock protein-90 kDa ( <i>hsp90</i> )	Participates in signal transduction, promotes expression of pro-inflammatory cytokines.	8
Innate immune signal transduction adaptor ( <i>myd88</i> )	Encodes a cytosolic adaptor protein that plays a central role in the innate and adaptive immune response, this protein regulates the activation of numerous pro-inflammatory genes.	9

Roca *et al.*, 2008<sup>1</sup>; Kayansamruaj *et al.*, 2014<sup>2</sup>; Standen *et al.*, 2016<sup>3</sup>; Zahran *et al.*, 2019<sup>4</sup>; Zhi *et al.*, 2018<sup>5</sup>; Qiang *et al.*, 2016<sup>6</sup>; Rather *et al.*, 2018<sup>7</sup>; Zhang *et al.*, 2013<sup>8</sup>; Ken *et al.*, 2017<sup>9</sup>

Zhang *et al.* (2013), by means of transcriptome profiling and DGE, identified the over-regulation of diverse genes related with the immune system of tilapia, pointing out the *mhc I* gene and thermal shock proteins genes (e.g., *hsp30*, *hsp90*), as well as pro-inflammatory cytokine genes and genes related to signal transduction (e.g., *il-1B*, *C-lectin*), before and after infection with *S. agalactiae*. Otherwise, Standen *et al.* (2013), using real time PCR, identified over-regulation of the *tnf α* gene in tilapias subjected to probiotics-enriched feed.

Identifying genes implicated in the immune response is relevant because it means important advances in search of resistant populations, in genetic improvement of reproducers, and fostering new preventive methods to improve the survival and health of fishes.

The NGS technologies produce a large amount of data and open new research areas and pose important challenges for the analysis and interpretation of data; hence, future technological efforts shall also concentrate in the development of better capacities in bioinformatics and computational genomics (Kumar and Kocour, 2017).

## CONCLUSIONS

The understanding of the structure and functions of the immune system of the tilapia is essential for the development of new technologies, products, and strategies that will allow fighting the diseases that affect farming of this species. Innate immunity provides bony fish with defense mechanisms that act rapidly and are effective against several types of pathogens, represents the first line of defense, and is responsible for the elimination of most of the infecting microorganisms. This contention response gives time for the development of adaptive immunity, the innate and acquired response are tightly related, together they make more efficient the immunological response of farmed organisms. Immunostimulants, prebiotics, and probiotics are increasingly used to strengthen the innate immune response and fight against diseases in tilapia farming. The use of molecular techniques in aquaculture has increased importantly in recent years, their use allows understanding in depth the biological processes and evaluating more specifically the response of organisms to the diverse treatments. The use of these tools will aid aquaculture to satisfy the increasing need of animal protein for human consumptions and to become consolidated as a productive activity of high economic and social impact.

## ACKNOWLEDGMENTS

The first author thanks the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACyT) for the financial support, in the form of a fellowship (Registry No. 763372), and the program of doctoral studies in Biological Sciences and Health of the *Universidad Autónoma Metropolitana*.

## BIBLIOGRAPHY

- Aly, S. *et al.*, 2008, Studies on *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*, as potential probiotics, on the immune response and resistance of *Tilapia nilotica* (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections, en *Fish & Shellfish Immunology*, 25(1-2): 128-136.
- Bactol, I. *et al.*, 2018, "Immune response of tilapia (*Oreochromis niloticus*) after vaccination with autoclave-killed, heat-killed, and formalin-killed whole cell *Aeromonas hydrophila* vaccines as possible serotype-independent vaccines", en *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(4): 846-850.
- Barko, P. *et al.*, 2018, "The gastrointestinal microbiome: a review", en *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 32(1): 9-25.
- Biller, J. y E. Urbinati, 2014, "Fish Immunology. The modification and manipulation of the innate immune system: Brazilian Studies", en *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(3): 1484-1506.
- Brawand, D. *et al.*, 2014, "The genomic substrate for adaptive radiation in African cichlid fish", en *Nature*, 513(7518): 375.
- Carbone, D., & C. Faggio, 2016, "Importance of probiotics in aquaculture as immunostimulants. Effects on immune system of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax*", en *Fish & Shellfish Immunology*, (54): 172-178.
- Castañeda, D., 2017, "Microbiota intestinal, probióticos y prebióticos", en *Enfermería Investiga: Investigación, Vinculación, Docencia y Gestión*, 2(4): 156-160.
- Catap, E. *et al.*, 2015, "Immunostimulatory and anti-oxidative properties of corn silk from *zea mays* L. in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*", en *International Journal of Fisheries and Aquaculture*. 7(3): 30-36.
- Chen, Y. & J. He, 2019, Effects of environmental stress on shrimp innate immunity and white spot syndrome virus infection, en *Fish & shellfish immunology*, 84, 744-755.
- Cuéllar, M. *et al.*, 2018, "Evolución normativa e institucional de la acuicultura en México", en *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(4): 541-564.

- Dadar, M. *et al.*, 2017, Advances in aquaculture vaccines against fish pathogens: global status and current trends, en *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25(3), 184-217.
- Dawood, M. & S. Koshio, 2016, Recent advances in the role of probiotics and prebiotics in carp aquaculture: a review, en *Aquaculture*, 454, 243-251.
- Dawood, M. *et al.*, 2019. Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: Probiotics, prebiotics and synbiotics scenarios, en *Fish & Shellfish Immunology*.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2016, El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016, Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos, *Rome*, 224 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2017, Genome-based Biotechnologies in Aquaculture, *Rome*, 72 pp
- Ferguson, R. *et al.*, 2010, "The effect of *Pediococcus acidilactici* on the gut microbiota and immune status of on-growing red tilapia (*Oreochromis niloticus*)" en *Journal of Applied Microbiology*, 109(3): 851-862.
- Fernández, A. *et al.*, 2002 "El sistema inmune de los teleósteos (II): Respuesta inmune inespecífica", en *Revista AquaTIC*, disponible en <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/download/178/167>. 17: [15 screens]. Reviewed: February 11, 2019.
- González, C *et al.*, 2020, Identification and Regulation of Interleukin-17 (IL-17) Family Ligands in the Teleost Fish European Sea Bass, en *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 2439.
- Guimarães, I. *et al.*, 2014, "Effects of dietary levels of vitamin A on growth, hematology, immune response and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to *Streptococcus iniae*", en *Animal Feed Science and Technology*, (188): 126-136.
- Hamdam, A. *et al.*, 2016, "Effects of a novel marine probiotic, *Lactobacillus plantarum* AH 78, on growth performance and immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)", en *Journal of Applied Microbiology*, 120(4): 1061-1073.
- Hu, X. *et al.*, 2017, "Effect of combined use of *Bacillus* and molasses on microbial communities in shrimp cultural enclosure systems" en *Aquaculture Research*, 48(6): 2691-2705.
- Kahieshesfandiari, M. *et al.*, 2019, "Streptococcosis in *Oreochromis sp.*: is feed-based biofilm vaccine of *Streptococcus agalactiae* effective?", en *Aquaculture International*, 27(3): 817-832.
- Kayansamruaj, P. *et al.*, 2014, "Increasing of temperature induces pathogenicity of *Streptococcus agalactiae* and the up-regulation of inflammatory related genes in infected Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)", en *Veterinary Microbiology*, 172(1-2): 265-271.

- Kelly, C., & I. Salinas, 2017, Under pressure: interactions between commensal microbiota and the teleost immune system, en *Frontiers in immunology*, 8, 559.
- Ken, C. et al., 2017, "Transcriptome analysis of hybrid tilapia (*Oreochromis spp.*) with *Streptococcus agalactiae* infection identifies Toll-like receptor pathway-mediated induction of NADPH oxidase complex and piscidins as primary immune-related responses", en *Fish & Shellfish Immunology*, (70): 106-120.
- Kumar, G. y M. Kocour, 2017, "Applications of next-generation sequencing in fisheries research: A review", en *Fisheries Research*, (186): 11-22.
- Liu, G. et al., 2016, "Development of *Streptococcus agalactiae* vaccines for tilapia", en *Diseases of aquatic organisms*, 122(2): 163-170.
- Lizárraga C. et al., 2018, "Propiedades antioxidantes e inmunoestimulantes de polifenoles en peces carnívoros de cultivo", en *CienciaUAT*, 12(2): 127-136.
- Malmstrøm, M et al., 2016, Evolution of the immune system influences speciation rates in teleost fishes, en *Nature Genetics*, 48(10): 1204.
- Martínez, M. y F. Vargas, 2017, "Microbial metagenomics in aquaculture: a potential tool for a deeper insight into the activity", en *Reviews in Aquaculture*, 9(1):42-56.
- McAndrew, B. et al., 2016, "Tilapia genomic studies" en MacKenzie, S. y M. Jentoft, (Eds.), *Genomics in aquaculture*, pp. 105-129, Academic Press, United Kingdom.
- Merrifield, D. y A. Rodiles, 2015, "The fish microbiome and its interactions with mucosal tissues" en Beck, B. y E. Peatman (Eds.), *Mucosal Health in Aquaculture*, pp. 273-295, Academic Press, United States of America.
- Owen, J. et al., 2014. *Kuby Inmunología*. 7ª McGRAW-HILL. México.
- Peso, P. et al., 2012, "Polisacáridos de algas como ingredientes funcionales en acuicultura marina: alginato, carragenato y ulvano", en *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(3): 373-381.
- Petit, J., & G. Wiegertjes, 2016, Long-lived effects of administering  $\beta$ -glucans: indications for trained immunity in fish, en *Developmental & Comparative Immunology*, 64, 93-102.
- Pirarat, N. et al., 2011, "Modulation of intestinal morphology and immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by *Lactobacillus rhamnosus* GG", en *Research in Veterinary Science*, 91(3): 92-97.
- Plumb, J. 2018, *Health maintenance of cultured fishes: principal microbial diseases*. CRC Press.
- Puello, L. et al., 2018, "Caracterización de la microbiota presente en el intestino de *Piaractus brachipomus* (Cachamablanca)", en *Revista de Salud Animal*, 40(2):1-10.
- Qiang, J. et al., 2016, "The changes in cortisol and expression of immune genes of GIFT tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) at different rearing densities under *Streptococcus iniae* infection", en *Aquaculture International*, 24(5): 1365-1378.

- Ramírez, J. *et al.*, 2019, "Desarrollo de Probióticos para Peces Dulceacuícolas, Manual Básico", Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Ramos, M. *et al.*, 2017, "Dietary probiotic supplementation improves growth and the intestinal morphology of Nile tilapia", en *Animal*, 11(8): 1259-1269.
- Rather, M. *et al.*, 2018, "Molecular and Cellular Toxicology of Nanomaterials with Related to Aquatic Organisms", en Saquib, Q. *et al.*, (Eds.), pp. 263-284 *Cellular and Molecular Toxicology of Nanoparticles*, Springer, Cham, Switzerland.
- Ringø, E. *et al.*, 2018, Lactic acid bacteria in finfish—An update. *Frontiers in microbiology*, 9, 1818.
- Roca, F. *et al.*, 2008, "Evolution of the inflammatory response in vertebrates: Fish TNF- $\alpha$  is a powerful activator of endothelial cells but hardly activates phagocytes", en *The Journal of Immunology*, 181(7): 5071-5081.
- Rondón, S., 2004, "Inmunoestimulantes en medicina veterinaria" en *Orinoquia*, 8(2): 56-69.
- Ruiz, L. *et al.*, 2018, "El uso de hongos macroscópicos como inmunoestimulantes en peces teleósteos: estado del arte al 2018", en *Hidrobiológica*, 28 (2): 209-217
- Sebastián, J y C. Sánchez, 2018, "De la flora intestinal al microbioma", en *Revista Española de Enfermedades Digestivas*, 110(1): 51-56.
- Sequeida, A. *et al.*, 2020, The Atlantic salmon interleukin 4/13 receptor family: Structure, tissue distribution and modulation of gene expression, en *Fish & Shellfish Immunology*, 98, 773-787.
- Smith, N. *et al.*, 2019, A comparison of the innate and adaptive immune systems in cartilaginous fish, ray-finned fish and lobe-finned fish, en *Frontiers in immunology*, 10, 2292.
- Song, S. *et al.*, 2014, "Prebiotics as immunostimulants in aquaculture: a review", en *Fish & Shellfish Immunology*, 40(1): 40-48.
- Srisapoome, P. y N. Areechon, 2017, "Efficacy of viable *Bacillus pumilus* isolated from farmed fish on immune responses and increased disease resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): laboratory and on-farm trials", en *Fish & Shellfish Immunology*, (67): 199-210.
- Standen, B. *et al.*, 2013, "Probiotic *Pediococcus acidilactici* modulates both localised intestinal-and peripheral-immunity in tilapia (*Oreochromis niloticus*)", en *Fish & Shellfish Immunology*, 35(4): 1097-1104.
- Standen, B. *et al.*, 2016, "Dietary administration of a commercial mixed-species probiotic improves growth performance and modulates the intestinal immunity of tilapia, *Oreochromis niloticus*", en *Fish & Shellfish Immunology*, (49): 427-435.

