

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

36

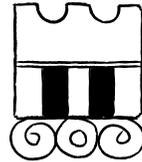
Diciembre 2018

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

Secretaria
Dra. Claudia Mónica Salazar Villava

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
Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria
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 2018, número 36, diciembre de 2018, 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 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. Tamaño del archivo 1700 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

Editorial	9
Política de la revista	13
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
Efecto del extracto crudo de <i>Beauveria bassiana</i> sobre las poblaciones bacterianas de la rizosfera del cultivo de caña de azúcar. <i>Erika Chávez Ibañez, Aida Hamdan Partida, Juan Esteban Barranco Florido, Silvia Rodríguez Navarro, Jaime Bustos Martínez y Víctor Hugo Marín Cruz</i>	15
Presencia de los plaguicidas organoclorados en hortalizas (espinaca y lechuga) comercializadas en la Ciudad de México. <i>Rutilio Ortiz Salinas, Rey Gutiérrez Tolentino, Giovanna P. Briseño L., M. Trinidad Damián G., Georgina Urban C. y Salvador Vega L.</i>	29
El vínculo entre el Estado y las Empresas Transnacionales en el Desarrollo de la Biotecnología Agrícola y Propiedad Intelectual. Refuncionalización del Estado en su vínculo con las grandes empresas transnacionales. <i>Arcelia González Merino</i>	47
Feminización rural: una aportación metodológica-empírica del suroeste del estado de Jalisco en el Occidente de México. <i>Patricia Beas Roque, Peter R. W. Gerritsen y Arturo Moreno Hernández</i>	69
Diámetro de folículos determinado con ultrasonido en ovarios de bovino obtenidos en matadero. <i>Filiberto Fernández Reyes y Esmeralda Mónica Peña González</i>	93

Aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de Mexico y sus efectos en el Valle del mezquital.

*María Guadalupe Ramos Espinosa, Fernando de León González
y Martín López Hernández*

113

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Efectos metabólicos y molecular del estrés calórico en el ganado.

Román Espinosa Cervantes y Alejandro Córdova Izquierdo

139

Guía de autores

157

Editorial

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* es una publicación del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, desde el año 1990. Su publicación se inició en forma impresa, no obstante, en los últimos años se ha venido consolidando como revista electrónica. En esa línea, la revista prosigue su proceso de mejora continua de sus procesos editoriales, apegándose a los criterios de calidad que emiten los organismos especializados. Por ello, en los últimos números se han mantenido contenidos con un mayor número de colaboraciones, aun cuando esto ha propiciado ciertos retrasos en la aparición de la revista. En cualquier circunstancia, se valoran los avances alcanzados, que esencialmente pueden atribuirse a los autores, árbitros, comentaristas y editoras, así como al respaldo de la Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.

Desde la dirección de la revista se ha actuado para elevar la calidad de las contribuciones, agilizar los periodos de interacción entre autores y árbitros, aumentar la cartera de éstos y ampliar la difusión de la revista para captar mayor número de contribuciones. 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 y medio ambiente propongan aportaciones derivadas de sus investigaciones. La participación puede ser directa o por medio de la invitación de pares académicos, estudiantes de posgrado y cualquier otro actor con potencial para proponer trabajos susceptibles de ser publicados.

En este número también se presentan siete contribuciones, las primeras cinco corresponden a artículos de investigación y los dos últimos a artículos de revisión. En el primer artículo se evalúan los efectos de los conidios y extractos de *Beauveria bassiana*, así como del insecticida sistémico Furadan® sobre la rizosfera del suelo. Se detectó que los conidios de *B. bassiana* no tienen ningún efecto en la comunidad microbiana, los extractos crudos y la fracción mayor a 10 kDa disminuyeron la diversidad microbiana y

con la fracción menor a 10 kDa se redujo más la diversidad, debido a que está constituida por moléculas con actividad antimicrobiana, insecticida y acaricida. Los resultados más significativos se obtuvieron con el Furadan®, por su mayor efecto en la disminución de la composición microbiana. Las biomoléculas con actividad insecticida de *Beauveria bassiana* modifican la microbiota con menor impacto respecto al Furadan® y abren nuevas líneas de investigación para el control de plagas rizófagas de importancia agrícola.

En el segundo artículo se estiman las concentraciones de plaguicidas organoclorados en lechuga y espinaca comercializadas en la Ciudad de México. Se colectaron muestras de Puebla, Texcoco, Guanajuato y Ciudad de México (Xochimilco y Mixquic) en el periodo de cosecha previo a su comercialización. Las concentraciones de plaguicidas organoclorados en las dos hortalizas fueron muy variables entre los sitios de colecta. Para el caso de la espinaca se detectaron 14 plaguicidas organoclorados, destacando principalmente el β -HCH, seguido por el Endrín y el Heptacloro; mientras que para la lechuga se presentó el γ -HCH, Heptacloro, Endosulfan I y Endrín. En ambos casos no se rebasó el valor del límite permisible de 2000 ng/g establecido por el *Codex Alimentarius*. Este tipo de análisis químico se ha revelado como indispensable para asegurar la inocuidad de los productos hortícolas.

En el siguiente artículo se analiza el papel que ha tenido el Estado norteamericano en el desarrollo de la biotecnología agrícola moderna, y cómo es que ha refuncionalizado su papel para fomentar el avance de esta tecnología en manos de las grandes empresas transnacionales, incluido el sistema de propiedad intelectual. Se analiza también el papel del Estado mexicano en la gestión pública de la biotecnología agrícola moderna y las estrategias de producción y comercialización de Monsanto.

En el cuarto artículo se examina el papel de las mujeres en la toma de decisiones agropecuarias, a partir de la construcción de un índice de feminización del manejo agropecuario en el sur del estado de Jalisco. Se encontraron diferentes grados de participación y diferentes factores que influyen en el tipo de decisiones que las mujeres campesinas toman. Se concluye sobre la heterogeneidad femenina del manejo agropecuario y que su aplicación podría adaptarse a otros ámbitos económicos, como la industria y los servicios, en que las mujeres rurales también toman decisiones trascendentes.

En la quinta contribución se determinó el diámetro de los folículos presentes en ovarios de vacas Holstein colectados en matadero, mediante una regla métrica y ultrasonido, para verificar si la observación externa de los folículos en los ovarios corresponde con el diámetro interno de dichos folículos. Se concluyó que este procedimiento de medición del diámetro folicular presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) en ovarios de bovino obtenidos en matadero y permitió confirmar que el diámetro de los folículos

es similar para los folículos de ovarios izquierdos y derechos ($P < 0.05$). La evaluación de la maduración *in vitro* de 36 ovocitos obtenidos de ovarios izquierdos fue de 88.8% y en 35 ovocitos provenientes de ovarios derechos fue de 88.5% ($P > 0.05$), por lo que es factible la obtención de ovocitos de buena calidad para su maduración *in vitro* por ambos métodos y ambos ovarios, izquierdos y derechos.

En la siguiente contribución se presenta un artículo de revisión en torno a investigaciones realizadas sobre las aguas residuales que riegan el Valle del Mezquital; esta revisión abarca los últimos 25 años y se refiere a un sistema de extracción de aguas residuales que fue planeado de esta forma desde hace más de un siglo, lo cual ha traído ventajas y desventajas para la zona citada y los Distritos de Riego 03 y 100. En esta revisión dominan, en orden decreciente, los trabajos reportados sobre agua, suelo, cultivos, aspectos ambientales y sociales. De alguna manera se discute la interacción socioeconómica y ambiental entre la zona metropolitana del Valle de México, el Valle del Mezquital y los Distritos de Riego relacionados con la Zona de Estudio.

Se cierra con una revisión sobre los efectos del incremento de la temperatura sobre el bienestar y la productividad de los animales. En la actualidad se conoce que el estrés calórico tiene efecto sobre la producción de radicales libres, provocando estrés oxidativo a nivel celular y mitocondrial en los animales. Además, redistribuye los componentes corporales como la grasa, la energía y las proteínas, alterando el metabolismo postabortivo. Así, esta revisión describe los cambios celulares, moleculares y metabólicos que ocurren durante el estrés calórico en los animales.

Por último, se reitera que el proceso de mejora general en que se mantiene la revista se reforzará para que se logre el reconocimiento necesario que atraiga a nuevos autores y lectores, por tanto, son bienvenidas todas las sugerencias y observaciones que se consideren pertinentes y coadyuven en este proceso. A la vez, esta publicación está abierta a todas las propuestas académicas de calidad que se puedan publicar.

Adolfo Álvarez Macías
Director

Política de la revista

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* continua con el respaldo del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, así como de otras autoridades que están comprometidas con la misión de publicar regularmente y avanzar en la consolidación de esta publicación, a fin de que mantenga su función como instrumento de promoción y difusión del trabajo científico del personal académico del propio Departamento, así como de sus pares académicos y todos los interesados en sus temas eje.

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 los territorios rurales, en el marco de un sistema alimentario mundial en permanente evolución.

Las temáticas que se privilegian en esta publicación comprenden los procesos que inciden en la confección de los distintos modelos de producción agropecuaria, silvícola, acuícola y pesquera, así como las actividades conexas al desarrollo rural bajo los métodos de análisis y la aplicación del conocimiento biológico, ambiental y socioeconómico, sin olvidar los análisis interdisciplinarios que se vienen construyendo. 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 y culturales– que enfrentan las sociedades a través de sus territorios rurales, la agricultura, los recursos naturales, la alimentación y el desarrollo regional. En esa lógica, se trata de que se discutan y formulen alternativas de solución para los diversos 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 esa 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. En ese marco, 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.

De esta forma, 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 segunda 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. Finalmente, nos gustaría subrayar que esta revista está inscrita en LATINDEX, así como en PERIODICA, esperando en el futuro cercano avanzar en ese sentido.

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>.

Efecto del extracto crudo de *Beauveria bassiana* sobre las poblaciones bacterianas de la rizosfera del cultivo de caña de azúcar

Erika Chávez Ibañez,¹ Aida Hamdan Partida,² Juan Esteban Barranco Florido,³ Silvia Rodríguez Navarro,⁴ Jaime Bustos Martínez² y Víctor Hugo Marín Cruz⁵

Resumen. Suelo de caña de azúcar fue expuesto a conidios y extractos de *Beauveria bassiana*, así como al insecticida sistémico Furadan® para evaluar su efecto en la rizosfera del suelo. Los cambios en la diversidad de poblaciones microbianas del suelo fueron analizados por DGGE. Los conidios de *B. bassiana* no tienen ningún efecto en la comunidad microbiana, los extractos crudos y la fracción mayor a 10 kDa disminuyeron la diversidad microbiana y con la fracción menor a 10 kDa se redujo más la diversidad, debido a que está constituida por moléculas con actividad antimicrobiana, insecticida y acaricida, sin embargo, los resultados más significativos se obtuvieron con el Furadan®, ya que tiene un mayor efecto en la composición microbiana, disminuyéndola drásticamente. Las biomoléculas con actividad insecticida de *Beauveria bassiana* modifican la microbiota con menor impacto respecto al Furadan® y proporcionan nuevas líneas de investigación para disminuir la aplicación de insecticidas al suelo; utilizados para el control de plagas rizófagas de importancia agrícola.

Palabras clave: Rizosfera, Extracto crudo, *Beauveria bassiana*, Poblaciones bacterias.

¹ Maestría de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad-Xochimilco.

² Departamento de Atención a la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad-Xochimilco.

³ Departamento de Sistemas Biológicos, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad-Xochimilco.

⁴ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad-Xochimilco, e-mail: srodnararro@gmail.com

⁵ Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad-Xochimilco.

Abstract. Sugar cane soil was exposed to conidia and extracts of *Beauveria bassiana*, as well as to the systemic insecticide Furadan® to assess their effect on the rhizosphere. Changes in diversity of the soil's microbial populations were analyzed using DGGE. *B. bassiana* conidia have no effect on the microbial community, crude extracts and the fraction above 10 kDa reduced the microbial diversity, whereas with the fraction under 10 kDa the diversity dropped even more, since it comprises molecules with antimicrobial, insecticidal and anti-mite activities. Nonetheless, the most significant results were obtained with Furadan®, which has a greater effect on the microbial composition, reducing it drastically. *B. bassiana* biomolecules with insecticidal activity do modify the microbiota with a lesser impact compared to Furadan® and provide new research lines to moderate the use of insecticides in the soil, with the aim of controlling agriculturally important root-eating pests.

Keywords: Rhizosphere, Crude extract, *Beauveria bassiana*, Bacteria populations.

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.; Poaceae) es de gran importancia económica; se reporta una superficie cosechada de 767 mil 231 hectáreas y un volumen industrializado de caña molida bruta de 56 millones de toneladas (SIAP, 2017) que generan 440 mil empleos directos y 2.5 millones de empleos indirectos (Mejía *et al.*, 2010). En el estado de Morelos se produce 2 090 722 toneladas de caña de azúcar (INEGI, 2017), siendo uno de los factores limitantes para su desarrollo la proliferación de plagas, como las larvas de “gallina ciega” (Coleoptera: Melolonthidae), que generan daños y una disminución del rendimiento entre 20 y 40%, en diversas regiones agrícolas de México (Chavez *et al.*, 2014).

En Morelos se aplican insecticidas como el Furadan® para reducir su población, la que ha venido ocasionado daños a la salud humana y al ambiente (Aragón *et al.*, 2012). Por tal motivo surge la necesidad de utilizar hongos entomopatógenos, que reducen las poblaciones de plagas (González *et al.*, 2012). *Beauveria bassiana* es un hongo filamentoso que produce metabolitos secundarios, generalmente son depsipéptidos cíclicos de bajo peso molecular como: beauvericina, beauverólido y basianólido, que tienen actividades antibacterianas, antifúngicas, citotóxicos, insecticidas, acaricidas y nematocidas (Wang *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2008; Borges *et al.*, 2010; Arboleda *et al.*, 2011); poseen baja toxicidad en humanos y no necesitan requerimientos especiales para su empleo. Estas biomoléculas contienen alto potencial de acción insecticida y pueden ser una alternativa para el control de plagas y con ello evitar el uso de agroquímicos sistémicos.

La rizosfera es la fase del suelo en la que los minerales y los microorganismos se encuentran en estrecha relación con las raíces de las plantas, desempeñan funciones de procesos de edafogénesis, ciclos biogeoquímicos, fertilidad de las plantas y protección frente a patógenos y degradación de compuestos xenobióticos (Chaudhry *et al.*, 2012). Las poblaciones microbianas de la rizosfera lo constituyen grupos de bacterias (dominio Bacteria), arqueas (dominio Arquea), hongos, microalgas y protozoarios (dominio Eukarya); estos grupos representan 90% del total de la microbiota del suelo, y otro 10% lo constituyen la microfauna (nematodos y artrópodos).

Estos microorganismos desempeñan un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos, así como el reciclamiento de compuestos orgánicos, también contribuyen en la nutrición y salud de la planta, la estructura y fertilidad del suelo. Sin embargo, no se ha evaluado el efecto que tendrían los insecticidas sistémicos en la rizosfera y de los metabolitos de *B. bassiana* con actividad insecticida y potencial actividad antibiótica que pueden afectar potencialmente la diversidad microbiana de la rizosfera, también se desconoce cómo pueden influir en los ecosistemas subterráneos (Kirk *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 2008). Recientemente, proyectos de análisis de metagenomas de procariotas y eucariotas muestran todas las poblaciones microbianas que se encuentran en este entorno (Hayat *et al.*, 2010) y que permiten evaluar el impacto ambiental de metabolitos con actividad insecticida. Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de los metabolitos y enzimas del extracto crudo de *B. bassiana* sobre la comunidad microbiana de la rizosfera de un cultivo de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de muestras de la rizosfera de caña de azúcar

El 4 de abril de 2013, se obtuvieron 3 muestras del suelo de la rizosfera de caña de azúcar de tres campos cañeros del municipio de Zacatepec, Morelos, localizado al norte 18° 41', al sur 18° 37' de latitud norte; Al este 99° 11', al oeste 99° 14' de longitud oeste, A una altura media de 910 msnm: M1 Campo Jojutla, localizado 98° 59' 33.13" O, 18° 6' 52.13" N; M2 Campo San Juanes, localizado 99° 14' 23.02" O, 18° 3' 35.13" N y M3 Campo Puente de Ixtla, localizado 99° 0' 2.79" O, 18° 6' 52.13" N (Plan Municipal de Desarrollo Zacatepec 2009-2012). Estas muestras se utilizaron para la estandarización del método de extracción de ADN. Se realizaron cuadrantes de 50x50 cm y 30 cm de profundidad; el suelo fue colectado en bolsas herméticas nuevas de aproximadamente 100 g, y se trasladaron

en hieleras a la UAM-Xochimilco. Para la evaluación de la comunidad microbiana de la rizosfera se utilizó el suelo del Puente de Ixtla, Morelos.