- Tan, H. *et al.*, 2019, Improvements in the growth performance, immunity, disease resistance, and gut microbiota by the probiotic *Rummeliibacillus stabekisii* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), en *Fish & shellfish immunology*, 92, 265-275.
- Tarnecki, A. *et al.*, 2017, "Fish intestinal microbiome: diversity and symbiosis unravelled by metagenomics", en *Journal of Applied Microbiology*, 123(1): 2-17.
- Tiengtam, N. *et al.*, 2015, "Effects of inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) as prebiotic ingredients in the diet of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)" en *Animal Feed Science and Technology*, 207, 120-129.
- Vásquez, M. *et al.*, 2012, "Imunoestimulantes em teleósteos: Probióticos, Beta-glucanas e LPS", en *Orinoquia*, 16(1): 46-62.
- Veja, M. *et al.*, 2010, *Inmunología Veterinaria, El Manual Moderno*, Mexico, D.F., pp.309-314.
- Wang, A. *et al.*, 2018, "Progress in fish gastrointestinal microbiota research", en *Reviews in Aquaculture*, 10(3): 626-640.
- Wang, C. *et al.*, 2020, Beneficial bacteria for aquaculture: nutrition, bacteriostasis and immunoregulation, en *Journal of applied microbiology*, 128(1): 28-40.
- Wangkahart, E. *et al.*, 2019, Studies on the use of flagellin as an immunostimulant and vaccine adjuvant in fish aquaculture, en *Frontiers in immunology*, 9, 3054.
- Yamaguchi, T. *et al.*, 2019, What could be the mechanisms of immunological memory in fish?, en *Fish & shellfish immunology*, 85, 3-8.
- Yao, Y. *et al.*, 2019, "Oral vaccination of tilapia against *Streptococcus agalactiae* using *Bacillus subtilis* spores expressing Sip", en *Fish & Shellfish Immunology*, (86): 999-1008.
- Zaha, A. *et al.*, 2014, *Biología Molecular Básica*.5ed. Artmed, Porto Alegre. Brasil.
- Zahran, E. *et al.*, 2019, "Dietary supplementation of *Chlorella vulgaris* ameliorates chronic sodium arsenite toxicity in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* as revealed by histopathological, biochemical and immune gene expression analysis", en *Fisheries Science*, 85(1): 199-215.
- Zhang, R. *et al.*, 2013, "Transcriptome profiling and digital gene expression analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) infected by *Streptococcus agalactiae*", en *Molecular biology reports*, 40(10): 5657-5668.
- Zhang, Z. *et al.*, 2019, Trained innate immunity of fish is a viable approach in larval aquaculture, en *Frontiers in immunology*, 10, 42.
- Zhi, T. *et al.*, 2018, "Expression of immune-related genes of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* after *Gyrodactylus cichlidarum* and *Cichlidogyrus sclerosus* infections demonstrating immunosuppression in coinfection", en *Fish & Shellfish Immunology*, (80): 397-404.

- Zhu, L. *et al.*, 2013, "Advances in research of fish immune-relevant genes: a comparative overview of innate and adaptive immunity in teleosts", en *Developmental & Comparative Immunology*, 39(1-2): 39-62.
- Zhu, L. *et al.*, 2017, "Effectivity of oral recombinant DNA vaccine against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia", en *Developmental & Comparative Immunology*, (77): 77-87.

# Los embriones de pez cebra *Danio rerio*: un modelo animal en la ecotoxicología

## Zebrafish embryos *Danio rerio*: an animal model in ecotoxicology

Román Espinosa Cervantes,<sup>1</sup> María Teresa Medrano Ramírez<sup>2</sup>  
y Adelfa del Carmen García Contreras<sup>1</sup>

**Resumen.** *Una gran cantidad de compuestos químicos (metales pesados, disruptores endocrinos, pesticidas y fármacos), relacionados con actividades antropogénicas causan daño al medio ambiente y a los organismos. Muchos de estos compuestos no son completamente eliminados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, incluso algunos de ellos son liberados al medio ambiente acuático natural, provocando problemas ecotoxicológicos y de salud pública. Actualmente, en la investigación toxicológica se ha usado al pez cebra en sus distintos estadios de desarrollo, desde embrión hasta adulto, para evaluar la toxicidad y la teratogenicidad potencial de estos compuestos químicos. Investigaciones recientes han propuesto que los embriones del pez cebra responden a los compuestos tóxicos como lo hacen los mamíferos, debido a su similitud en desarrollo embrionario, metabolismo, fisiología y vías de señalización. En el documento se hace una revisión sobre los efectos que provocan algunos compuestos tóxicos en embriones de peces cebra, como un modelo animal para estudios ecotoxicológicos.*

**Palabras clave:** *pez cebra, teratogénico, ecotoxicológico, metales pesados, fármacos.*

**Abstract.** Many chemical compounds (heavy metals, endocrine disruptors, pesticides, and drugs) related to anthropogenic activities cause damage to the environment and organisms. Many of these compounds are not eliminated in wastewater treatment plants and some of them are released into the natural aquatic environment, causing ecotoxicological and public health problems. Currently, toxicological research has used zebrafish at its various stages of development from embryo to adult to assess the toxicity and po-

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: espinosa@correo.xoc.uam.mx

<sup>2</sup> Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

tential teratogenicity of these chemical compounds. Recent research has proposed that zebrafish embryos responded to toxic compounds as mammals do because of their similarity in embryonic development, metabolism, physiology, and signaling pathways. The document reviews the effects of some toxic compounds in zebrafish embryos, as an animal model for ecotoxicological studies.

*Keywords:* zebrafish, teratogenic, ecotoxicological, heavy metals, drugs.

## INTRODUCCIÓN

Los avances en la medicina, la agricultura y la alimentación humana han permitido el uso de una gran diversidad de compuestos bioactivos (usados para desarrollar fármacos y suplementos dietéticos) y compuestos químicos, potencialmente útiles, sin embargo, estos compuestos tienen efectos secundarios y provocan contaminación ambiental (Dubińska-Magiera *et al.*, 2016). Se ha estimado que aproximadamente 1.6 millones de niños mueren al año en el mundo debido a la contaminación del agua (Hussain *et al.*, 2019). Los principales productos que se descargan al ambiente, suelo y agua, son metales pesados, pesticidas, hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA), hormonas, fármacos, nanomateriales y microorganismos, que son motivo de gran preocupación, en términos de su ecotoxicidad (Jaishankar *et al.*, 2014).

Actualmente en las ciencias ambientales, la ecotoxicología ha tomado gran relevancia y con el apoyo de otras áreas del conocimiento (biología, toxicología, química, microbiología, matemáticas, climatología, gestión pública y legislación ambiental), participan en dilucidar los riesgos derivados de las sustancias químicas contaminantes (aproximadamente 100 000), que son descargadas por la industria a los ambientes acuáticos en todo el mundo, algunas de las cuales no son eliminadas completamente en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Tchounwou *et al.*, 2012; Magyary, 2018).

Hoy día, se han buscado alternativas para estudiar las consecuencias de los compuestos bioactivos, químicos y patógenos. Una opción es el uso de embriones de pez cebra (*Danio rerio*), un modelo animal que principalmente se ha utilizado para el estudio de la biología del desarrollo y la genética molecular (Nagel, 2002; Espinosa *et al.*, 2019a), sin embargo, este tipo de peces tiene mucha importancia en estudios ecotoxicológicos y en la identificación de compuestos químicos (Bambino y Chu, 2017).

Los peces cebra poseen características excepcionales: su ciclo de desarrollo es corto, los embriones son transparentes lo que permite identificar alteraciones internas fácilmente. En este sentido, el *Danio rerio* es ideal para determinar el efecto de cualquier sustancia química en el retraso de su desarrollo, así mismo permite la identificación de los puntos finales de la toxicidad, desarrollo de las somitas, movimiento espontáneo de ojos, otolitos, frecuencia cardiaca, edema del saco vitelino, eclosión, longitud y deformación de la cola (Chen *et al.*, 2014; Pham, *et al.*, 2016), y con ello determinar la concentración letal media a la que un pez puede verse afectado por la exposición a un compuesto tóxico (Hill *et al.*, 2005).

En el documento se hace una revisión sobre los efectos que provocan algunos compuestos tóxicos en embriones de peces cebra, como un modelo animal para estudios ecotoxicológicos.

## METODOLOGÍA

Para elaborar el presente estudio, se recopilaron artículos científicos disponibles en las bases de datos: Medline, ScienceDirect, el buscador Google académico y la biblioteca digital de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (BidiUAM). La información seleccionada es de reciente publicación, y preferentemente con factor de impacto. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: embriones, peces cebra, ecotoxicidad, efectos teratogénicos, metales pesados, disruptores endocrinos, pesticidas, fármacos y pez cebra transgénico. Cada uno de los conceptos se combinó con operadores booleanos como “and”, “or” o “not” para la recuperación de la información. La revisión de literatura está basada en artículos de revisión y artículos originales relacionados con el tema.

### Características del modelo animal pez cebra (*Danio rerio*)

El pez cebra es un modelo utilizado para estudios en genética, embriología y biología celular. Recientemente, es usado para estudios preclínicos y aplicaciones toxicológicas debido a una amplia variedad de rasgos favorables: alta tasa de fecundidad (cientos de crías por semana), además los embriones se desarrollan fuera del cuerpo de la hembra y son transparentes. Por ello resulta ser un organismo ideal para estudiar el desarrollo embrionario de vertebrados sin necesidad de procedimientos invasivos (Nowik *et al.*, 2015; Schlegel y Gut, 2015).

Entre otros factores benéficos, el pez cebra es relativamente barato de albergar, requieren menos espacio, menor tiempo de dedicación del personal y menos regulaciones, comparadas con las de roedores; como ejemplo, podemos citar el enriquecimiento del hábitat (Dai *et al.*, 2014; Lantz-Mcpeak *et al.*, 2014; Simonetti *et al.*, 2015). Alrededor de 75% de los genes de enfermedades humanas conocidos tienen una coincidencia con el genoma del pez cebra, por tanto, este modelo puede utilizarse para estudiar una amplia gama de enfermedades humanas (Robles *et al.*, 2009; Sarasamma *et al.*, 2017). Además, el pez cebra tiene enzimas citocromo P450 y receptores nucleares similares a los mamíferos, por lo que esta especie ha sido utilizada como modelo para estudios de farmacología y toxicología (Zhang *et al.*, 2015).

Específicamente, en cuanto al uso de embriones de peces cebra en la investigación toxicológica, podemos mencionar que las hembras desovan un promedio de 300 embriones por semana y tienen un desarrollo embrionario muy rápido a las 24 hpf (horas después de la fertilización), pues ya están formados los órganos principales; a las 120 hpf alcanza la eclosión. Además, el proceso es similar a la embriogénesis de vertebrados superiores (incluidos los humanos). Su rápida tasa de desarrollo y su transparencia permiten la visualización de los daños provocados por algunos compuestos químicos durante la gastrulación y la organogénesis (Weigt *et al.*, 2011; Panzica-Kell *et al.*, 2015; García, 2018).

## Efectos teratogénicos en embriones

La teratogénesis es un proceso que interrumpe el desarrollo normal de un embrión o feto al causar anomalías estructurales y funcionales permanentes (Gilbert-Barnes, 2010). El desarrollo fetal es un proceso altamente organizado en el que se coordinan cambios complejos. Es aquí donde los cambios a nivel molecular y celular se integran para permitir la manifestación de un fenotipo particular en todo el organismo. Evaluar la toxicidad embriológica y teratogénica de compuestos químicos en el desarrollo fetal en peces es importante, ya que varias sustancias químicas afirman tener efectos teratogénicos (Akinola *et al.*, 2019).

Los peces cebra son ideales para la detección de agentes que interrumpen el desarrollo normal, la división celular que sigue a la fertilización, la morfogénesis extensa que ocurre durante la epibolia, el desarrollo del plan corporal y sus órganos clave. Los ojos, el cerebro, el corazón, la notocorda y la aleta son particularmente sensibles a la perturbación, mientras que la visualización de los efectos sobre las células pigmentadas, incluidos los

glóbulos rojos, así como la eclosión y la mortalidad general, es muy fácil de detectar (Haque y Ward, 2018). Algunos de los principales daños teratogénicos causados por sustancias químicas en los peces cebra se describen en la tabla 1 (Raghunath y Perumal, 2018).

Es importante mencionar que los embriones de pez cebra pueden activar sustancias proteratogénicas sin la adición de un sistema de activación metabólica exógena, como metabolitos formados por el metabolismo materno y/o embrionario (Yang *et al.*, 2009). No obstante, los compuestos parentales, denominados proteratógenos, se pueden bioactivar mediante oxidación a metabolitos reactivos, por ejemplo, electrófilos o intermediarios de los radicales libres. Las enzimas del citocromo P450 (CYP) representan a la familia de enzimas más importante involucrada en la oxidación de los xenobióticos (Weigt *et al.*, 2011).

**Tabla 1. Efectos teratogénicos y forma de evaluar**

Daño teratogénico	Descripción	Compuesto toxico
Edema pericárdico	Presencia de un volumen anormal de líquido en el espacio que rodea las cámaras del corazón.	Diclofenaco
Edema del saco vitelino	Acumulación de líquido dentro del saco vitelino.	2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD)
Malformación de la cola	Torcedura en la cola, punta de la cola levantada.	Organofosforados
Cola doblada	Cola flexionada lateral o dorsoventralmente.	Cobre
Escoliosis	Curvatura axial de izquierda a derecha o de derecha a izquierda. Defecto axioesquelético con > 10° de curvatura de la columna vertebral.	Zinc* y Cadmio
Lordosis	Excesiva curvatura axial hacia adentro.	Mercurio
Edema del ojo/cabeza	Acumulación de líquido alrededor del ojo o cerebro.	Cadmio
Cifosis	Curvatura axial ya sea de adelante hacia atrás (jorobado).	Zinc* y Cadmio
Espina bifida	Fusión incompleta de las paredes del tubo neural en la región posterior	Arsénico

\*Espinosa *et al.*, 2019b.

## Embriones de pez cebra como biosensor de metales pesados

Algunos metales pesados están presentes en el ambiente, como resultado de la rápida urbanización y las prácticas agrícolas e industriales. En los últimos años, las concentraciones de metales pesados han excedido los niveles normales en aguas superficiales y, por ende, en los alimentos (Malan *et al.*, 2015). Algunos metales como Fe, K, Cu, Zn, Ca y Mg son definidos como esenciales para el mantenimiento de la salud (para funciones enzimáticas y metabólicas), sin embargo, algunos llegan a ser tóxicos para los organismos acuáticos cuando están presentes en altas concentraciones (LeFauve y Connaughton, 2017). Los metales como Hg, Cd, Ni, Pb representan una seria amenaza para el medio ambiente acuático, incluso en pequeñas cantidades. Debido a su toxicidad, incluso a bajas concentraciones, la estabilidad química y la afinidad por acumularse en los organismos son considerados como contaminantes prioritarios (Jijie *et al.*, 2020).