Microorganismo y condiciones de cultivo

Se utilizó el aislado 11 de *Beauveria bassiana* y se mantuvo en agar dextrosa papa, a 28° C por 10 días. El cultivo sólido se realizó en matraces Erlenmeyer usando como soporte bagazo de caña, medio de sales y caparazón de camarón. Las condiciones del cultivo sólido fueron: humedad inicial 75%, pH 5 y temperatura de 25°C. La inoculación fue con 1×10^8 conidios (g Peso húmedo)⁻¹ (Barranco *et al.*, 2009).

Obtención de conidios y extracto crudo

A cada matraz se agregó 50 mL de Tween 80 al 0.05%, y se agitó por 5 minutos; la cantidad de conidios se determinó en una cámara de Neubauer. Para la obtención del extracto crudo después de 15 días, se pesó el contenido y se agregó agua porción 1:1 (p:v), se centrifugó a 10 000 rpm por 10 minutos a 4°C y se filtró con una membrana de nitrocelulosa de corte de 10kDa y se mantuvieron en refrigeración a 4°C (Chávez *et. al.*, 2014).

1. Estandarización de la técnica de extracción del ADN y amplificación del gen 16S del ARNr de la rizosfera de caña de azúcar

Para la extracción del ADN se utilizaron 600 mg de suelo sin tamizar y suelo tamizado con las técnicas de Sonicación-Fenol-Cloroformo y Bead-Beater-Fenol-Cloroformo propuesto por Hamdan (2004) y dos equipos comerciales IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction (GeneReach Biotechnology Corp.) y Fast ID Genomics DNA Extraction (Genetic ID), de acuerdo con los protocolos proporcionados por los fabricantes.

2. Cuantificación de ADN

Se determinó la concentración de ácidos nucleicos, proteínas y ácidos húmicos en un NanoDrop 2000 Thermo Scientific®. Se ajustó utilizando agua destilada como blanco. Se midió la absorbancia de los ácidos nucleicos a 260 nm, las proteínas a 280 nm y los ácidos

húmicos a 230 nm. Una unidad de absorbancia es equivalente a $50 \mu\text{g mL}^{-1}$ de ADN (Shan *et al.*, 2008). Los coeficientes de las absorbancias permiten evaluar la presencia de proteínas a 260 / 280, de ácidos húmicos y otros contaminantes 260 / 230.

3. Amplificación por PCR para la región V6-V8 del gen 16S del ARNr

Para la amplificación del gen 16S del ARNr se utilizaron los siguientes iniciadores: 8 for 5'-AGACTTTGATCMTGGCTCAG-3' y 1492 rev 5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3'. Para la región V6-V8 se utilizaron los iniciadores: GC968 for 5'-CGCCCGGGGCGCGCCC-CGGGCGGGGCGGGGGCACGGGGGAACGCGAAGAACCTTACC-3' y UNI1401 rev 5'-GCGTGTGTACAAGACCC-3' (Muyzer *et al.*, 1993).

La mezcla de la reacción contiene: 1X amortiguador 10X, 400 ng/ μL albúmina sérica bovina, 1.5 mM MgCl_2 , 10 mM de dNTP's, 10 pmol/reacción iniciador GC968for, 10 pmol/reacción, iniciador UNI 1401rev, 1 U/ μL *Taq* polimerasa y 0.25 μg de ADN por muestra. El termociclador BioRad® fue utilizado bajo las siguientes condiciones: pre-desnaturalización 94°C por 5 min, desnaturalización 94°C por 30 s, alineación 55°C por 20 s, elongación 72°C por 40 s 35 ciclos del paso 2 al 4 y post-elongación 72°C por 7 min. Los productos de la amplificación por PCR se visualizaron en un gel de agarosa al 1% en amortiguador TAE 1X, con bromuro de etidio en un transiluminador BioRad®.

4. Electroforesis en Gel con Gradiente de Desnaturalizante

Se preparó un gel al 8% de acrilamida /Bis 37:5:1 (2.6% C) (BioRad®) en buffer TAE 1X con un gradiente desnaturalizante paralelo de 30 a 60%, el equipo del DGGE fue BioRad®, DCode® (Universal Mutational Detection System). Nota: las soluciones de acrilamida/Bis se prepararon en tubos separados con un volumen de 20 mL⁻¹. Para el tubo del 30% se colocó 4 mL⁻¹ de acrilamina/Bis al 40%, 0.4 mL⁻¹ de buffer TAE 50X, 2.4 mL⁻¹ de formamida, 2.52 g de urea, 10.68 mL⁻¹ de agua destilada. El tubo al 60% contenía 4 mL⁻¹ de buffer TAE 50X, 4.8 mL⁻¹ de formamida, 5.04 g de urea, 5.36 mL⁻¹ de agua destilada y 0.4 mL⁻¹ de DCode Dye Solution. Se añadió el persulfato de amonio a una concentración final de 0.75% (v/v) (150 μL^{-1} /20 mL⁻¹) y el TEMED al 0.1% (v/v) (20 μL^{-1} /20 mL⁻¹). Se corrió el gel a las siguientes condiciones: Amortiguador TAE 1X, temperatura del buffer: 60°C, voltaje y tiempo de corrida: 200 V por 5 minutos y posterior a 85 V por 16 horas, se conectó la fuente de poder Power Pac 300, BioRad®.

5. Evaluación de la dinámica de la rizosfera de la caña de azúcar por conidios y metabolitos de *Beauveria bassiana*

Para evaluar el efecto de conidios y metabolitos del cultivo de *B. bassiana* sobre la dinámica poblacional de la rizosfera del suelo de Puente de Ixtla, Morelos, a los 7 días y 15 días; en cada unidad experimental se colocó 150 g; los tratamientos fueron: T1, Suelo control (agua destilada); T2, Suelo con conidios ($1 \times 10^7 / \text{mL}^{-1}$); T3, Suelo con extracto crudo, con peso molecular menor a 10kDa; T4, Suelo con extracto crudo con peso molecular mayor a 10kDa; T5, Suelo con extracto crudo y T6; Suelo con Furadan® (0.2 ml en 100 ml agua). Se aplicaron 8 ml de cada tratamiento, con tres repeticiones, posteriormente se colocaron en una cámara bioclimática Lumistel® a 25 °C y 50% de humedad.

6. Análisis de la dinámica de poblaciones bacterianas

Para el análisis de la dinámica de poblaciones bacterianas de la rizosfera de caña de azúcar se utilizaron los Software: GeneTools Versión 3.07 de SynGen UK y GeneDirectory Versión 1.02 de SynGen UK.

RESULTADOS

1-2. Estandarización de la técnica de extracción del ADN y amplificación del gen 16S del ARNr de la rizosfera de caña de azúcar y cuantificación del ADN

La tabla 1 muestra el ADN aislado de muestras de la rizosfera con las diferentes técnicas de extracción. Se utilizaron equipos comerciales y Sonicación-Fenol-Cloroformo. Los métodos Fast ID y IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction fueron los procedimientos que tuvieron las concentraciones mas bajas de ADN extraído, que corresponden a 11.9 y 22.3 ng μL^{-1} , respectivamente. Mientras que en el método Bead-Beater-Fenol-Cloroformo se obtuvo una concentración de 43.5 ng μL^{-1} , y la concentración más alta de DNA fue con el método Sonicación-Fenol-Cloroformo (207.3 ng μL^{-1}). Sin embargo, todas las muestras presentan contaminantes, principalmente de ácidos húmicos que interfieren en las reacciones de amplificación del gen. Respecto al coeficiente 260 / ADN 230, los métodos Bead-Beater-Fenol-Cloroformo y Fast ID Genomics DNA Extraction tuvieron valores menores a 2, lo que indica la presencia de contaminantes de ácidos húmicos. Mientras que el método Sonicación-

Fenol-Cloroformo mostraron valores mayores a 2.2. En relación del coeficiente A260 / A280, que corresponde a la pureza del ADN, todos los métodos de extracción presentaron valores menores a 1.8, que es indicativo de la presencia de proteínas en las muestras.

Tabla 1. Concentración y pureza del ADN con cuatro métodos de extracción

Método de extracción	Concentración de ADN ng μ L ⁻¹	Coeficiente 260/230	Coeficiente 260/280
Bead Beater-Fenol-Cloroformo	43.5	1.80	0.07
Sonicación -Fenol-Cloroformo	207.3	2.30	0.75
Fast ID Genomics DNA Extraction	11.9	1.95	0.19
IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction	22.3	-----	-----

3. Amplificación por PCR para la región V6-V8 del gen 16S del ARNr

Para la amplificación de la región V6-V8 del gen 16S del ARNr se utilizaron los ADN de los métodos de extracción: Bead-Beater-Fenol-Cloroformo, IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction y Sonicación-Fenol-Cloroformo. No se amplificó la región V6-V8 del gen 16S del ARNr, con los métodos IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction y Sonicación-Fenol-Cloroformo debido a que con estos métodos arrastran muchos compuestos que interfieren en la amplificación por PCR, principalmente proteínas y ácidos húmicos. Mientras que con el método de extracción Bead-Beater-Fenol-Cloroformo se obtuvo una ampliación de 433 pb, como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Amplificación de la región V6-V8 del gen 16S ARNr de las muestras de suelo con diferentes métodos de extracción de ADN

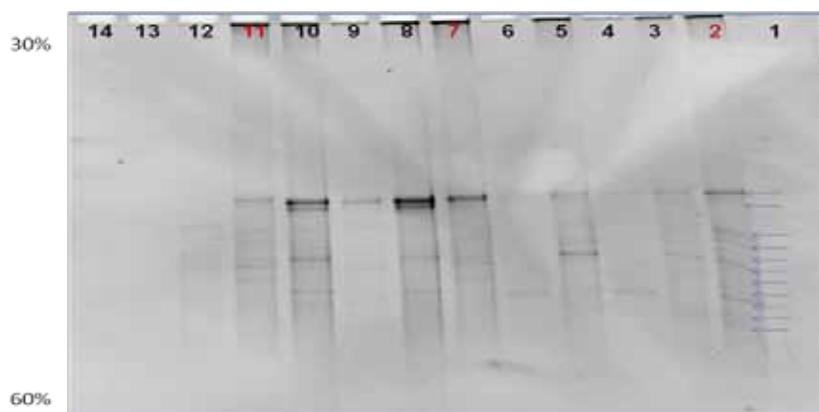


Carril 1: Marcador 100 pb, Carril 2: M1 campo Jojutla, Carril 3: M2 campo San Juanes, Carril 4: M3 campo Puente de Ixtla, Carril 5: M1 Jojutla, Carril 6: M2 campo San Juanes, Carril 7: M3 campo Puente de Ixtla, Carril 8: M1 campo Jojutla, Carril 9: M2 campo San Juanes, Carril 10: M3 campo Puente de Ixtla, Carril 11: Control positivo (cepa Control), Carril 12: Control negativo (control de reactivos).

4. Electroforesis en Gel con Gradiente de Desnaturalizante

Los productos de la amplificación el gen 16S del ARNr de la región V6-V8 se analizaron en un gel de poliacrilamida al 8% con un gradiente de desnaturalizante del 30-60%, se observó un perfil de bandeos que corresponde a los amplicones de la región V6-V8 de la dinámica de poblaciones presentes en la rizosfera después de los métodos de extracción del ADN. Los mejores resultados se presentan al utilizar el método de Bead-Beater-Fenol-Cloroformo, que corresponden a los carriles 2, 7 y 11, observándose una mayor densidad poblacional bacteriana de la rizosfera de caña de azúcar, ya que se detectaron 12 poblaciones predominantes diferentes de bacterias. Mientras que con los métodos de los equipos comerciales Fast ID Genomics DNA Extraction y IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction, se observaron 10 poblaciones y pocas poblaciones bacterianas, respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Perfiles genómicos de comunidades microbianas del gen 16S del RNAr, del suelo de Puente de Ixtla con diferentes metodos de extracción de ADN (DGGE al 30-60%)



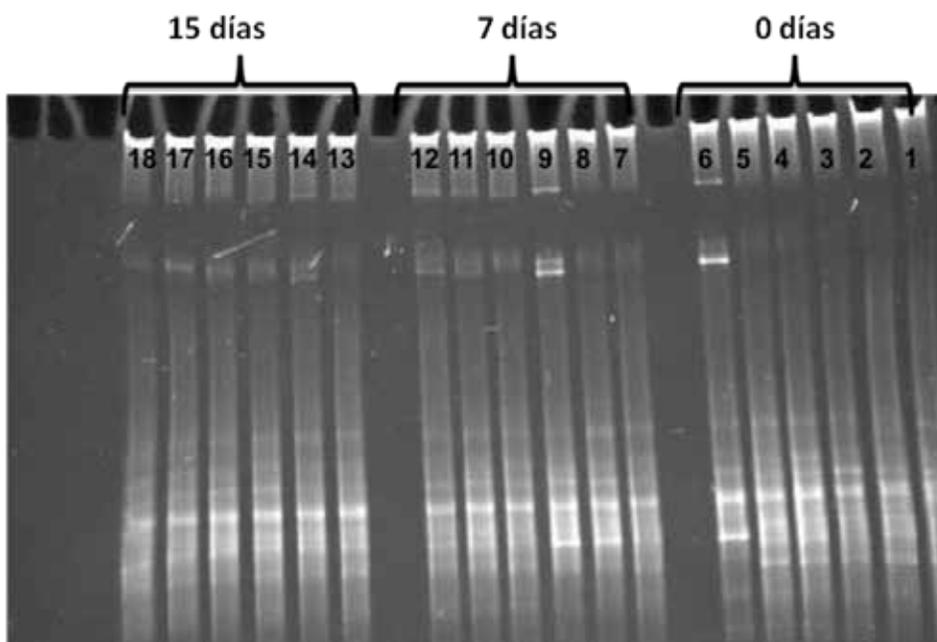
Carril 1: Control negativo; Carril 2: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Bead-Beater-Fenol-Cloroformo; Carril 3: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Fast ID Genomics DNA Extraction; Carril 4: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Fast ID Genomics DNA Extraction; Carril 5: ADN obtenido de una muestra de suelo por método Fast ID Genomics DNA Extraction; Carril 6: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction; Carril 7: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Bead-Beater-Fenol-Cloroformo; Carril 8: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Fast ID Genomics DNA Extraction; Carril 9: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Fast ID Genomics DNA Extraction; Carril 10: DNA obtenido de una muestra de suelo por el método Fast ID Genomics DNA Extraction; Carril 11: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Bead-Beater-Fenol-Cloroformo; Carril 12: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método Fast ID Genomics DNA Extraction; Carril 13: ADN obtenido de una muestra de suelo por el método IQEXT-Silica, Nucleic Acid Extraction; Carril 14: Control negativo.

5. Evaluación de la dinámica de la rizosfera de la caña de azúcar por conidios y metabolitos de *Beauveria bassiana*

En el bioensayo, al tiempo inicial se observaron alrededor de 10 poblaciones en todos los tratamientos (Figura 3, carriles 1 al 6). A los siete y quince días en los tratamientos control y conidios, el número de poblaciones fueron entre 9 y 10 (carriles 7, 8, 13 y 14); cuando se aplicó el extracto crudo de *B. bassiana*, así como el extracto correspondiente a la fracción mayor a 10 kDa, se observó una disminución del número de poblaciones microbianas a

siete; la similitud de las mismas varió, como se muestra en la Figura 3, carriles 9, 11, 15 y 17. Con la aplicación del extracto de *B. bassiana*, correspondiente a la fracción que tiene un peso molecular menor a 10 kDa, disminuyeron el número de poblaciones de bacterias a seis (Fig. 3 carriles 10 y 16). Finalmente, con la aplicación del Furadan® el número de poblaciones se reduce a tres (Figura 3 carriles 12 y 18).