Los métodos más comunes para identificar metales pesados en embriones de pez cebra son: la inhibición de la actividad enzimática y la expresión de genes provocada por los metales pesados (Dai *et al.*, 2014). Ling *et al.* (2011) reportan afectada la actividad de superóxido dismutasa, catalasa y acetilcolinesterasa por exposición a Cd y Zn. Estas tres enzimas pueden ser utilizadas como biosensores para aguas contaminadas; también es posible monitorear en tiempo real la absorción de iones de Hg inorgánico en células y embriones de pez cebra *in vivo*, usando espectroscopia y microscopia confocal, las cuales muestran que la saturación de la absorción de iones de Hg ocurre en 20-30 minutos en las células y el organismo (Bera *et al.*, 2014).

Además, con los avances de la ingeniería genética ya se ha desarrollado un pez cebra transgénico, capaz de detectar la presencia de metales en ambientes acuáticos. Los embriones de pez cebra transgénico *Tg (mt:egfp)* expresan una proteína fluorescente verde mejorada (EGFP) y un gen indicador fluorescente (DsRed2) en los vasos sanguíneos, corazón, hígado y sistema nervioso, mismo que, bajo el control de los promotores de la quinasa hepática fetal (*flk*) y el control transcripcional de un promotor de metalotioneína, son sensibles al metal (Pawar *et al.*, 2016; Han *et al.*, 2018). Esta línea transgénica se puede usar como biosensor para Zn y Cd acuático. También se ha reportado que el Cd perturba la absorción de  $Ca^{2+}$  debido a que reduce la actividad de  $Ca^{2+}$ -ATPasa (Liu *et al.*, 2016).

Los mecanismos de acción tóxica de los metales pesados están relacionados con alteraciones osmóticas síntesis y actividad enzimática que provocan daños durante 4 estadios del desarrollo embrionario de los peces cebra (Tabla 2) (Jeziarska *et al.*, 2009). Un mecanismo más, es el que sucede antes de la eclosión; los embriones tienen inhibido el desarrollo de la llamada glándula de la incubación, localizada en la cabeza que produce corionasa, una enzima fundamental para la eclosión (Kapur y Yadav, 1982).

Tabla 2. Efecto de los metales pesados durante el desarrollo embrionario de los peces

<p><i>I. Cigoto, escisión, blástula, gastrulación.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inflamación reducida (espacio reducido para el desarrollo)</li> <li>• Escisión anormal, malformación de la blástula</li> <li>• Malformaciones</li> <li>• Muerte</li> </ul>	<p>Sustancia toxica Cd, Zn, Hg</p>
<p><i>II Organogénesis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la tasa metabólica y desarrollo.</li> <li>• Organogénesis perturbada</li> <li>• Malformaciones corporales</li> <li>• Muerte (es menor durante esta etapa) y &gt;5% muere antes de la etapa de pigmentación ocular</li> </ul>	<p>Cu, Disruptores endocrinos, Fármacos</p>
<p><i>III. Eclosión</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo inhibido de la glándula de eclosión (corionasa).</li> <li>• Afectando la tasa de eclosión (prematura o tardía)</li> <li>• Malformaciones</li> <li>• Muerte de embriones no eclosionados</li> <li>• Muerte de larvas recién nacidas.</li> </ul> <p><i>IV. Consecuencias</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce la incubabilidad</li> <li>• Aumento de las anomalías de las larvas recién eclosionadas</li> <li>• Reducción del tamaño corporal de las larvas</li> <li>• Reducción de la supervivencia de las larvas</li> </ul>	<p>Antidepresivos, Cu, Zn y Diclofenaco.</p>

Jeziarska *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2019b.

### Disruptores endocrinos químicos

Los disruptores endocrinos químicos (DEQ) son agentes exógenos que afectan negativamente la salud humana y la vida silvestre, interfiriendo con la producción, liberación, transporte, metabolismo, unión, acción o eliminación de hormonas responsables del mantenimiento de la homeostasis y la regulación de los procesos de desarrollo (Kennedy *et al.*, 2013). Los DEQ afectan muchos aspectos de la transcripción y la regulación transcripcional que influyen en la expresión génica (Caballero-Gallardo *et al.*, 2016). En el humano provoca una disminución en la calidad del semen y el conteo de espermatozoides, malformación del tracto urogenital, cáncer de seno y testículo (Jana y Sen, 2012; Rachoñ, 2015). En los peces, la exposición ambiental a los estrógenos afecta el desarrollo sexual, lo

que resulta en la feminización de los machos y comportamiento sexual alterado (Söffker y Tyler, 2012).

Actualmente, la investigación internacional se ha enfocado a identificar la actividad disruptiva endocrina para evitar riesgos para la salud humana y ambiental asociados con la exposición. Vandenberg *et al.* (2016) utilizaron embriones de pez cebra transgénico (TG) sensible a los estrógenos, y Lee *et al.* (2012) identificaron tejidos diana para estrógenos ambientales, incluso a concentraciones ambientalmente relevantes. Además, los productos químicos disruptores endocrinos estrogénicos indujeron la expresión específica de la proteína verde fluorescente (PVF) en diferentes tejidos de embriones de peces cebra TG, como el hígado, el músculo esquelético, el prosencéfalo y los ganglios (Magyary, 2018).

**Tabla 3. Algunas moléculas identificadas como disruptores endocrinos químicos**

Aditivos plásticos	Bisfenol A
Plastificantes	Ftalatos
Químicos sintéticos (solventes o lubricantes)	Bifenilos policlorados, Bifenilos polibromados y dioxinas
Alquilfenoles)	En detergentes y tensioactivos
Pesticidas	Metoxicloro, clorpirifos, diclorodifeniltricloroetano (DDT), vinclozolin
Agentes farmacéuticos	Dietilstilo
Metales	Cu <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> y Zn <sup>2+</sup>
Fármacos	Diclofenaco
Agentes anabólicos	Análogos de vitamina D
Hongos	Micoestrógenos zearalenona
Fitoestrógenos	Isoflavonas, lignanos y xenobióticos.

Caballero-Gallardo, *et al.*, 2016.

La mayor parte de los efectos biológicos de los disruptores endocrinos es posible identificarlos a diferentes niveles en los peces (molecular, celular, órganos, organismos, población y ecosistema) (Ankley *et al.*, 2009). Actualmente, las tecnologías ómicas proporcionan valiosas herramientas para entender los cambios en el genoma (genómica, epigenómica), expresión génica global (transcriptómica), niveles de proteínas (proteómica) y moléculas bioquímicas involucradas en el metabolismo (metabolómica). Dichas herramientas son esenciales para evaluar las respuestas de los disruptores endocrinos en los organismos acuáticos (Caballero-Gallardo *et al.*, 2016).

Ortiz-Villanueva *et al.* (2018) reportan la identificación de algunos DEQ como bisfenol A (BPA), sulfonato de perfluorooctano (PFOS) y tributilestano (TBT) en embriones de peces cebra. La detección de dichos compuestos se realizó mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas de alta resolución (LC-HRMS). Estos autores identificaron los cambios en el metabolismo de glicerofosfolípidos, aminoácidos, purinas y ácidos 2-oxocarboxílicos. Ellos relacionaron los cambios en el metabolismo de los glicerofosfolípidos con las alteraciones en la absorción del saco vitelino, la principal fuente de nutrientes (incluidos los lípidos) para el embrión en desarrollo, y vincularon los marcadores moleculares con efectos fenotípicos adversos.

## Toxicidad de los pesticidas

Los pesticidas son una mezcla de sustancias que previenen algunas plagas (insectos, nematodos, ratas, ácaros y malas hierbas). A nivel mundial, el uso de pesticidas en la agricultura va en aumento, actualmente se aplican aproximadamente 2 kg/Ha (Tanguay, 2018).

El uso generalizado de pesticidas y su liberación incontrolada al medio ambiente (penetran al suelo, se filtran al medio acuático causando problemas reproductivos y efectos secundarios en el desarrollo de peces de agua dulce y salada) ha despertado el interés de los investigadores por conocer los efectos secundarios en organismos vivos (Aktar *et al.*, 2009; Guo *et al.*, 2014).

Además, los insecticidas actúan principalmente en la interrupción del mecanismo de señalización en el sistema nervioso central (SNC), inhibiendo así la función neurológica. Las investigaciones realizadas en diferentes grupos de pesticidas han demostrado un impacto negativo en la salud humana, en particular los efectos se han observado en los fetos y los niños (Silver *et al.*, 2015).

Algunos de los pesticidas más utilizados en la agricultura y la industria son los compuestos organofosforados (OF). La mayoría de los OF presentan toxicidad aguda en los embriones de peces cebra debido a la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa (AChE), que descompone la acetilcolina e inhibe la transmisión colinérgica (Strähle y Grabher, 2010; Ogungbemi *et al.*, 2019). Los OF producen neuropatía retardada, un trastorno neurodegenerativo crónico caracterizado por una axonopatía distal central-periférica de los axones sensoriomotores más largos; el curso clínico incluye parestesia en las extremidades distales, pérdida sensorial, ataxia, parálisis flácida y finalmente, parálisis espástica (Faria *et al.*, 2018).

La determinación de los daños que provocan los OF en los embriones de peces cebra es el porcentaje de eclosión, supervivencia, período de incubación y malformaciones físicas embrionarias (saco vitelino inmaduro y saco vitelino oscuro) (Ogungbemi *et al.*, 2019).

Los embriones de pez cebra son utilizados en la comprensión de los mecanismos que provocan los pesticidas en etapas tempranas del desarrollo en vertebrados. Estudios realizados en embriones de pez cebra que fueron incubados con el pesticida organofosforado clorpirifos (CPF) o su metabolito activo el oxón (CPFO), mostraron una inhibición del crecimiento axonal en motoneuronas primarias (MNP) y motoneuronas secundarias (MNS), con las consiguientes anomalías en la capacidad de natación (Muth-Köhne *et al.*, 2012; D'Amora y Giordani, 2018).

## Toxicidad de los fármacos

Los productos farmacéuticos utilizados en el tratamiento de humanos y animales son eliminados en la orina y las heces, posteriormente, son transportados hasta las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde no siempre se pueden eliminar o incluso se vierten directamente a las aguas superficiales, afectando el medio ambiente acuático. Estas sustancias químicas son compuestos biológicamente activos (esteroides antiinflamatorios, antibióticos, vitaminas y antiepilépticos) que tienen efectos adversos para la salud humana y los organismos acuáticos (Lomba *et al.*, 2019).

Los embriones de pez cebra son usados como un modelo de vertebrado para desarrollar bioensayos (en embriones y animales completos) para la detección preclínica de fármacos. Además de tener similitud en la respuesta tóxica, los efectos teratogénicos y la LD<sub>50</sub>, a la reportada en ratones. Los efectos de los fármacos en diferentes órganos, como corazón, cerebro, intestino, páncreas, cartílago, hígado y riñón, es apreciado en

los embriones de los peces cebra sin procesos complicados dada su transparencia. A continuación, se mencionan algunos tipos de fármacos de uso humano, como el SU5416 y flavopiridol, que tienen efectos antiangiogénicos, inhibiendo el crecimiento de vasos sanguíneos en embriones de pez cebra (Parng *et al.*, 2002).

También en los embriones de peces cebra se ha evaluado la toxicidad aguda de otros fármacos (difenhidramina, gentamicina, tobramicina, enalapril y lidocaína). En el caso de la gentamicina, los embriones de peces cebra fueron expuestos a altas concentraciones ( $100 \cdot 10^3$  mg/L), y los resultados obtenidos fueron que 54% de los embriones a las 24 hpf y 100% a las 48 hpe, presentaron necrosis, sin embargo, cuando se usaron concentraciones de  $770 \cdot 10^2$  mg/L a  $940 \cdot 10^1$  mg/L había embriones vivos de peces cebra a las 48 hpe (Lomba *et al.*, 2019).

Otra preocupación ambiental, es el uso de fármacos antiinflamatorios no esteroideos que alivian el dolor, pero que presentan toxicidad en el sistema endocrino, riñón y reproducción en peces teleósteos (Xia *et al.*, 2017). Por ello, se han determinado los efectos del ibuprofeno y diclofenaco en la eclosión y la capacidad motora de embriones de pez cebra a diferentes concentraciones 5, 50 y 500  $\mu$ g/L a partir de las 6 h hpf. Estos hallazgos indican que el ibuprofeno (-63%) y el diclofenaco (-58%) causaron una reducción significativa en la tasa de eclosión a las 55 hpf en la concentración más alta 500  $\mu$ g/L., además de afectar la locomoción embrionaria (Xia *et al.*, 2017). Se estima que el consumo mundial de diclofenaco (humano y veterinario) es de >1000 toneladas/año (Memmert *et al.*, 2013).

La toxicidad genética del diclofenaco en células en desarrollo es mediante su introducción, a través de la bicapa lipídica, para distribuirse en el citoplasma e interactuar con macromoléculas, e.g., ADN, y con ello, se altera la expresión de algunos genes como el Wnt3a, Wnt8a, Gata4 y Nkx2.5. La expresión de estos genes es esencial para el desarrollo del sistema cardiovascular y nervioso durante el desarrollo embrionario. Los daños en la expresión de estos genes podrían causar daños teratogénicos, como edema pericárdico y corporal, cuerpo más corto (longitud), curvatura del tronco y malformación de la cola (Chen *et al.*, 2014). Otro estudio demuestra la importancia de la expresión de estos genes como el Wnt8a, que es indispensable para la formación del eje dorsal en embriones de peces cebra (Hino *et al.*, 2018).