Figura 3. Perfiles genómicos de comunidades bacterianas con diferentes tratamientos sobre el suelo de la rizosfera de Puente de Ixtla, Morelos (DGGE al 30-60%)



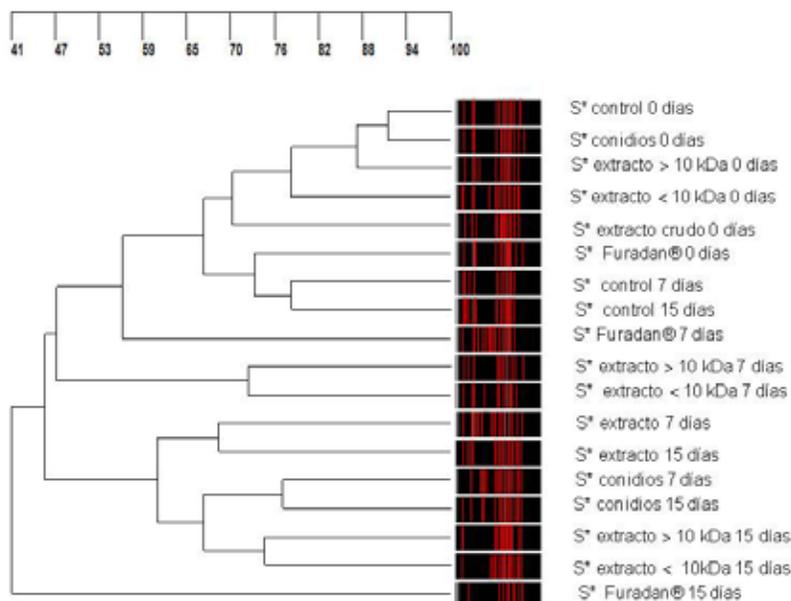
Carril 1: Suelo control sin tratamiento; Carril 2: Suelo con conidios de *B. bassiana*; Carril 3: Suelo con extracto de *B. bassiana* de peso molecular menor a 10kDa; Carril 4: Suelo con extracto de *B. bassiana* de peso molecular mayor a 10kDa; Carril 5: Suelo con extracto de *B. bassiana* filtrado con membrana millipore 045 μ m; Carril 6: Suelo con Furadan®, Carril 7: Suelo control, Carril 8: Suelo con conidios de *B. bassiana*, Carril 9: Suelo con extracto de *B. bassiana* de peso molecular menor a 10kDa; Carril 10: Suelo con extracto de *B. bassiana* con peso molecular mayor a 10kDa; Carril 11: Suelo con extracto de *B. bassiana* filtrado con membrana millipore 045 μ m; Carril 12: Suelo con Furadan®; Carril 13: Suelo control; Carril 14: Suelo con conidios de *B. bassiana*; Carril 15: Suelo con extracto de *B. bassiana* con peso molecular menor a 10kDa; Carril 16: Suelo con extracto de *B. bassiana* con peso molecular mayor a 10kDa; Carril 17: Suelo con extracto de *B. bassiana* filtrado con membrana millipore 045 μ m; Carril 18: Suelo con Furadan®.

6. Análisis de la dinámica de poblaciones bacterianas

En este bioensayo, a los 7 y 15 días se muestra que las poblaciones bacterianas de los suelos controles tienen una similitud de 90%. Al aplicar los conidios de *B. bassiana* presentan una similitud de 86%, mientras que para los extractos crudos de *B. bassiana* la similitud fue de 66%, y para el Furadan® de 57%; las poblaciones bacterianas se modificaron y sólo se localizaron tres poblaciones (Figura 4), de igual manera esto se muestra con el análisis en el DGGE.

En el metagenoma de suelo control y del suelo con conidios no existen diferencias en el número de poblaciones, con un porcentaje de identidad de 100%, aunque sí hay diferencias en el suelo con Furadan®, con un porcentaje de identidad de 88% y suelo tratado con los diversos extractos crudos de *B. bassiana* con 81 por ciento.

Figura 4. Dendrograma del análisis de las poblaciones bacterianas con diferentes tratamientos del suelo de la rizosfera de la caña de azúcar de Puente de Ixtla



Tiempo 0 (inicial) y después de 7 y 15 días de aplicación de los tratamientos. S*=suelo.

DISCUSIÓN

El suelo de la caña de azúcar del sitio de Puente de Ixtla, Morelos, México, está constituido por ácidos húmicos y otros compuestos que afectan el rendimiento de los ácidos nucleicos, así como de su pureza. El mejor método de extracción fue el de Bead Beater-Fenol-Cloroformo, en el que se obtuvo un mayor rendimiento y una mejor remoción de ácidos húmicos (260 / 230) y proteínas (260 / 280) (Tabla 1.); Shan *et al.* (2008) reportan que el mejor protocolo de extracción del ADN para los lodos activos es utilizando el buffer TENP, más 1.8% de SDS con choque térmico porque logran un alto rendimiento de ADN total. Moulas *et al.* (2013) utilizaron el método de extracción del ADN para la filosfera por sonicación, utilizando fosfato de sodio como buffer y un equipo comercial (Macherey-Nagel, Germany).

Para el T1 mostró mayor diversidad microbiana (carril 1), mientras que con la aplicación con conidios de *Beauveria bassiana* (carril 2) no modificó la diversidad bacteriana debido a que en la rizosfera de caña de azúcar intervienen hongos y otros microorganismos, por lo tanto los conidios no pueden perturbar esta diversidad (Figura 3.). Berendsen *et al.* (2012) mencionaron que la rizosfera es la zona estrecha de tierra que se ve influenciada por las secreciones de las raíces, puede contener hasta 1.011 células microbianas de raíz por gramo y más de 30 000 especies procariotas.

Respecto a las poblaciones microbianas de la rizosfera del suelo de caña de azúcar, la aplicación de conidios no afecta a las poblaciones microbianas de la rizosfera y además *B. bassiana* brinda protección a la planta (Berendsen *et al.*, 2012). Respecto a la aplicación de la fracción del extracto con un peso molecular a 10kDa, el número de bandas disminuye debido a que en ese extracto se encuentran depsipéptidos con propiedades antibióticas (Figura 3 y 4) (Xu *et al.*, 2008; Borges *et al.*, 2010).

El impacto que tiene el Furadan® sobre las poblaciones microbianas es similar a lo reportado por Moulas *et al.* (2013) (Figura 3-4) al realizar un análisis poblacional por DGGE del suelo y follaje después de la aplicación de dos insecticidas sistémicos Imidacloprid y Metalaxyl, ambos insecticidas produjeron cambios en las comunidades fúngicas y bacterianas. Mientras que González *et al.* (2012) han mencionado que los insecticidas sistémicos afectan a la microbiota de la rizosfera de la caña de azúcar. Semejantes cambios se observan en comunidades microbianas de los sedimentos cuando se les aplican glifosato, pirimicarb e isoproturón (Widenfalk *et al.*, 2008).

CONCLUSIÓN

El mejor método de extracción del DNA de la rizosfera de caña de azúcar es del Mini Bead-Beater-fenol-cloroformo y la *Taq*-polimeras Flexi (promega).

Los depsipéptidos de *Beauveria bassiana*, con peso molecular menor a 10 kDa y con actividad insecticida, alteran la microbiota de la rizosfera de caña de azúcar con menor impacto respecto al Furadan® (carbamato).

Los metabolitos producidos por *B. bassiana* muestran que sí hay un efecto antibacteriano alterando la microbiota de la rizosfera del cultivo de la caña de azúcar, sin embargo, su efecto es menor que el ocasionado por el Furadan®, por lo tanto se concluye que los metabolitos pueden ser una mejor opción para el manejo de “gallina ciega” en el suelo del cultivo de caña de azúcar sin alterar significativamente las poblaciones bacterianas de la rizosfera.

BIBLIOGRAFÍA

- Aragón, A. *et al.*, 2012, “Fauna de Coleóptera Lamellicornia de la zona cañera del ingenio de Atencingo, Puebla, México”, en *Acta Zoológica Mexicana*, 28(1): 161-171.
- Arboleda, J. *et al.*, 2011, “Cytotoxic activity of fungal metabolites from the pathogenic fungus *Beauveria bassiana*: An intraspecific evaluation of Beauvericin production”, en *Current Microbiology*, 63: 306-312.
- Barranco, E. *et al.*, 2009, “ β -N-Acetylglucosaminidase production by *Lecanicillium (Verticillium) lecanni* ATCC 26854 by soli-state fermetation utilizing shrimp shell”, en *Interciencia*, 34(5): 356-360.
- Berendsen, L. *et al.*, 2012, “The rhizosphere microbiome and plant health”, en *Trends in Plant Science*, 17(8): 478-486.
- Borges, D. *et al.*, 2010, “Metabolitos secundarios producidos por hongos entomopatógenos”, en *ICIDCA Sobre los derivados de la caña de Azúcar*, 44: 49-55.
- Chaudhry, V. *et al.*, 2012, “Changes in Bacterial Community Structure of Agricultural Land Due to Long-Term Organic and Chemical Amendments”, en *Microbial Ecology*, 64(2): 450-460.
- Chávez, 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(3): 226-230.

- González, M. *et al.*, 2012, "Control de insectos-plaga en la agricultura utilizando hongos entomopatógenos: Retos y perspectivas", en *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 4(8): 42-55.
- Hamdan, A., 2004, *Biomonitoreo: seguimiento de poblaciones microbianas en procesos de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*, Tesis de Maestro en Biotecnología, UAM-Iztapalapa, México.
- Hayat, R. *et al.*, 2010, "Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review", en *Annals of Microbiology*, 60: 579-598.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2017, *Anuario estadístico y geografía de Morelos*, 2017, México.
- Kirk, L. *et al.*, 2004, "Methods of studying soil microbial diversity", en *Journal of Microbiological Methods*, 58: 169-188.
- Mejía, E. *et al.*, 2010, *Estudio de caracterización de zonas potenciales de mecanización en las zonas de abasto cañeras*, Colegio de Postgraduados-Sagarpa, 2010, México.
- Moulas, C. *et al.*, 2013, "Effects of Systemic Pesticides Imidacloprid and Metalaxyl on the Phyllosphere of Pepper Plants", en *BioMed Research International*, 1-8.
- Muyzer, G. *et al.*, 1993, "Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA", en *Applied and Environmental Microbiology*, 59(3): 695-700.
- Plan Municipal de Desarrollo Zacatepec 2009-2012, en www.transparenciamorelos.mx/.../plan%20desarrollo%20mpal%20OCA, consultado el 10/10/2017.
- Shan, G. *et al.*, 2008, "Purification of total DNA extracted from activated sludge", en *Journal on Environmental Science*, 20: 80-87.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2017, información de las Delegaciones de la Sagarpa, en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=208, consultado el 09/01/2017.
- Wang, L. *et al.*, 2005, "Effects of toxins from two strains of *V. lecanii* (Hypomycetes) on bioattributes of predatory ladybeetle, *Delphastus catalane* (Col. Coccinellidae)", en *Journal of Applied Entomology*, 129: 32-38.
- Widengalk, A. *et al.*, 2008, "Effects of pesticides on community composition and activity of sediment microbes – responses at various levels of microbial community organization", en *Environmental Pollution*, 152(3): 576-584.
- Xu, Y. *et al.*, 2008, "Biosynthesis of the cyclooligomer depsipeptide beauvericina virulence factor of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*", en *Chemistry & Biology*, 15: 898-907.

Presencia de los plaguicidas organoclorados en hortalizas (espinaca y lechuga) comercializadas en la Ciudad de México

Rutilio Ortiz S.,¹ Rey Gutiérrez T.,^{1*} Giovana P. Guajardo B.,
M. Trinidad Damián G.,¹ Georgina Urbán C.² y Salvador Vega L.¹

Resumen. El objetivo del trabajo fue conocer las concentraciones de plaguicidas organoclorados en lechuga y espinaca comercializadas en la Ciudad de México. Estas hortalizas son muy consumidas dentro de la alimentación mexicana y, en algunos casos, estos productos se comercializan fuera del país, siendo esta una actividad económica importante para las regiones productoras, como es el caso de Xochimilco, Tláhuac, Valle de Ixmiquilpan, Valle de Tehuacán, entre otras regiones. Se colectaron muestras de Puebla, Texcoco, Guanajuato y Ciudad de México (Xochimilco y Mixquic) en el periodo de cosecha previo a su comercialización. Dichas muestras se mantuvieron a una temperatura de 4°C hasta su análisis en el laboratorio, con un total de 11 muestras de cada hortaliza en época de transición de lluvia y seca. Los plaguicidas fueron extraídos a partir de muestras frescas maceradas con sulfato de sodio anhidro en un sistema Soxhlet, empleando como solventes de extracción la mezcla hexano:acetona (1:1 v/v), posteriormente, se purificaron a través de una columna cromatográfica empacada empleando mezclas de hexano:éter etílico (8:2 y 7:3 v/v). El extracto se concentró en un rotavapor y se analizó en un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones (Ni⁶³); la identificación y cuantificación de los analitos fue a través del método del estándar externo. Las concentraciones de plaguicidas organoclorados en las dos hortalizas fueron muy variables entre los sitios de colecta. Para el caso de la espinaca se detectaron 14 plaguicidas organoclorados, destacando principalmente el β -HCH, seguido por el Endrín y el Heptacloro; mientras para la lechuga se presentó el γ -HCH, Heptacloro, Endosulfan I y Endrín. En ambas hortalizas no se supera el valor del límite permisible de 2000 ng/g, establecido por el Co-

¹ Laboratorio de Análisis Instrumental, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

² Insectario, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

* reygut@correo.uam.xoc.mx.

dex Alimentarius. Las concentraciones detectadas demuestran una reducción del uso de este tipo de compuestos para México, ya que algunos de ellos son de uso restringido (heptacloro y epóxido, 0.01 mg/kg; HCH e isómeros 2 mg/kg; DDT 0.2 mg/kg) o prohibido (aldrin, dieldrin y endrin 0.05 mg/kg). Este tipo de análisis químico es importante para garantizar la inocuidad de los productos hortícolas hacia la población consumidora.

Palabras clave: *Plaguicidas organoclorados, Hortalizas, HCH, Heptacloro, Epóxido de heptacloro, Contaminación, Ambiente.*

Abstract. *The objective of this work was to know the concentrations of organochlorinated pesticides in lettuce and spinach commercialized in Mexico City. These vegetables are very consumed within the Mexican diet and in some cases these products can be sold outside the country, this being an important economic activity for the producing regions, such as Xochimilco, Tlahuac, Valley of Ixmiquilpan, Valley of Tehuacan, among other areas. Samples were collected from some producing regions of Xochimilco, Puebla and Guanajuato in the harvest period prior to commercialization. These samples were kept at a temperature of 4°C until they were analyzed in the laboratory with a total of 11 samples of each vegetable in the rainy and dry season. The pesticides were extracted from fresh samples macerated with anhydrous sodium sulfate and placed in a Soxhlet system using the hexane: acetone mixture (1:1 v/v) as extraction solvents; then they were purified through a chromatographic column packed with florisil using mixtures of hexane: ethyl ether (8:2 and 7:3 v/v). The extract was concentrated in a rotary evaporator and analyzed in a gas chromatograph with electron capture detector (⁶³Ni). The identification and quantification of the analytes was through the external standard method. The concentrations of organochlorine pesticides in the two vegetables were very variable among the collection sites. In the case of spinach, 14 organochlorine pesticides were detected, most notably beta HCH, followed by Endrin and Heptachlor; while for the lettuce the range HCH, Heptachlor, Endosulfan I and Endrin; in both samples the values not exceeding the permissible limit of 2000 ng/g proposed by the Codex Alimentarius. The detected concentrations show a reduction of the use of this type of compounds for Mexico since some of them are of restricted use (heptachlor and epoxide, 0.01 mg / kg, HCH and isomers 2 mg / kg, DDT 0.2 mg / kg) or prohibited (aldrin, dieldrin and endrin 0.05 mg / kg). This type of chemical analysis is important to guarantee the innocuousness of horticultural products towards the consuming population.*

Keywords: *Organochlorine compounds, Vegetables, HCH, Heptachlor, Epoxide of heptachlor, Contamination, Environment.*

INTRODUCCIÓN

La práctica agrícola en gran parte del mundo se caracteriza por emplear grandes cantidades de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas), que permiten mantener niveles altos de producción y rentabilidad económica. Entre los compuestos químicos más utilizados y de mayor relevancia, debido a sus efectos negativos a la actividad biológica e influencia sobre la salud humana, se encuentran los plaguicidas sintéticos. La utilización de estos compuestos contribuye a la reducción de daños y pérdidas producidas por malezas, insectos y enfermedades infecciosas. En este contexto, existe el problema de la presencia residual de los plaguicidas en los productos alimenticios como un riesgo para la salud pública humana (Benítez *et al.*, 2015; Arellano y Rendón, 2016).

Actualmente, el empleo de plaguicidas en la producción de los cultivos se realiza conforme a las buenas prácticas agrícolas (BPA), para asegurar una inocuidad en función al cumplimiento de los límites máximos permisibles de compuestos contaminantes, lo que reduce los riesgos al consumidor a corto y mediano plazos. Sin embargo, en ocasiones dichos límites son superados, o bien, se tiene la presencia de varios plaguicidas en un mismo producto, y aun cuando las concentraciones se registran por debajo de los valores aceptables, existe una acumulación dentro de un organismo denominado bioacumulación (Pérez *et al.*, 2013).