Otro tipo de fármaco que también tiene efectos perjudiciales son los antidepresivos, como el fluoxentina (FLX) y paroxetina (PAR) que son excretados principalmente en la orina (80% y 64%, respectivamente, de la dosis oral), mientras que la sertralina (SER) se elimina en 44%, tanto en orina y heces (44%). Por lo que las concentraciones reportadas de antidepresivos en ambientes acuáticos que fueron tratados fluctúan entre 1.1 a 1.4

$\mu\text{g/L}$  para PAR y FLX, respectivamente. Sin embargo, cuando son aguas residuales no tratadas, las concentraciones pueden alcanzar incluso hasta un  $39.73 \mu\text{g/L}$  para PAR y  $3.47 \mu\text{g/L}$  para FLX, causando daños en la organogénesis, malformaciones cardiovasculares y acelerando la eclosión de los peces (Panzica-Kelly *et al.*, 2015; Nowakowska *et al.*, 2020).

En el caso de los fármacos usados en la terapéutica Veterinaria, al igual que en el caso de humanos, los compuestos parenterales y los metabolitos son excretados en la orina y las heces, ambos vertidos al medio ambiente, en muchos de los casos sin conocer con exactitud el impacto de los metabolitos y los productos de la degradación de cada uno de los fármacos (Carlsson *et al.*, 2013).

En la industria ganadera se usan antibacteriales y antiparasitarios, esto incluye sulfonamidas, fluoroquinolonas, tetraciclinas, trimetoprima y avermectinas, que frecuentemente son encontradas en  $\text{ng/L}$  cuando se monitorean en el agua (Boxall, 2010). No obstante, los fármacos más persistentes son las ivermectinas, oxitetraciclinas, sulfadiazina y trimetoprima (Carlsson *et al.*, 2013). Los compuestos tóxicos que causan mayor toxicidad en los embriones de peces cebra son los antiparasitarios como la ivermectina que provoca malformaciones, temblores, movimientos reducidos y frecuencia cardíaca alterada, sin embargo, el uso de antibióticos, como trimetoprima y oxitetraciclina, tiene una potencia tóxica menor (Boxall, 2010).

## **El pez cebra transgénico como modelo de vigilancia ecotoxicológica**

En los últimos años, se ha empleado la tecnología transgénica en el pez cebra para diversas aplicaciones, incluida la generación de peces ornamentales fluorescentes y peces para biomonitoreo. Los peces transgénicos expresan proteínas fluorescentes (en órganos y tejidos de interés toxicológico) y son herramientas poderosas, porque permiten a los investigadores ver patrones de expresión de genes particulares en animales vivos (Carvan *et al.*, 2000). El pez cebra posee una fuerte ventaja sobre otros organismos vertebrados porque su cuerpo es transparente durante el desarrollo embrionario y juvenil (Satou *et al.*, 2013; Poon *et al.*, 2017)

Las líneas transgénicas de embriones de pez cebra muestran la expresión del gen de la luciferasa o proteína verde fluorescente (GFP), que es de gran utilidad para estudiar los efectos de la toxicidad de metales pesados (vía genes de las proteínas de choque térmico), estrés oxidativo (electrófilos), así como la detección de varios químicos orgánicos que actúan a través de las vías de respuesta del receptor de hidrocarburos de

arilo, tiroides, glucocorticoides y estrógenos (Lee *et al.*, 2015). La sensibilidad de estos modelos varía muy poco y es capaz de detectar exposiciones ambientalmente relevantes; sin embargo, el potencial de estos sistemas para el análisis de los efectos químicos en tiempo real y en múltiples objetivos en organismos intactos es considerable (Carvan *et al.*, 2000).

Actualmente, ya se han descubierto nuevas proteínas fluorescentes con diferentes espectros de emisión y excitación. Esto da la posibilidad de clasificar células activadas por fluorescencia para aislar poblaciones celulares del tejido marcado y determinar cambios en la respuesta celular (Botman *et al.*, 2019).

## CONCLUSIÓN

Los embriones de pez cebra son ampliamente utilizados como un modelo animal en diferentes campos (biología del desarrollo y la genética molecular), por sus características excepcionales: rápido crecimiento, alta fecundidad, adaptabilidad, ciclo reproductivo corto, embriones transparentes, capacidad para absorber, por la piel y las branquias, las moléculas diluidas en agua. Los estudios recientes han demostrado que la sensibilidad de los embriones de pez cebra, a diversas sustancias tóxicas, puede ayudar a controlar los contaminantes ambientales, mediante el monitoreo de metales pesados tóxicos, disruptores endocrinos, fármacos y pesticidas. Es una herramienta para detectar toxinas en ambientes acuáticos (biosensor) y para investigar los mecanismos de acción de las diversas toxinas ambientales y sus enfermedades, relacionadas con los humanos y los animales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akinola, A. A. *et al.*, 2019, "Phytochemical evaluation, Embryotoxicity and Teratogenic effects of Curcuma longa extract in Zebrafish (*Danio rerio*), en *Evid Based Complement Alternat Med*, 2019:1-10.
- Ankley, G. T. *et al.*, 2009, "Endocrine disrupting chemicals in fish: developing exposure indicators and predictive models of effects based on mechanism of action", en *Aquat. Toxicol*, 92(3):168-178.
- Aktar, M. W. *et al.*, 2009, "Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards", en *Interdisciplinary toxicology*, 2(1): 1-12.
- Bambino, K.; Chu, J., 2017, "Zebrafish in Toxicology and Environmental Health", en *Current topics in developmental biology*, 124: 331-367.
- Bera, K. *et al.*, 2014, "Development of a Rhodamine-Rhodanine-Based Fluorescent Mercury Sensor and Its Use to Monitor Real-Time Uptake and Distribution of Inorganic Mercury in Live Zebrafish Larvae", en *Analytical Chemistry*, 86(5): 2740-2746.
- Botman, D. *et al.* 2019, "In vivo characterization of fluorescent proteins in budding yeast", en *Sci Rep*, 9: 2234.
- Boxall, A. B. A., 2010, "Veterinary medicines and the environment. Comparative and Veterinary Pharmacology", en *Handbook of Experimental Pharmacology*, 199: 291-313.
- Caballero-Gallardo, K. *et al.*, 2016, "Toxicogenomics to Evaluate Endocrine Disrupting Effects of Environmental Chemicals Using the Zebrafish Model", en *Current genomics*, 17(6): 515-527.
- Carlsson, G. *et al.*, 2013, "Toxicity of 15 veterinary pharmaceuticals in zebrafish (*Danio rerio*) embryos", en *Aquatic Toxicology*, 126: 30-41.
- Carvan, M. J. *et al.*, 2000, "Transgenic zebrafish as sentinels for aquatic pollution", en *Annals of the New York Academy of Sciences*, 919: 133-147.
- Chen, J. B. *et al.*, 2014, "Developmental toxicity of diclofenac and elucidation of gene regulation in zebrafish (*Danio rerio*)", en *Scientific*, 4: 4841.
- Dai *et al.*, 2014, "Zebrafish as a model system to study toxicology", en *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(1): 11-17.
- D'Amora, M.; Giordani, S., 2018, "Utility of Zebrafish as a Model for Screening Developmental Neurotoxicity", en *Frontiers in Neuroscience*, 12: 1-6.
- Dubińska-Magiera, M. *et al.*, 2016, "Zebrafish: A Model for the Study of Toxicants Affecting Muscle Development and Function", en *International Journal of Molecular Sciences*, 17(11): 1-22.

- Espinosa, C. R. *et al.*, 2019a, "El pez cebra (*Danio rerio*) como modelo para el estudio del metabolismo y la obesidad", en *Sociedades Rurales Producción y Medio Ambiente*, 19(37): 165-179.
- Espinosa, C. R. *et al.*, 2019b, "Estudio preliminar del efecto teratogénico del ZnO en embriones de peces cebra usando un antioxidante (resveratrol)", 2° Congreso de Ecología Aplicada, 28-29 de octubre de 2019, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.
- Faria, M. *et al.*, 2018, "Analysis of the neurotoxic effects of neuropathic organophosphorus compounds in adult zebrafish", en *Sci Rep*, 8(4844): 1-14.
- García, K. Y., 2018, "Efecto del neonicotinoide - tiametoxam en el desarrollo embrionario del pez cebra (*Danio rerio*)", en *Rev. Toxicol*, 35: 22-27.
- Gilbert-Barness E., 2010, "Teratogenic causes of malformations", en *Ann Clin Lab Sci*, 40(2): 99-114.
- Guo, H. *et al.*, 2014, "Prenatal exposure to organochlorine pesticides and infant birth weight in China", en *Chemosphere*, 110: 1-7.
- Han, H. *et al.*, 2018, "Transgenic zebrafish model for quantification and visualization of tissue toxicity caused by alloying elements in newly developed biodegradable metal", en *Sci Rep*, 8: 13818.
- Haque, E.; Ward, A. C., 2018, "Zebrafish as a Model to Evaluate Nanoparticle Toxicity", en *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 8(7): 561.
- Hill, A. J. *et al.*, 2005, "Zebrafish as a Model Vertebrate for Investigating Chemical Toxicity", en *Toxicological Sciences*, 86(1): 6-19.
- Hino, H. *et al.*, 2018, "Roles of maternal wnt8a transcripts in axis formation in zebrafish", en *Developmental Biology*, 434(1): 96-107.
- Hussain, S. *et al.*, 2019, "Health Risk Assessment of Different Heavy Metals Dissolved in Drinking Water", en *International journal of environmental research and public health*, 16(10): 1737.
- Jaishankar, M. *et al.*, 2014, "Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals", en *Interdiscip Toxicology*, 4(7): 60-72.
- Jana, K; Sen, P. C., 2012, "Environmental toxicants induced male reproductive disorders: identification and mechanism of action", pp. 473-518, en Acree, B., *Toxicity and drug testing*, TechOpen.
- Jezierska, B. *et al.*, 2009, "The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review)", en *Fish Physiol Biochem*, 35: 625-640.

- Jijie, R. *et al.*, 2020, "Antagonistic effects in zebrafish (*Danio rerio*) behavior and oxidative stress induced by toxic metals and deltamethrin acute exposure", en *Science of The Total Environment*, 698: 1-12.
- Kapur, K.; Yadav, N. A., 1982, "The effects of certain heavy metal salts on the development of eggs in common carp, *Cyprinus carpio* var. *communis*", en *Acta Hydrochim Hydrobiol*, 10: 517-522.
- Kennedy, C. J. *et al.*, 2013, "Estrogenic Endocrine Disrupting Chemicals in Fish", en *Fish Physiology*, 33: 257-307.
- Lantz-McPeak, S. *et al.*, 2014, "Developmental toxicity assay using high content screening of zebrafish embryos", en *J. Appl. Toxicol*, 35; pages 261– 272.
- Lee, O. *et al.*, 2012, "Biosensor zebrafish provide new insights into potential health effects of environmental estrogens", en *Environ Health Perspect*, 120(7): 990-996.
- Lee O. *et al.*, 2015, "Transgenic fish systems and their application in ecotoxicology", en *Critical Reviews in Toxicology*, 45(2): 124-141.
- LeFauve, M. K.; Connaughton, V. P., 2017, "Developmental exposure to heavy metals alters visually-guided behaviors in zebrafish", en *Current zoology*, 63(2):221-227.
- Liu, L. *et al.*, 2016, "Generation of mt:egfp transgenic zebrafish biosensor for the detection of aquatic zinc and cadmium", en *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35: 2066-2073.
- Ling, X. *et al.*, 2011, "Superoxide dismutase, catalase and acetylcholinesterase: Biomarkers for the joint effects of cadmium, zinc and methyl parathion contamination in water", en *Environ Technol*, 32: 1463-1470.
- Lomba, L. *et al.*, 2019, "Acute and subacute effects of drugs in embryos of *Danio rerio*. QSAR grouping and modelling", en *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 172: 232-239.
- Magyary, I., 2018, "Recent advances and future trends in zebrafish bioassays for aquatic ecotoxicology", en *Ecocycles*, 4(2): 12-18.
- Malan, M. *et al.*, 2015, "Heavy metals in the irrigation water, soils and vegetables in the Philippi horticultural area in the Western Cape Province of South Africa", en *Environmental monitoring and assessment*, 187: 4085.
- Memmert, U. *et al.*, 2013, "Diclofenac: New data on chronic toxicity and bioconcentration in fish", en *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(2): 442-452.
- Muth-Köhne, E. *et al.*, 2012, "The classification of motor neuron defects in the zebrafish embryo toxicity test (ZFET) as an animal alternative approach to assess developmental neurotoxicity", en *Neurotoxicol. Teratol*, 34: 413-424.
- Nagel, R. 2002, "The embryo test with the Zebrafish *Danio rerio*-a general model in ecotoxicology and toxicology", en *ALTEX*, 19(1): 38-48.

- Nowakowska, K. *et al.*, 2020, "Acute exposure of zebrafish (*Danio rerio*) larvae to environmental concentrations of selected antidepressants: Bioaccumulation, physiological and histological changes", en *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 229: 1-9.
- Nowik, N. *et al.*, 2015, "Zebrafish: An animal model for research in veterinary medicine", en *Polish journal of veterinary sciences*, 18(3): 663-674.
- Ogungbemi, A. *et al.*, 2019, "Hypo- or hyperactivity of zebrafish embryos provoked by neuroactive substances: a review on how experimental parameters impact the predictability of behavior changes", en *Environ Sci Eur*, 31(88): 1-26.
- Ortiz-Villanueva, E. *et al.*, 2018, "Assessment of endocrine disruptors effects on zebrafish (*Danio rerio*) embryos by untargeted LC-HRMS metabolomic analysis", en *Science of the Total Environment*, 635: 156-166.
- Panzica-Kelly, J. M. *et al.*, 2015, "Optimization and Performance Assessment of the Chorion-Off [Dechorinated] Zebrafish Developmental Toxicity Assay", en *Toxicological Sciences*, 146(1):27-134.
- Parng, C. *et al.*, 2002, "Zebrafish: A Preclinical Model for Drug Screening", en *Assay and Drug Development Technologies*, 1(1): 41-48.
- Pawar, N. *et al.*, 2016, "Development of a fluorescent transgenic zebrafish biosensor for sensing aquatic metal pollution", en *Transgenic Research*, 24(5): 617-627.
- Pham, D. H. *et al.*, 2016, "Use of Zebrafish Larvae as a Multi-Endpoint Platform to Characterize the Toxicity Profile of Silica Nanoparticles", en *Scientific reports*, 6: 37145.
- Poon, K. L. *et al.*, 2017, "Transgenic Zebrafish Reporter Lines as Alternative *In Vivo* Organ Toxicity Models", en *Toxicological Sciences*, 156(1): 133-148,
- Rachoń, D. 2015, "Endocrine disrupting chemicals (EDCs) and female cancer: Informing the patients", en *Rev Endocr Metab Disord*, 16: 359-364.
- Raghunath, A.; Perumal, E., 2018, "Analysis of Lethality and Malformations During Zebrafish (*Danio rerio*) Development", en *Teratogenicity Testing*, 337-363.
- Robles, V. *et al.*, 2009, "Germplasm Cryobanking in Zebrafish and Other Aquarium Model Species", *Zebrafish*, 6(3): 281-293.
- Sarasamma, S. *et al.*, 2017, "Zebrafish: A Premier Vertebrate Model for Biomedical Research in Indian Scenario", en *Zebrafish*, 14(6), 589-605.
- Schlegel, A.; Gut, P. 2015, "Metabolic insights from zebrafish genetics, physiology, and chemical biology", en *Cellular and molecular life sciences: CMLS*, 72(12): 2249-2260.
- Silver, M. K. *et al.*, 2015, "Distribution and predictors of pesticides in the umbilical cord blood of Chinese newborns", en *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13: 1-14.

- Simoneti, R. *et al.*, 2015, "Zebrafish (*Danio rerio*): The future of animal model in biomedical research", en *Journal of Fisheries Science*, 9(3): 039-045.
- Söffker, M.; Tyler, C. R., 2012, "Endocrine disrupting chemicals and sexual behaviors in fish-a critical review on effects and possible consequences", en *Crit Rev Toxicol*, 42(8): 653-68.
- Satou, C. *et al.*, 2013, "Transgenic tools to characterize neuronal properties of discrete populations of zebrafish neurons", en *Development*, 140: 3927-3931.
- Strähle, U.; Grabher, G., 2010, "The zebrafish embryo as a model for assessing off-target drug effects", en *Disease Models & Mechanisms*, 3: 689-692.
- Tanguay, R. L., 2018, "The Rise of Zebrafish as a Model for Toxicology", en *Toxicological Sciences*, 163(1): 3-4.
- Tchounwou, P. B. *et al.*, 2012, "Heavy metal toxicity and the environment", en *Experientia supplementum*, 101: 133-164.
- Vandenberg, L. N. *et al.*, 2016, "A proposed framework for the systematic review and integrated assessment (SYRINA) of endocrine disrupting chemicals", en *Environ Health*, 15(1): 74.
- Xia, L. *et al.*, 2017, "Effects of ibuprofen, diclofenac and paracetamol on hatch and motor behavior in developing zebrafish (*Danio rerio*)", en *Chemosphere*, 182: 416-425.
- Weigt, S. *et al.*, 2011, "Zebrafish (*Danio rerio*) embryos as a model for testing proteratogens", en *Toxicology*, 281: 25-36.
- Yang, L. *et al.*, 2009, "Zebrafish embryos as models for embryotoxic and teratological effects of chemicals", en *Reproductive Toxicology*, 28(2): 245-253.
- Zhang, F. *et al.*, 2015, "Antibiotic Toxicity and Absorption in Zebrafish Using Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry", *PLoS ONE* 10(5): e0124805.

# Crisis del COVID-19: encrucijada entre el modelo neoliberal de producción-consumo y la soberanía alimentaria

Carlos H. Ávila Bello<sup>1</sup> y Julieta Ma. Jaloma Cruz<sup>2</sup>

**Resumen.** *En el presente ensayo se reflexiona sobre la crisis global por la pandemia del COVID-19, posible resultado de la explotación ilimitada de la naturaleza, el modelo de Revolución Verde en la producción de alimentos y la economía de consumo del sistema capitalista neoliberal, que han provocado la disminución de la biodiversidad, la contaminación y el cambio climático, así como la acumulación de riqueza en unas cuantas manos a partir del despojo y el empobrecimiento de la mayoría de la humanidad. Se hacen propuestas desde las epistemologías de la agroecología y los ecofeminismos, a partir de investigaciones realizadas en comunidades indígenas y campesinas del sur de Veracruz, con el fin de lograr la soberanía alimentaria a través de la producción de alimentos saludables, la conservación de la agrobiodiversidad y la reconfiguración de la organización social, reconociendo la brecha de género hacia las mujeres, cuya labor es esencial tanto en la producción de alimentos como en los trabajos de cuidados que sostienen la vida.*

**Palabras clave:** COVID-19, agroecología, ecofeminismos, soberanía alimentaria.

**Abstract.** *This essay reflects on the global crisis caused by the COVID-19 pandemic, a possible result of the unlimited exploitation of nature, the Green Revolution model of food production and the consumer economy of the neoliberal capitalist system, which has led to a decrease in biodiversity, pollution and climate change, as well as the accumulation of wealth in a few hands, based on the plundering and impoverishment of the majority of humanity. Proposals are made from agro-eco-*

<sup>1</sup> Coordinador del Centro de Estudios Interdisciplinarios en Agrobiodiversidad, Universidad Veracruzana. Acayucan, Veracruz, e-mail: carlavi-la@uv.mx

<sup>2</sup> Estudiante del Doctorado en Estudios Feministas, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Profesora-investigadora de la Universidad Veracruzana Intercultural, Sede Las Selvas, Huazuntlán Mpio. Mecayapan, Veracruz.

*logical epistemologies and ecofeminisms, based on research carried out in indigenous and peasant communities in southern Veracruz, to achieve food sovereignty through healthy food production, conservation of agro-biodiversity and reconfiguration of social organization, recognizing the gender gap towards women, whose work is essential in food production and life-sustaining care work.*

**Keywords:** COVID-19, agroecology, ecofeminisms, food sovereignty.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, México se ha visto afectado por diversas epidemias; en lo que va del siglo XXI se tuvo experiencia con el virus de la influenza A H1N1, transmitido por el cerdo y la gallina al ser humano, y que alcanzó el nivel de pandemia en el año 2009. En nuestro país se presentó un total de 12,645 de casos confirmados y 122 fallecidos, con una letalidad de 2.2%, sobre todo entre adultos jóvenes de 20 a 39 años (Fajardo-Dolci *et al.*, 2009: 14).

Actualmente enfrentamos la pandemia provocada por el SARS-CoV-2 (COVID-19); una de las hipótesis científicas sobre el origen de este virus es que evolucionó como huésped de murciélagos en el sureste de China, mutó con rapidez y, tal vez tomando un segmento de otro coronavirus, se volvió más resistente y tuvo un mayor poder de dispersión hasta que encontró al ser humano como nuevo huésped. Si esta hipótesis es correcta, las grandes granjas industrializadas en las que se producen algunas de las especies que hemos domesticado: vacas, cabras, ovejas y cerdos, pudieron ser posibles transmisores intermediarios del COVID-19 hacia el ser humano (Kormann, 2020: 2; Ye Qiu *et al.*, 2020: 2). La producción agroindustrial ha provocado cambios en el ambiente que nos han acercado a diferentes especies con las que antes no teníamos contacto.

La actual crisis sanitaria y económica, agravada por el deterioro de la salud de la población con enfermedades crónico-degenerativas, así como por la degradación del tejido social y político por la creciente brecha entre ricos y pobres, impone, con urgencia, no sólo transitar a una “nueva normalidad” resultado de las medidas sanitarias de confinamiento para evitar la propagación del virus, sino hacia un cambio profundo en los modelos de producción y consumo, así como en la organización social, política y económica, poniendo al centro la vida y el bien común de los pueblos, en lugar de los grandes capitales.

En el contexto mexicano, las emergencias epidemiológicas, como la pandemia del COVID-19, evidencian también la deuda histórica del Estado hacia el derecho a

la salud de los pueblos indígenas, afrodescendientes y campesinos de zonas rurales, debido al desmantelamiento de la salud pública para privatizarla: la falta de hospitales con atención médica de calidad cerca de las comunidades, con camas y medicinas suficientes, servicios especializados, personal médico permanente; además del maltrato, la violencia obstétrica y el racismo hacia las usuarias y usuarios, sin tomar en cuenta sus necesidades de atención, desde sus culturas y sus lenguas maternas. A ello debe aunarse la falta de reconocimiento y respeto hacia las autoridades de salud comunitarias, que ancestralmente han desarrollado conocimientos y prácticas de medicina tradicional.

Como ejemplo de lo anterior, en la región de la Sierra de Santa Marta,<sup>3</sup> 70% de la población predominantemente indígena se encuentra afiliada a la Secretaría de Salud, cuya atención corresponde a un Hospital Comunitario y un Centro de Salud con Servicios Ampliados (Inegi, 2015a). En la situación crítica de la epidemia, dichos hospitales no tienen la capacidad, el equipo ni el personal capacitado para dar atención a enfermos graves de COVID-19. De acuerdo con el comunicado de la Secretaría de Salud de Veracruz (Sesver, 2020) sobre la estrategia estatal contra el coronavirus, las camas disponibles en hospitales de primer nivel de la zona sur de Veracruz son sólo 123, para una región con más de 800 mil habitantes (equivalente a 0.15 camas por cada mil habitantes).

### **Alimentos ultra-procesados y enfermedades crónicas**

La crisis mundial provocada por el COVID-19 también ha dejado al descubierto el aumento de las enfermedades crónico-degenerativas en la población, esto tiene relación directa con la producción y consumo de alimentos ultra-procesados y con las contradicciones del modelo de producción de la Revolución Verde, cuyo objetivo primordial es la obtención de ganancias sin importar la salud de los habitantes de áreas rurales y urbanas.

En México, el consumo de comida con alto contenido de azúcares, sales refinadas, grasas saturadas y conservadores está asociado con el aumento de enfermedades crónico-degenerativas. Ello se debe, en buena medida, al cambio en los hábitos alimenticios que provocan variaciones en la flora microbiana del estómago, misma que tiene

<sup>3</sup> La Sierra de Santa Marta comprende los municipios de Soteapan, Mecayapan, Tatahuicapan y Pajapan, así como parte de los municipios de Catemaco y Hueyapan de Ocampo, que se encuentran asentados en las faldas de los volcanes San Martín Pajapan y Santa Marta, situados en el litoral veracruzano entre Catemaco y Coatzacoalcos.

un papel esencial en el mantenimiento de la homeostasis y la salud (Hertzen von *et al*, 2020: 1090-1091). Una de cada tres personas en México es obesa o presenta hipertensión; el país ocupa el primer lugar dentro de los de la OCDE en casos de diabetes (OCDE, 2019: 88-100). Esto ha incidido en los cambios en el perfil epidemiológico de la mortalidad en México. Las enfermedades más comunes en la década de los ochenta del siglo pasado eran las infecciones intestinales, la neumonía e influenza; desde el año 2000 a la fecha son las enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes y la hipertensión (Montero, 2011: 42).

De acuerdo con Shamah-Levy *et al.* (2014: 83), la insuficiencia alimentaria en México está relacionada con el inadecuado consumo de nutrimentos y energía, y también con los cambios en los hábitos de alimentación debido a restricciones económicas. Encontraron que la desnutrición infantil y las enfermedades como obesidad y diabetes se presentan sobre todo en familias con recursos limitados y nivel educativo bajo: minorías raciales, étnicas y los pobres. En nuestro país, el estado de nutrición se ve comprometido por la variedad y calidad de los alimentos, cuyo acceso está limitado en las familias de escasos ingresos económicos, adquiriendo alimentos de bajo costo, altos en energía, lo que provoca ganancias importantes de peso pero con contenido deficiente de micronutrientes (Shamah-Levy, *et al*, 2014: 84).

En cuanto a la producción de alimentos, desde el siglo XIX el uso de fertilizantes ha deteriorado el suelo (Bellamy Foster, 2009: 171-174), los fertilizantes nitrogenados han incorporado más nitrógeno al ambiente que todos los fenómenos naturales del planeta. Cuando en México se impuso la Revolución Verde en la agricultura (década de los años 40 y 50 del siglo pasado), a través de la transferencia de paquetes tecnológicos que incluían el uso de semillas híbridas (eufemísticamente llamadas mejoradas) en monocultivos, aunado al empleo de insecticidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos, se estableció que el objetivo principal era aumentar la producción de maíz, arroz y trigo para eliminar el hambre en el mundo, sin embargo, el hambre en el mundo persiste, ya que no es un problema de producción, sino de distribución de la riqueza.

Aunado a lo anterior, la introducción de monocultivos ha provocado deforestación y la subsecuente pérdida de biodiversidad, como ocurre en las selvas de Borneo al establecer plantaciones de palma de aceite, y en la del Amazonas al cultivar soya transgénica. Existe, por tanto, una asociación inversa entre la enfermedad diagnosticada por el médico a pacientes y la proporción de espacios verdes en el entorno (Maas *et al*, 2009: 968; Hertzen von *et al*, 2020: 1090-1092); el papel de bosques y selvas es fundamental en la salud física y mental humana.

Del mismo modo, desde 1960 se ha duplicado la cantidad de agua extraída de ríos y lagos, la mayor parte de ella destinada a la agricultura y la ganadería industriales. La ganadería es la actividad económica que más gases de efecto invernadero genera; en Australia se encontró, por ejemplo, que por cada kilogramo de forraje se producen 5.9 kg de CO<sup>2</sup> equivalente por kg de animal, mientras que por cada kg de carne se producen 7.2 kg de CO<sup>2</sup> equivalente por kg de animal de ese mismo gas (Tomich *et al*, 2011: 194-199). En cuanto al metano, a nivel mundial, entre 15 a 20% de ese gas es producido por esta actividad (Carmona *et al*, 2005: 51).