Los plaguicidas organoclorados (POC) tienen propiedades físico químicas que les confieren una alta estabilidad, haciéndolos insolubles al agua, volátiles, altamente solubles en disolventes orgánicos y afines a los tejidos o compuestos grasos de los alimentos (Murga *et al.*, 2017).

La dispersión de los plaguicidas organoclorados en el ambiente ha provocado alteraciones en las poblaciones de insectos benéficos, aves, anfibios, peces y pequeños mamíferos, por lo que ha originado la formulación de nuevos productos y regulaciones estrictas en el uso y aplicación de los compuestos químicos. La aplicación de los plaguicidas en los cultivos no sólo causan una contaminación local, sino pueden llegar a ser una contaminación global acorde a las situaciones propias del compuesto y de las variables ambientales del lugar, como la temperatura, humedad, radiación, entre otros (Carvalho, 2017).

Las vías de entrada de los plaguicidas en los organismos pueden ser varias y simultáneas, siendo las más comunes: la vía dérmica, digestiva y respiratoria. La absorción depende de las propiedades de la fórmula y de la vía de entrada, que determinan su transporte en el cuerpo hasta almacenarse en sitios específicos. Los plaguicidas se distribuyen en el organismo a través del torrente sanguíneo; según su afinidad, éstos se fijarán

en los órganos como el hígado o riñones, y aquellos que son lipofílicos se acumulan en tejidos como el adiposo y el nervioso, tal es el caso de diclorodifeniltricloroetano (DDT) (Hernández *et al.*, 2014).

Por lo anterior, el ingreso en los humanos es principalmente por la ingesta de alimentos contaminados (Pérez *et al.*, 2013), por lo cual resulta de primordial importancia detectar residuos de plaguicidas en hortalizas. De acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016), entre las principales hortalizas de consumo a nivel nacional y de exportación se encuentra la lechuga (*Lactuca sativa* L.), cilantro (*Coriandrum sativum* L.) y espinaca (*Spinacia aleracea* L.).

Actualmente se ha reportado la presencia de residuos de POC en varias muestras ambientales (aire, agua y suelo), además de alimentos de origen animal y vegetal. De acuerdo a Cantín *et al.* (2016) en productos hortícolas de Aragón, España, se detectó que la acelga y la col presentaron la carbendazima+benomilo; en borraja con imidacloprid y en el puerro con procimidona, dichos plaguicidas no cuentan con autorización de uso.

Los plaguicidas organoclorados son considerados como contaminantes orgánicos persistentes debido a su alta persistencia en el medio ambiente, donde la vida media es de 5 años, aunque varía según el producto. Por ejemplo, para el β hexaclorociclohexano (β -HCH) es de 3 años, para el Aldrín 6 años y para el DDT es de 30 años (Hernández *et al.*, 2014). Aunque estos plaguicidas fueron prohibidos desde finales de los ochenta en México, existe aún la comercialización de formulaciones o productos rezagados con distintos nombres comerciales como una opción de bajo costo.

Los mercados de alimentos a nivel nacional e internacional exigen sistemas de buenas prácticas de higiene y sanidad que reduzcan los riesgos de contaminación biológica, física y química, por lo que se han creado certificados, reglamentos y normas con la finalidad de incrementar la vigilancia de los productos de origen agrícola (Senasica, 2010; SIAP, 2013 PROY-NOM-001-SAG-FITO/SSA1-2013).

En la actualidad, los Límites Máximos Permisibles (LMP) son específicos en forma individual para cada plaguicida; la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha desarrollado una metodología para la evaluación del riesgo acumulativo que tiene en cuenta los posibles riesgos que se deriven por la presencia simultánea de diferentes residuos en un mismo alimento (Cantín *et al.*, 2016).

Actualmente, la seguridad alimentaria está basada en el cumplimiento de la normativa nacional e internacional, por lo que las hortalizas, al ser productos de gran demanda, deben estar dentro de los parámetros reglamentarios para asegurar la inocuidad del producto hacia los consumidores. El objetivo del presente trabajo fue conocer las

concentraciones de plaguicidas organoclorados en espinaca y lechuga que se comercializan en el sur de la Ciudad de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Se realizaron tres muestreos (mayo a julio) aleatorios sistemáticos, donde se colectaron espinacas de la Ciudad de México (San Gregorio, Mixquic, Tláhuac, Topilejo), Puebla y un supermercado, además de lechugas provenientes de Puebla, Texcoco, Guanajuato y Ciudad de México (Xochimilco y Mixquic), obteniendo muestras representativas de cada terreno en función de la superficie de cultivo, aproximadamente media hectárea, con una colecta de 5 a 7 hortalizas. Las muestras de espinaca y lechuga fueron envueltas en papel aluminio y guardadas en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta. El material se transportó al laboratorio en una hielera a una temperatura de 4°C aproximadamente (Senasica, 2010).

Extracción de los plaguicidas organoclorados

El material de cristalería se preparó con jabón HYCLIN libre de fosfatos y posteriormente con enjuagues de solventes de alta pureza grado cromatográfico (acetona, metanol y hexano, JT Baker). De acuerdo con Gutiérrez *et al.* (2015), se consideró una muestra representativa a partir de la parte externa, media e interna de la lechuga, mientras que para la espinaca fueron las hojas externas e internas, obteniendo un peso aproximado de 15 gramos de muestra, que se maceraron en un mortero con 5 gramos de sulfato de sodio anhidro, posteriormente se colocaron en un dedal de celulosa.

La muestra se colocó en un equipo Soxhlet, empleando 180 mL de una mezcla de solventes de hexano:acetona grado HPLC (1:1v/v), durante 8 horas; posteriormente, la muestra fue concentrada en un rotavapor (Buchi). El extracto orgánico se purificó a través de una columna cromatográfica (30 cm de largo por 2.5 cm de ancho), empacada con florisil (previamente tratado y desactivado con agua bidestilada al 5%). Los solventes adicionados a la columna para la obtención de los plaguicidas organoclorados fue una mezcla de hexano:éter etílico de 30 mL (9:1 v/v) y 20 mL (8:1 v/v), respectivamente, colectados en un matraz de fondo plano. El extracto nuevamente se concentró en el

rotovapor a un volumen de aproximadamente 1 mL y se trasvaso a un vial para posteriormente evaporar el solvente en un sistema Millivap con flujo de nitrógeno. Una vez seca la muestra se adicionó isooctano grado cromatográfico para su análisis en cromatografía de gases con el detector de captura de electrones (GC-ECD).

Análisis cromatográfico

Para la identificación y cuantificación se utilizó un cromatógrafo de gases HP Serie 6890 con detector de captura de electrones (ECD Ni⁶³) y un sistema de captura de datos Chem Station. La columna capilar empleada fue una HP 5 (30 m x 0.25 mm de diámetro interno x 0.25 μ m de recubrimiento de metil-fenil-silicon al 5%), como gas acarreador helio de alta pureza con un flujo de 6 mL/min, nitrógeno (make up) a 60 mL/min. Las condiciones del horno fueron las siguientes: 90°C por 2 min, seguido de una rampa de 30°C/min para alcanzar una temperatura de 180°C, y nuevamente una rampa de 1°C/min para llegar a 200°C, y seguido de una rampa de 10°C/min para alcanzar una temperatura final de 300°C por 6 minutos. La temperatura del inyector y del detector fue de 320°C; el tiempo de la corrida del análisis fue de 41 minutos. El volumen de inyección de la muestra fue 1 μ L en modo splitless (Gutiérrez *et al.*, 2015).

Los plaguicidas analizados fueron 16 compuestos prioritarios descritos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA): Alfa Hexaclorociclohexano (HCH), Beta HCH, Gama HCH (Lindano), Delta HCH, Heptacloro, Aldrín, Epóxido de heptacloro, Endosulfán 1, p,p-DDE, Dieldrín, Endrín, Endosulfán II, p,p-DDD, Endrín aldehído, Endosulfan sulfato y p,p-DDT. El estándar empleado fue Chem Service con No. cat. 608/625/8080/8081. La cuantificación se realizó por el método del estándar externo a partir de las concentraciones de 0.1 a 50 ng/mL (ppb).