La Sierra de Santa Marta no se ha visto exenta de la introducción de la ganadería extensiva, el uso de biocidas y de fertilizantes sintéticos, los que han deteriorado el suelo, por ello la cosecha de maíz de temporal no es suficiente para que las familias tengan una reserva anual. En las últimas décadas ha sido notorio el cambio en los hábitos alimenticios en las comunidades indígenas, quienes han pasado del maíz, frijol, yuca, calabaza, quelites y hortalizas del huerto familiar, a la comida chatarra ultra procesada y bebidas azucaradas. Además, en la zona de Sotepan, Veracruz, el uso de herbicidas ha hecho desaparecer muchas especies nativas de quelites en las milpas nuntajiyi' (populucas) y nahuas.

En esta región, la ganadería y la agricultura son sistemas productivos opuestos, que en lugar de fortalecerse mutuamente (como el uso de abono animal o sistemas silvopastoriles) ha contribuido al declive de la producción maicera y de otros granos básicos de autoconsumo al promover la expansión de la ganadería a costa de las áreas agrícolas. (Vázquez García, 2002: 23-24).

## **Violencia estructural del modelo capitalista**

La profundización de las políticas neoliberales capitalistas constituye una violencia estructural que ejerce una guerra de baja intensidad hacia los pueblos indígenas, afrodescendientes y campesinos, en la que confluyen las fuerzas legales y coercitivas del Estado con empresas transnacionales que controlan el crimen organizado. Esto tiene como resultado el despojo de sus territorios y modos de producción tradicionales, el saqueo de bienes comunes naturales, la criminalización de la movilización y protesta social, feminicidios, asesinatos y desapariciones forzadas, lo que amenaza la supervivencia de las comunidades y la autonomía sobre sus cuerpos-territorios.

Esta violencia estructural tiene su origen en la herencia colonial, racista y patriarcal, que promueve la acumulación de riqueza en unas cuantas manos, a partir del despojo

de los bienes naturales, el etnocidio y el empobrecimiento de la gran mayoría de la humanidad. De acuerdo con Oxfam (2020), el hambre, la pobreza y la concentración de la riqueza se deben a que 2 153 multimillonarios del mundo poseen más riqueza que 4 600 millones de personas en situación de pobreza. México sigue siendo uno de los países más desiguales en América Latina: 52% de la población, en 2018, estaba conformada por pobres o pobres extremos (Cepal, 2020), y 25.5 millones de mexicanos carecían de acceso a los alimentos (Coneval, 2020).

Al integrarse al proceso globalizador, nuestro país se ha subordinado a los principales polos de la economía mundial: al Fondo Monetario Internacional, al Banco Mundial y a los intereses de Estados Unidos como principal socio comercial, de tal forma, que el mercado global y las bolsas de valores determinan los precios de cereales y otros cultivos; el mercado de divisas incide directamente en las ganancias o pérdidas que puedan tener los pequeños productores por sus cosechas, lo que ha impuesto a nuestros pueblos: pobreza, desigualdades y dificultades para conservar sus bienes comunes naturales.

A ello se agrega la posible violencia institucional a través de políticas y programas asistencialistas (Pronasol, Procampo, Procede, Oportunidades, Prospera y ahora Bienestar y Sembrando Vida) que imponen cambios en las formas tradicionales de producción y en el uso de suelo, a través de extensionistas, paquetes tecnológicos, parcelamiento ejidal, entre otros, a cambio de apoyos económicos e insumos agrícolas, que cada sexenio se reducen o quitan.<sup>4</sup> Esta violencia institucional ha promovido la expulsión de comuneros y avecindados sin tierra hacia las ciudades, maquiladoras o a la agroindustria en el norte del país, y a los Estados Unidos. En el 2015, sólo 4.5% de la población (5.5 millones) se dedicaba al trabajo agrícola (Inegi, 2015c).

Durante los últimos 40 años se han acumulado evidencias que demuestran científicamente que el actual modelo económico no es adecuado para todas las formas de vida en el planeta; al respecto, el cambio climático es, tal vez, el ejemplo más dramático, además de la pérdida de diversidad biocultural. Los cambios ambientales, económicos y sociales provocados por ese modelo de producción nos enfrentan ahora a lo que muchas y muchos científicos califican como el Antropoceno: la sexta extinción masiva en la historia del planeta; hoy, las condiciones, comparables con el periodo Cretácico de

<sup>4</sup> En los municipios de la Sierra de Santa Marta, el Estado mexicano ha reducido los apoyos al campo, de 2010 al 2017 hubo una disminución de 54% de beneficiados por el programa Procampo en los municipios de la Sierra de Santa Marta, y una reducción de 47% en el monto del apoyo anual (Inegi, 2015b).

hace 65 millones de años, podrían provocar la desaparición de la humanidad. Resulta imperativo encontrar caminos y paradigmas diferentes de producción de alimentos no sólo para mejorar la salud humana, sino también la de la naturaleza.

## Aportes de la agroecología y los eco-feminismos

En términos generales, la agroecología puede definirse como la aplicación de los conocimientos de la ecología a la producción agropecuaria y forestal. De manera más amplia, esta ciencia está fuertemente relacionada con los flujos de energía, la interacción de las especies, el flujo de materiales, así como con el manejo que los seres humanos hacen de la naturaleza, lo que debe entenderse no sólo a nivel local, sino también con el conjunto de relaciones que se establecen hacia fuera del sistema, por tanto, resulta apremiante comprender los fenómenos económicos, sociales y políticos que afectan al proceso de producción agrícola, como al cambio climático o la disminución del agua potable (Tomich *et al.*, 2011: 198). Para Méndez *et al.* (2013: 5-13), la agroecología contemporánea contempla la integración de conceptos y métodos de las ciencias sociales que pueden permitir una mejor comprensión de la agricultura como un fenómeno cultural, llevado a cabo en diferentes contextos ecológicos y culturales. Pueden destacarse dos aspectos predominantes en la agroecología: por un lado, se tiende a restringirla como una herramienta para reforzar, expandir o desarrollar el conocimiento científico en términos occidentales, sin embargo, los diferentes grupos que impulsan este enfoque en el mundo se centran especialmente en el proceso de producción agrícola para darle un enfoque más ecológico, no en el sistema agrícola en términos generales, perdiendo de vista las relaciones existentes entre los aspectos sociales y económicos con la producción agrícola y el manejo de la naturaleza. La agroecología ha evolucionado para transformarse en una ciencia integral, interdisciplinaria y transdisciplinaria, si se piensa en la inclusión de la ciencia tradicional o el conocimiento empírico de campesino e indígena.

Por otro lado, desde finales de la década de los 70 del siglo XX surge el término “ecofeminismo” para nombrar un movimiento político y teórico que incluye las luchas de mujeres involucradas en los movimientos feminista, ecologista y pacifista. Dichos movimientos han resaltado la interdependencia de los seres humanos con la naturaleza, así como la explotación y dominación del sistema patriarcal, capitalista y colonial sobre la naturaleza y los cuerpos de las mujeres. La perspectiva ecofeminista plantea una alternativa a la crisis de valores de la sociedad consumista e individualista actual, ya que es evidente la insostenibilidad del modelo de desarrollo tecno-económico capitalista y

el aumento de la desigualdad Norte-Sur que implica también la explotación y el fin de la naturaleza (Puleo, 2005: 147-148).

El movimiento ecofeminista, se ha diversificando en corrientes teóricas que van desde el ecofeminismo clásico o radical, las teologías ecofeministas, los ecofeminismos del Sur, hasta el ecofeminismo *Queer*, y el ecofeminismo animalista o antiespecista. Esto advierte que existen diversos ecofeminismos con características y luchas particulares, pero a la vez, interdependientes y que evidencian que el capitalismo, como proyecto moderno occidental, es una de las principales expresiones del sistema patriarcal, cuyos postulados de productividad, homogeneidad, control y centralización, constituyen el fundamento de los modelos de pensamiento y de las actividades económicas industriales dominantes, basadas en la naturalización de creencias antropocéntricas acerca de la superioridad de los seres humanos sobre el resto de los seres vivos, con un valor auto-otorgado por encima de las demás especies que justifica utilizarlas con fines de acumulación sin ningún tipo de problematización ética (Herrero, 2017: 20).

La visión ecofeminista propone desarrollar un concepto más realista de los seres humanos como parte de una relación intrínseca con la naturaleza que debe ser preservada, y tratar al resto de los seres vivos con respeto y empatía como compañeros de viaje en la Tierra (Puleo, 2005: 149). Algunos de los principios de los ecofeminismos son: “reconocer que la tierra es la que sostiene cualquier forma de vida, incluida la economía dominante que niega a la tierra misma”; “reconocer que la creatividad ha sido desplazada por el capitalismo y las mujeres han sido subordinadas ante los hombres que se autoproclaman como los creadores”, uno más –quizá el más importante– es “el reconocimiento y el respeto a la diversidad en todas sus formas, es decir, toda forma de planta, animal, organismo del suelo, forma de comunidad humana y cultura que ha evolucionado” (Shiva, 2010: 1-3).

Para las ecofeministas, el sistema capitalista patriarcal no sólo condiciona y somete los cuerpos, mentes y vidas de mujeres y hombres, sino que también ejerce poder sobre la naturaleza y la somete. Desde la teoría a la práctica, las ecofeministas construyen alianzas entre las que luchan contra el sexismo, el capitalismo, el racismo, el heterosexismo, el colonialismo, el especismo o discriminación hacia los animales y la destrucción ambiental.

En contextos rurales, las desigualdades de género colocan a las mujeres indígenas y campesinas en posición de desventaja en el acceso a la tierra y a los bienes naturales; inhiben sus capacidades y derechos a decidir sobre su vida y su cuerpo, y las hacen más vulnerables a condiciones de extrema pobreza, atrapando a las mujeres pobres en círculos de precariedad difíciles de romper.

Aunque las mujeres siempre han trabajado en la producción de alimentos en las zonas rurales, los hombres son considerados los principales productores y ejercen el derecho cultural sobre el recurso-tierra. Las unidades domésticas con mayor fuerza de trabajo tienen niveles más altos de producción, lo cual demuestra la importancia de la mano de obra familiar no remunerada y especialmente de las mujeres. Sin embargo, este trabajo no es socialmente valorado. Esta falta de reconocimiento se atribuye a la cosmovisión indígena, que, aunque respeta a la naturaleza, es problemática por marginar a las mujeres (Vázquez García, 2002: 300).

El trabajo femenino se da en las diversas esferas productivas: en la milpa, cría de traspatio, producción hortalizas, comercio, o en diversos oficios. Cuando las mujeres fallan en las expectativas productivas o de consumo, son tratadas como fracasos y pueden ser abandonadas. Incluso con toda su contribución en la economía familiar, las mujeres y sus hijos pierden todo derecho sobre la parcela si son abandonadas por el hombre. Los hechos más importantes que explican la fragilidad conyugal son: la pobreza extrema, la violencia intrafamiliar, el enfrentamiento por los recursos, principalmente en torno al acceso a la tierra, el consumo de alcohol; el machismo y la influencia de la sociedad de consumo, según la cual, la mujer es sólo una mercancía más (Lazos y Godínez, 1996: 144-146).

En este sentido, los feminismos ecologistas desarrollan un nuevo proyecto ético, social, cultural y político frente a la crisis de valores patriarcales, consumistas e individualizados, impulsados por las sociedades occidentales, y también juegan un papel significativo en la urgente tarea de expandir una ampliada conciencia ecológica que incorpore en su agenda de cambio el avance hacia relaciones igualitarias entre mujeres y hombres, en tanto partícipes de la cultura y de la naturaleza.

### **Soberanía alimentaria: alternativas para producir alimentos**

México tiene una larga trayectoria como país dependiente del exterior para garantizar el suministro de alimentos, principalmente de granos básicos. Esta dependencia alimentaria se debe a que las políticas económicas neoliberales implementadas por el Estado mexicano durante los últimos 40 años, especialmente al firmar el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), y actualmente su renovación con el Tratado México-Estados Unidos-Canadá (T-MEC), han beneficiado principalmente a empresas privadas y transnacionales de la agroindustria y han mantenido en el abandono y sin verdaderos apoyos a millones de campesinos de las regiones rurales e indígenas. A par-

tir de la firma del TLCAN en 1994, se liberaron gradualmente los aranceles de los cultivos básicos, hasta llegar, en 2008, a la apertura total del mercado y, con ello, a la supeditación de la agricultura mexicana a la expansión comercial de Estados Unidos, lo que provocó una dependencia estructural de granos básicos, llegando a importar en 2013, 93% de la soya consumida en el país, 83% del arroz, 64% del trigo y 31% del maíz (Rubio, 2015: 56).

La política de sustituir la producción agrícola nacional por la importada en beneficio de las grandes empresas de la agroindustria ha incrementado la dependencia alimentaria en lugar de contenerse, y ha perjudicado a la población en general con el aumento en el precio de los alimentos y el empobrecimiento de los pequeños productores rurales. Esto es una gran paradoja si se considera que nuestro país es el centro de origen del maíz, planta sagrada, ancestralmente domesticada por los pueblos originarios; incluso actualmente se han registrado 62 razas diferentes de maíz nativo y miles de variedades adaptadas a diferentes condiciones ambientales, gracias al intercambio de semillas entre productores, práctica profundamente arraigada en las culturas indígenas.

En México no se han atendido las recomendaciones de los organismos como la FAO, en el sentido de fomentar la soberanía alimentaria basada en la producción de la agricultura familiar, lo que ha profundizado la pobreza rural y genera una fragilidad estructural alimentaria frente a los avasallantes cambios mundiales que trae consigo la crisis capitalista (Rubio, 2015: 68). Esta política ha incrementado la dependencia alimentaria y ha perjudicado a la población en general con el aumento en el precio de los alimentos, el empobrecimiento de los pequeños productores rurales y la expulsión de sus propias comunidades para trabajar precariamente como jornaleros en los campos agrícolas del norte.

La soberanía alimentaria implica asegurar la alimentación sana de la población, es decir, disponer de alimentos no sólo en cantidad y calidad suficiente, sino también sanos, de fácil acceso y de manera estable para satisfacer las necesidades básicas. Por ello, para no depender de ningún país ni estar subordinados a los precios del mercado internacional, es necesario lograr autosuficiencia en la producción de granos básicos, abastecer a toda la población, no sólo en el presente, sino también para las generaciones futuras. Lograr la soberanía alimentaria ofrecería la ventaja de aumentar la disponibilidad muy por encima de la demanda, condición para mejorar el acceso (Camberos, 2000: 49).

La producción de alimentos con base en el modelo de la Revolución Verde ha afectado al ambiente y la salud humana, están plenamente documentados los efectos negativos del glifosato, herbicida conocido como Roundup®, en la estructura del ADN, no sólo de plantas sino también de mamíferos. El agente activo y las formulaciones

comerciales de este herbicida causan muerte celular, cáncer y malformaciones durante el embarazo (Monroy *et al*, 2005: 339-341; Martínez y Reyes, 2007: 599-601).

Al analizar las causas de mortalidad en las comunidades nahuas y nuntajiyí' (populucas) de la Sierra de Santa Marta en los años 2003-2007, Montero (2011: 48) encontró que seis de cada diez defunciones (65.5%) ocurrieron por alguna enfermedad crónica no transmisible, como tumores malignos, cirrosis hepática, diabetes mellitus, enfermedades cerebrovasculares y enfermedades isquémicas del corazón. La mayoría de las mujeres del estudio fallecieron por causa de enfermedades como el cáncer cervicouterino, la desnutrición y la diabetes, mientras que los hombres, principalmente por cirrosis hepática, asociada al alcoholismo y la hepatitis B, enfermedades cerebrovasculares y tumores malignos, probablemente asociados al uso excesivo de glifosato (Montero, 2011: 48).

Además, el modelo productivo de la Revolución Verde apuesta por el enriquecimiento de las empresas dedicadas a la biotecnología, a partir de patentes de las semillas genéticamente modificadas, con el falso argumento de elevar la producción y aumentar la seguridad alimentaria, sin embargo, esto fomenta la ambición por lo material y el consumismo, por ello es indispensable cambiar los paradigmas de obtención de alimentos, la idea del bienestar debe afirmar la vida como el objetivo ético supremo y dar un giro civilizatorio. La agricultura practicada por los pueblos originarios y campesinos tiene características muy contrastantes con la agricultura industrializada: conserva alta biodiversidad y agrobiodiversidad, lo que representa una excelente alternativa de producción en el ámbito agropecuario y forestal, y es la mejor opción para salvaguardar la salud humana, la naturaleza y los recursos fitogenéticos, comparado con modelos de producción basados en la uniformidad genética y el uso indiscriminado de biocidas y fertilizantes sintéticos.

Asegurar la alimentación y la conservación integral de la naturaleza de un país debe ser el primer objetivo sensato para lograr la equidad y la independencia, sin embargo, el debilitamiento del Estado en muchas de las funciones sustantivas que debe cumplir, como la procuración de salud y justicia, la investigación científica, la educación y la producción y distribución de alimentos, ha permitido que poderes fácticos controlen a la sociedad e impidan cualquier tipo de resistencia, imponiendo, a través de legisladores o legisladoras a su servicio, leyes que favorecen, por ejemplo, la apropiación de la agrobiodiversidad y las semillas, o promueven incluso programas sociales para distribuir y usar semillas transgénicas (Morales y Ramírez, 2015: 69-73). Lo anterior, asociado al neoliberalismo y al proceso de globalización de la economía, ha provocado que el Estado pierda la capacidad de orientar la producción agropecuaria y forestal hacia la

autosuficiencia y soberanía alimentaria, así como la decisión política para disponer de los recursos necesarios para llevar a cabo esa tarea.

El proceso de producción de alimentos debe tener como meta primordial la seguridad alimentaria a nivel local, regional y nacional, potenciando el valor de la diversidad biológica y cultural de los pueblos originarios. El país tiene la capacidad para producir prácticamente todo lo que necesitamos. Aunado a ello, es importante que, por ser un aspecto de la seguridad alimentaria y un derecho de la población, los procesos de distribución de semillas y alimentos sean controlados por un Estado soberano que tenga una visión clara de servicio hacia el país, no hacia las transnacionales. Si es el caso, en las zonas que tengan características adecuadas, se puede buscar competir en mercados globales, sin perder de vista que las cadenas largas de mercado generan más contaminación. El caso del aguacate es muy ilustrativo de este proceso: enriquece a pocos, se destruyen ecosistemas naturales y se extrae agua excesivamente, dejando pueblos enteros sin ella. Es necesario un giro civilizatorio hacia paradigmas diferentes de producción, sustentabilidad y agroecología que nos permitan comprender que la naturaleza es un entramado complejo de relaciones, al mismo tiempo conseguir equilibrio entre los componentes ambientales, sociales, económicos, políticos y culturales, y lograr un funcionamiento armónico entre los humanos y la naturaleza.

El bienestar de las comunidades indígenas y campesinas sería una de las mejores formas de alcanzar equidad para que el país sea tan independiente, como justo. La política agropecuaria de México se debe reorientar de tal manera que se otorguen, sin paternalismos ni manipulación política, créditos que permitan a los campesinos e indígenas capitalizarse para poder incorporar, si así lo deciden, sus productos a mercados locales, regionales o nacionales con precios justos; deben establecerse redes de comercialización que permitan el flujo de diferentes productos saludables y de alta calidad entre las regiones del país.

Así mismo, se debe reconocer que las mujeres juegan un papel fundamental en la agricultura y la seguridad alimentaria de los hogares y comunidades rurales. Aun cuando tanto las mujeres como los hombres desempeñan tareas diferentes y complementarias, las mujeres suelen trabajar más para garantizar la nutrición, la seguridad alimentaria y la calidad de los alimentos. En gran parte de los países del sur global, las mujeres producen la mayor parte de los alimentos de autoconsumo y gastan una parte considerable de los ingresos que generan en las necesidades del hogar, en la educación, el cuidado materno-infantil y la salud familiar (FAO, 2003: 11).

De acuerdo con Rosales y Leyva (2019), 50% de los alimentos básicos (arroz, trigo y maíz) que se consumen en todo el mundo son cultivados por mujeres de las zonas

rurales. Y si las mujeres tuvieran el mismo acceso a los recursos productivos que los hombres, podrían incrementar el rendimiento agrícola entre 20-30% (Rosales y Leyva, 2019: 50). Mientras las mujeres indígenas y campesinas, que constituyen la mitad de cada pueblo, continúen bajo opresiones culturales, económicas, sociales y políticas, y padezcan restricciones para acceder a la tierra, a recursos familiares e institucionales, no se podrá lograr la soberanía alimentaria.

Es necesario fomentar la organización comunitaria, especialmente importante en comunidades indígenas y campesinas, ya que esta forma de trabajo persiste en memoria colectiva, asimismo crear escuelas campesinas en las que se incentive la curiosidad científica y la capacitación. A través de las universidades e instituciones públicas de investigación se puede lograr que los resultados de la ciencia contribuyan con el bienestar de nuestro país. Para ello, el acercamiento con las comunidades campesinas e indígenas debe hacerse con base en una investigación participativa, estableciendo vínculos estrechos y de compromiso, observando y estudiando los fenómenos en las condiciones ecológicas y sociales bajo las cuales se llevan a cabo los procesos productivos, experimentando, aprovechando y fortaleciendo los recursos naturales que poseen. Se deben crear bancos de semillas locales y regionales para conservar, documentar y mejorar las características de las especies que componen los agroecosistemas y ecosistemas del país. Lo anterior debe tener como pilar fundamental la inversión de al menos 2% del PIB en educación y ciencia.

## CONCLUSIONES

No se trata de dominar a la naturaleza, sino de comprender su funcionamiento, sus límites y capacidades, precisamente con la ayuda de la ciencia, la tecnología y la ciencia tradicional. Los procesos evolutivos que llevan al surgimiento de nuevos y fatales virus, como SARS-CoV-2, no podrán detenerse, sin embargo, los cambios en la forma de producir alimentos sanos permitirán fortalecer el sistema inmunológico humano para hacer frente a este tipo de pandemias, respetando al mismo tiempo los límites marcados por la naturaleza.

La tragedia humanitaria que ha provocado este virus constituye un parteaguas para que, con ética y humildad, valoremos las aportaciones que, por siglos, con amor y trabajo, los pueblos originarios y campesinos han ofrecido a la humanidad para el mantenimiento del equilibrio entre la satisfacción de las necesidades de las personas

y de la naturaleza. Es necesario que la civilización abandone el camino de ambición y consumismo, exacerbado durante los últimos 40 años, para lograr mayor equidad y justicia, así como mejorar la salud de los humanos y la naturaleza.

Esta crisis sanitaria y económica es, a la vez, una oportunidad para reconfigurar la vida social, política y económica del país, y para desarticular la violencia estructural del sistema capitalista, patriarcal, racista y colonial que ha impuesto el norte global. Es trascendental, si se quiere lograr la soberanía alimentaria, construir economías y políticas donde se ponga en el centro la vida y, por tanto, los derechos de los pueblos y los derechos de la naturaleza, recuperando la autonomía de los pueblos, la capacidad organizativa, la ayuda mutua, la producción de alimentos sanos, retomando las sabidurías ancestrales y el vínculo con la tierra-territorio.

Para lograr la soberanía alimentaria, es importante reconocer la brecha de género hacia las mujeres, tanto en la organización comunitaria como en las políticas agrarias, y defender sus derechos sobre el control local de los procesos productivos, el acceso a la tenencia de la tierra y a participar en las decisiones de sus comunidades. Esto constituye una apuesta ética y política, incorporando sus demandas para transformar las relaciones de género, y también la relación con la naturaleza, reconociendo que los seres humanos dependemos totalmente de ella para nuestra supervivencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bellamy Foster, J., 2009, *The ecological revolution. Making peace with the planet*, Monthly Review Press, Nueva York.
- Camberos Castro, M., 2000, "La seguridad alimentaria de México en el año 2030", en *CIENCIA ergo-sum. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 7(1): 49-55.
- Carmona, J. C.; Bolivar, D. M.; Giraklo, L. A., 2005, "El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo", en *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1): 49-63.
- CEPAL, 2020, "Perfil nacional sociodemográfico, México", en: [https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Perfil\\_Nacional\\_Social.html?pais=MEX&idioma=spanish](https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Perfil_Nacional_Social.html?pais=MEX&idioma=spanish) (Consultado: 16/06/2020).
- CONEVAL, 2020, "Pobreza en México", en: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza-2018.aspx> (Consultado: 16/06/2020).
- Fajardo-Dolci, G. E. et al., 2009, "Perfil epidemiológico de la mortalidad por influenza humana A (H1N1) en México", en *Salud Pública de México*, 51(5): 361-671.

- FAO, 2003, *Gender, Key to Sustainability and Food Security. Plan of Action: Gender and Development*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, en <http://www.fao.org/3/a-y3969e.pdf> consultado el 20/06/2019.
- Herrero, A., 2017, "Ecofeminismos: apuntes sobre la dominación gemela de mujeres y naturaleza", en *Ecología Política*, 54: 20-27.
- Hertzen von, L.; Hanski, I.; Haahtela, T., 2020, "Natural immunity. Biodiversity loss and inflammatory diseases are two global megatrends that might be related", en *EMBO Reports*, 12(11): 1089-1093.
- Inegi, 2015a, "Salud y Seguridad Social", Encuesta Intercensal 2015, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/> (Consultado: 07/04/2020).
- Inegi, 2015b, "Productores beneficiados por el Procampo", Encuesta Intercensal 2015, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/> (Consultado: 07/04/2020).
- Inegi, 2015c, "Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE)", Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/> (Consultado: 07/04/2020).
- Kormann, C., 2020, "From bats to human lungs, the evolution of a coronavirus", en <https://www.newyorker.com/science/elements/from-bats-to-human-lungs-the-evolution-of-a-coronavirus> (Consultado: 18/04/2020).
- Lazos, E.; Godínez, L., 1996, "La familia como estructura productiva en el inicio de la ganadería en tierras campesinas del sur de Veracruz", en *Estudiar a la familia, comprender a la sociedad: Premio 1995 de investigación sobre las familias y los fenómenos sociales emergentes en México*, pp. 107-89, Sistema Nacional Para el Desarrollo de las Familias, México, D.F., en [http://www.humanindex.unam.mx/humanindex/consultas/detalle\\_libros.php?id=6831&rfc=LACE600102](http://www.humanindex.unam.mx/humanindex/consultas/detalle_libros.php?id=6831&rfc=LACE600102) (Consultado: 26/02/2020).
- Maas, J., R. A. *et al.*, 2009, "Morbidity is related to a green living environment", en *J. Epidemiol Community Health* 63:967-973. doi:10.1136/jech.2008.079038
- Martínez, A.; Reyes, I.; Reyes, N., 2007, "Citotoxicidad del glifosato en células mononucleares de sangre periférica humana", en *Biomédica. Revista del Instituto Nacional de Salud*, 27(4): 594-604.
- Méndez, V. E.; Ch. M. Bacon; Cohen, R., 2013, "Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach", en *Agroecology and sustainable food systems*, 37: 3-18.
- Monroy, C. M. *et al.*, 2005, "Citotoxicidad y genotoxicidad en células humanas expuestas *in vitro* a glifosato", en *Biomédica*, 25(3): 335-345.

- Montero, E., 2011, "Mortalidad en un área indígena de Veracruz. Enfermedades transmisibles y no transmisibles", en *Papeles de población*, 17(68): 42-68.
- Morales S., T.; Ramírez D., F. J., 2015, *Bioseguridad, recursos fitogenéticos y su acceso en lo que va del siglo*, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- OCDE, 2019, "Health at a Glance 2019: OECD Indicators", en [www.oecd.org/health/health-at-a-glance.htm](http://www.oecd.org/health/health-at-a-glance.htm) (Consultado: 9/05/2020).
- OXFAM, 2020, *Tiempo para el cuidado. El trabajo de ciudadanos y la crisis global de desigualdad*, OXFAM, Oxford. UK.
- Puleo, A. H., 2005, "Del ecofeminismo clásico al deconstructivo: Principales corrientes de un pensamiento poco conocido", en Amorós C.; De Miguel, A. (Eds.), *Teoría feminista de la Ilustración a la globalización. De los debates sobre el género al multiculturalismo*, pp. 121-52. Minerva Ediciones, España.
- Rosales-Martínez, V.; Leyva-Trinidad, D. A., 2019, "El rol de la mujer en el agroecosistema y su aporte a la producción de alimentos", en *Agroproductividad*, enero, 12 (1): 47-52.
- Rubio, B., 2015, "La soberanía alimentaria en México: una asignatura pendiente", en *Mundo Siglo XXI. Revista del CIECAS-IPN*, X (36): 55-70.
- SESVR, 2020, "COMUNICADO / Estrategia Estatal contra el coronavirus 07/04/2020", Secretaría de Salud de Veracruz, en <http://www.veracruz.gob.mx/2020/04/07/comunicado-estrategia-estatal-contr-el-coronavirus-07-04-2020/> (Consultado: 12/04/2020).
- Shamah-Levy, T.; Mundo-Rosas, V.; Rivera-Dommarco, J. A., 2014, "La magnitud de la inseguridad alimentaria en México: su relación con el estado de nutrición y con factores socioeconómicos", en *Salud Pública de México*, 56(1): 79-85.
- Shiva, V., 2010, *Diálogo sobre ecofeminismo con Vandana Shiva*, Instituto de Estudios Ecológicos del Tercer Mundo, Quito, Ecuador.
- Tomich, T. O. et al., 2011, "Agroecology: a review from a global-change perspective", en *Annual Review of Environmental Resources*, 36: 193-222.
- Vázquez García, V., 2002, *¿Quién cosecha lo sembrado? Relaciones de género en un área natural protegida mexicana.*, Plaza y Valdés / Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, México.
- Ye Qiu, et al., 2020, Predicting the angiotensin converting enzyme 2 (ACE2) utilizing capability as the receptor of SARS-CoV-2. *Microbes and infection*, en <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2020.03.003>

# Guía para autores<sup>1</sup>

## Tipo de contribución

1. Artículos de investigación
2. Notas de investigación
3. Ensayos y revisiones bibliográficas
4. Reseñas de libros y comentarios

Los *Artículos de investigación* deben reportar resultados de investigaciones originales y no haber sido entregados para su publicación en cualquier otro medio. Los artículos no deben rebasar más de 30 cuartillas manuscritas incluyendo figuras, cuadros, referencias, etc.

Las *Notas de investigación* son una descripción concisa y completa de una investigación limitada, la cual no puede ser incluida en un estudio posterior.

La *Nota científica* debe estar completamente documentada por referencias bibliográficas y describir la metodología empleada como en un artículo de investigación. No deberá exceder las 15 cuartillas, incluyendo figuras, cuadros y referencias.

Los *Ensayos y revisiones bibliográficas* deben incluir un tema de interés actual y relevante. Estos trabajos no deben exceder las 20 cuartillas.

Las *Reseñas de libros* pueden ser incluidas en la revista en un rango de libros relevantes que no tengan más de 2 años de haber sido publicados. Las reseñas no deben exceder las 6 cuartillas.

<sup>1</sup> Para mayores detalles revisar esta guía en extenso en la página web de la revista: <http://xoc.uam.mx/>

---

## Presentación de textos

La presentación implica que todos los autores autorizan la publicación del documento y que están de acuerdo con su contenido. Al aceptar el artículo la revista puede cuestionar a el (las, los) autor(as, es) para transferir el derecho de su artículo a la editorial.

Los trabajos para consideración pueden ser enviados de dos formas:

1. Archivo electrónico. Se enviará en documento de word como un archivo adjunto al correo electrónico aalvarez@correo.xoc.uam.mx. Mediante la misma vía se realizará el acuse de recibo.
2. Documento impreso (papel). Se enviarán las copias impresas por mensajería a:

Adolfo Álvarez Macías

Director Editorial

Revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*

Edificio 34, 3° piso, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, CP 04960, México, D.F.

Tel: 5483-7230 y 31

### **Archivo electrónico**

Se enviará el trabajo en dos archivos adjuntos. El primero incluirá el texto completo; el segundo, en caso de existir, las gráficas, tablas o figuras. El documento deberá tener los cuatro márgenes de 2.5 centímetros y numerarse de manera continua todos los renglones. El tipo de letra será Arial, tamaño 12 puntos a espacio de 1.5 de interlínea. Las cuartillas deberán estar numeradas.

### **Documento impreso**

Para la consideración inicial del texto, es necesario enviar tres copias impresas en total, adjuntando las versiones electrónicas. Posterior a la aceptación final, deberá enviarse en un disco compacto (CD) con dos archivos: la versión final y una sugerencia de cómo quedaría impreso. En la etiqueta del disco, es necesario indicar el nombre de los archivos así como de los autores.

## Preparación y consideraciones generales para el manuscrito

1. El texto deberá ser escrito en español, inglés o francés.
2. Si se decide enviar el documento impreso, es necesario adjuntar las ilustraciones originales y dos juegos de fotocopias (tres impresiones de una fotografía).
3. Deberá tener las líneas numeradas, incluyendo resumen, pies de página y referencias.
4. El texto deberá tener el siguiente orden:
  - Título (Claro, descriptivo y corto).
  - Nombre de el (las, los) autor (as, es).
  - Teléfono, correo electrónico y fax del primer autor para recibir correspondencia.
  - Dirección actual de el (las, los) autor (as, es).
  - Resumen.
  - Palabras clave (términos indexados) de 3 a 6.
  - Introducción.
  - Descripción del área, métodos y técnicas.
  - Resultados.
  - Discusión.
  - Conclusión.
  - Agradecimientos y reconocimientos.
  - Referencias.
  - Cuadros.
  - Mapas o anexos diversos.

Nota: El título y subtítulo deberán estar en líneas diferentes sin sangrías. Se utilizarán altas y bajas; se escribirá con mayúsculas el carácter inicial y los nombres propios.

5. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI).

## Resumen

El resumen deberá ser claro, descriptivo y contener no menos de 800 ni más de 900 caracteres sin considerar los espacios para cada uno de los idiomas en que se presente. Se deberá incluir el resumen en español.

Es conveniente incluir en el resumen los resultados más significativos así como las principales conclusiones.

---

## Cuadros

1. El autor deberá tener en cuenta las limitaciones en tamaño y presentación de la revista. Deberán evitarse cuadros largos, y exceder las dimensiones de una cuartilla (21 x 27.9 centímetros). El cambiar columnas y renglones puede reducir la dimensión del cuadro.
2. Los cuadros se enumeran de acuerdo a su secuencia en el texto y en números arábigos. El texto debe incluir la fuente de todos los cuadros.
3. Cada cuadro estará impreso en una cuartilla separada del texto.
4. Cada cuadro debe tener un título corto y autoexplicativo. El tipo de letra deberá ser el mismo que el utilizado en el texto (arial, 12 pts. ) y colocarse al centro y arriba.
5. Los cuadros elaborados deberán ser propios con base en la información generada por los (as) autores (as). Si llegasen a utilizar información secundaria, deberá darse el crédito correspondiente a la fuente utilizada.

## Ilustraciones

1. Todas las ilustraciones (mapas, líneas de dibujo y fotografías) deberán enviarse por separado, sin marco y ajustarse al tamaño de una cuartilla (21 x 27.9 cm).
2. Las ilustraciones deberán ser secuenciadas con números arábigos de acuerdo al texto. Las referencias deben ser hechas en el texto para cada ilustración.
3. Las ilustraciones que contengan texto deberán estar en Indian ink o en etiquetas impresas. Asegurarse que el tamaño del caracter sea lo bastante grande para permitir una reducción del 50% sin volverse ilegible. Los caracteres deberán estar en español, inglés y francés. Usar el mismo tipo de caracter y estilo de la revista.
4. Cada ilustración debe tener una leyenda.
5. Las fotografías sólo son aceptables si tienen un buen contraste e intensidad. Las copias deben ser nítidas y brillantes.
6. Pueden enviarse ilustraciones a color, pero deberá tomarse en cuenta que serán convertidas en escala de grises para su publicación.
7. El formato de entrega será tiff o eps en alta resolución (300 dpi a tamaño carta o proporcional para su manejo).

## Referencias

1. Todas las publicaciones citadas a lo largo del documento deberán ser presentadas con datos en la lista de referencias al final del texto.

2. Dentro del texto, al referirse a un autor (as, es) deberá hacerse sin inicial seguido del año de publicación y, de ser necesario, por una referencia corta sobre las páginas. Ejemplo: “Desde que Martínez (2007) demostró que...”, “Esto coincide con resultados posteriores (Sánchez, 2009: 20-21)”.
3. Si la referencia que se indica en el texto es escrita por más de dos autores, el nombre del primer autor será seguido por “et al.” o “y colaboradores”.
4. La lista de referencias deberá indicarse en orden de acuerdo al apellido de el (as, os) autor (as, es), y cronológicamente por autor.
5. Usar el siguiente sistema para indicar las referencias:

*a. De publicación periódica*

Gligo, N., 1990, “Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola”, *Comercio Exterior*, 40(12):135-142.

*b. Editado en Simposium, edición especial etc, publicación en periódico*

CIAT-UNEP, 1995, Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe, Documento de discusión, Taller regional sobre uso y desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad, PNUMA, México.

*c. De libros*

Sassen, S., 1999, *La ciudad global*, EUDEBA/Universidad de Buenos Aires, Argentina.

*d. De un capítulo en libro*

Muñoz, O., 1991, “El proceso de industrialización: teorías, experiencias y políticas”, en Sunkel, O., (comp.), *El desarrollo desde dentro*, Lecturas, núm. 71, FCE, México.

*e. De tesis*

Evangelista, O. y C. Mendoza, 1987, *Calendarios agrícolas en cuatro ejidos del Municipio de Coxquibui, Veracruz*, tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

*f. De referencias de sitios*

Banco Central de la República Argentina, 2005. “Entidades Financieras: Información por entidad”, disponible en <http://www.bcr.gov.ar/comunes/p0003.asp>, consultado el 23/01/2005. Fecha última actualización: 07/01/2005. Unión Cívica Radical: Comité Nacional (UCR Web). Disponible en: <http://wwwwww.ucr.org.ar/>, consultado el 28/10/2000.

---

*g. De artículos de publicaciones periódicas en bases de datos*

Schrader, A., 1999, "InternetCensorship: Issues for teacher-librarian", en *Teacher Librarian*, vol. 26, núm. 5, Academic Search Elite, pp. 8-12, disponible en <http://www.epnet.com/ehost/login.html>, consultado el 28/11/2000.

Para otros ver detalles en página web de la revista.

## **Fórmulas**

1. Las fórmulas deberán ser escritas de acuerdo a los estándares de la revista. Dejar un espacio amplio alrededor de las fórmulas.
2. Los subíndices y superíndices deberán ser claros.
3. Los caracteres griegos y otros no latinos o símbolos escritos a mano deberán ser explicados e indicar su significado al margen de la página en donde aparecen por primera vez. Tener especial cuidado para mostrar claramente la diferencia entre un cero (0) y el caracter O y entre el 1 y el caracter I.
4. Para indicar fracciones simples, utilizar la diagonal (/) en lugar de una línea horizontal.
5. Enumerar, en paréntesis, las ecuaciones a la derecha. En general, sólo las ecuaciones explícitamente referidas en el texto, necesitan ser numeradas.
6. Se recomienda el uso de fracciones en lugar de signos de raíz.
7. Los niveles de significancia estadística que son mencionados sin más explicación son  $P < 0.05 = *$ ,  $P < 0.01 = **$  y  $P < 0.001 = ***$
8. En las fórmulas químicas, las valencias de los iones deberán indicarse, por ejemplo, como  $Ca^{2+}$  y no como  $Ca^{++}$ .

## **Pie de página**

1. Se recomienda hacer los pies de página a través de un procesador de textos.
2. En caso de utilizarlos, deberán numerarse en el texto, indicando el número como superíndice y que sean tan cortos como sea posible. El tamaño del carácter será de 8 pts.

## **Nomenclatura**

1. Los autores y editores aceptarán las normas de nomenclatura biológica vigente.
2. Todos los seres vivos (cultivos, plantas, insectos, aves, mamíferos, etc.) deberán ser identificados por sus nombres científicos, con excepción del nombre común de animales domésticos.

3. Todos los seres vivos y otros compuestos orgánicos deberán ser identificados por sus nombres genéricos cuando son mencionados por primera vez en el texto. Los ingredientes activos de todas las formulaciones deberán ser igualmente identificadas.

### **Derechos de autor**

1. Cuando el autor cite algún trabajo de otra persona o reproduzca una ilustración o tabla de un libro o artículo de revista debe estar seguro de no estar infringiendo los derechos de autor.
2. Aunque en general un autor puede citar de otro trabajo publicado, debe obtener permiso del poseedor del derecho de autor si se requiere reproducir tablas, placas u otras ilustraciones.
3. El material en trabajos no publicados o protegidos, no podrá ser publicado sin obtener el permiso por parte del poseedor de los derechos.
4. Deberá incluirse un agradecimiento por algún material autorizado para su publicación.

### **Criterios de ditaminación y pruebas del formato del trabajo**

1. Una vez revisado, conforme a las políticas de la revista, cada texto será sometido para su dictamen al menos a dos revisores miembros del Comité Editorial. Para ser publicado cada trabajo deberá contar con dos dictámenes aprobatorios.
2. Si el documento cuenta con observaciones, se regresará el texto para la corrección. Una vez realizadas las correcciones conforme a los criterios de evaluación del Comité Editorial de la revista, se enviará una prueba de formación al autor correspondiente. Sólo los errores tipográficos serán corregidos; no se harán cambios o adiciones al documento.

*Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.*  
Revista electrónica  
Se terminó de formar en julio de 2020