Control de calidad analítica

Se realizaron duplicados de las muestras de lechuga y espinaca por cada 6 muestras, además de blancos de reactivos (únicamente solventes) y blancos fortificados (con la adición de una concentración conocida de 10 ng/mL plaguicidas organoclorados sin muestra), y la inyección de un estándar diario, además de la inyección de solvente y corrida de un blanco electrónico para verificar la limpieza del equipo.

El límite de detección de los compuestos analizados comprendió entre 0.02 a 0.15 ng/mL, los porcentajes de recuperación en los blancos fortificados fueron en un intervalo 75 a 115%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presencia de plaguicidas en espinaca

En las muestras de espinaca se detectaron 14 de los 16 plaguicidas analizados, los cuales se destacan con mayor frecuencia el β HCH, presente en todas las muestras, seguido por el Endrín y Heptacloro. Y en menor presencia DDD, DDT y Endosulfán II (Cuadro 1). Al considerar la suma de los plaguicidas analizados en cada sitio como un posible indicativo de persistencia de estos compuestos clorados, se apreció el siguiente orden decreciente: Puebla (8.5 ng/g) > Topilejo (1.7 ng/g) > Supermercado (1.6 ng/g) > San Gregorio=Mixquic (1.1 ng/g) > Tláhuac (0.8 ng/g).

De acuerdo a la clasificación por familias de los compuestos organoclorados se tiene a los alicíclicos ciclodiénicos y aromáticos. En general, se detectó una mayor proporción de los alicíclicos (alfa, beta, gama, delta y HCH), en un intervalo de 0.1 a 6.0 ng/g, cabe destacar que estos isómeros han sido considerados como compuestos orgánicos persistentes. Dichos plaguicidas tienen una vida media aproximada de 5 años, y se usan como insecticidas en frutas, hortalizas, plantaciones forestales, también en animales (ectoparásitos) y espacios donde se mantienen animales (Arellano y Rendon, 2016; García *et al.*, 2018).

La presencia del HCH (isómeros alfa, beta, gama y delta) en la espinaca es probablemente por efectos de la volatilización de los compuestos presentes en el suelo hacia la atmósfera, y por cambio de temperatura éstos vuelven a la superficie, donde los tejidos aéreos (principalmente hojas) sirven como reservorio al acumularse en la cera de la hoja (Calvelo *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Residuos de plaguicidas detectados y los límites máximos permisibles (LMP) para espinaca establecidos por el Codex Alimentarius

Plaguicida	LMR (ng/g)	San Gregorio (ng/g)	Mixquic (ng/g)	Tláhuac (ng/g)	Topilejo (ng/g)	Puebla (ng/g)	Supermercado (ng/g)
Alfa HCH	--	ND	ND	ND	0.1	0.1	ND
Beta HCH	--	0.9	0.1	0.1	0.4	0.1	0.2
Gamma HCH	2000	ND	ND	0.1	ND	ND	0.4
Delta HCH	--	ND	ND	ND	ND	6.0	ND
Heptacloro	10	ND	0.2	ND	0.5	2.0	0.4
Aldrín *	50	0.1	0.1	ND	ND	ND	ND
Epóxido de heptacloro	10	ND	0.1	ND	ND	ND	ND
Endosulfán I	2000	0.1	0.3	ND	ND	0.1	ND
DDE	200	ND	0.2	0.1	ND	ND	ND
Endrín *	50	ND	0.1	0.2	0.5	0.1	0.5
Endosulfán II	2000	ND	ND	0.1	ND	ND	ND
DDD	--	ND	ND	ND	0.2	ND	ND
Endosulfán sulfato	2000	ND	ND	0.1	ND	0.1	0.1
DDT	200	ND	ND	0.1	ND	ND	ND
Conc. total		1.1	1.1	0.8	1.7	8.5	1.6

Nota: ND: No detectado (*) Compuestos prohibidos/Catálogo de plaguicidas, Cofepris 2016.

En segundo lugar de abundancia fueron los compuestos ciclodiénicos (Heptacloro, Aldrín, Dieldrín, entre otros) en un intervalo de 0.1 a 0.5 ng/g; algunos de estos compuestos como el endosulfán, endrin y heptacloro se encuentran prohibidos o bien su uso es restringido en México. Éstos son utilizados principalmente para el control de plagas o roedores en los cultivos agrícolas (López, 2012), y por su alta volatilidad pueden migrar a zonas lejanas (Murga *et al.*, 2017). Los valores de concentración detectadas son inferiores a los límites máximos permisibles, estando por debajo de 1 ng/g sin representar un riesgo a la salud pública de forma inmediata. Aunque hay que resaltar que el empleo de estos plaguicidas han sido sustituidos por otros de menor persistencia.

Y finalmente, la familia de hidrocarburos aromáticos (DDT, DDE y DDD) presentaron un intervalo de concentración de 0.1 a 0.2 ng/g; donde el DDE presentó una mayor frecuencia, interpretándose como un proceso de la degradación del DDT, dado por su excesivo uso en el pasado antes de su prohibición (Pérez *et al.*, 2013).

En general, los resultados obtenidos en la espinaca se encuentran por debajo de las concentraciones propuestas por el catálogo de plaguicidas aprobados por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris, 2016), y en el *Codex Alimentarius* (2016). Al comparar con otros estudios similares, nacionales e internacionales, se aprecia la diferencia de concentraciones en los cultivos, algunos se expresan en mg/kg (ppm) (Bempah *et al.*, 2012), mientras que en otros estudios las concentraciones se exponen en ng/g (ppb), como es el caso de Návez *et al.* (2016), Pérez *et al.* (2016), Murga *et al.* (2017) y Zirena *et al.* (2017), donde se encontró que en algunos compuestos detectados en estos estudios en espinaca y otras hortalizas son superados los valores obtenidos en el presente estudio.

Presencia de plaguicidas en lechuga

En las muestras de lechuga se detectaron dos compuestos de los 16 plaguicidas considerados prioritarios (Cuadro 2). En Xochimilco (Chinampa A y B) y Mixquic se detectaron al γ HCH (Lindano) y Heptacloro. Mientras en las muestras provenientes de Guanajuato y Texcoco no se detectaron plaguicidas organoclorados. De acuerdo a la concentración total registrada se tiene lo siguiente: Xochimilco zona A > Xochimilco zona B > Mixquic.

Los valores detectados en zonas agrícolas de la Ciudad de México no superan los límites máximos permisibles establecidos por el *Codex Alimentarius*.

Cuadro 2. Concentraciones de plaguicidas organoclorados en sitios de producción de lechuga que se comercializan en la Ciudad de México

Plaguicida	LMP (ng/g)	Texcoco (ng/g)	Irapuato Gto. (ng/g)	Xochimilco Chinampa A (ng/g)	Xochimilco Chinampa B (ng/g)	Mixquic (ng/g)
Gama HCH (Lindano)	2000	ND	ND	ND	0.1	ND
Heptacloro	10	ND	ND	0.7	0.2	0.2
Conc. total		0	0	0.7	0.3	0.2

Nota: ND, No detectado.

La posible explicación de la presencia de los clorados es por la materia orgánica (humus o mantillo), dado que pueden perdurar hasta 30 años, como es el caso del DDE, entre otros (Del Puerto *et al.*, 2014). Al persistir durante un largo de tiempo en los suelos, éstos pueden desplazarse por diversas formas hacia un cultivo. Los fenómenos probables son la absorción a través de las raíces y que se transportan hacia las hojas ya desarrolladas, y la otra forma es el depósito de los compuestos clorados en la superficie de las hojas por los procesos de volatilización-condensación, además de que en algunos casos su ingreso al interior es a través de los estomas (Jáquez *et al.*, 2013; Carvlho, 2017).

De acuerdo a Del puerto (2014), en la Ciudad de México se aplicaba el Endosulfan; este compuesto es un insecticida y acaricida de contacto dirigido a una amplia variedad de insectos chupadores y masticadores que afectan a los cultivos agrícolas, como las hortalizas, frutales, cereales, té, café, árboles ornamentales (Bejarano, 2017). Cuando los plaguicidas son aplicados al follaje, son transportados desde las hojas a los órganos de almacenamiento y a los puntos de crecimiento (Jáquez *et al.*, 2013).

En general, la aplicación de plaguicidas organoclorados en la lechuga es mínima debido a su importancia comercial, por lo que la presencia de dichos contaminantes es por la persistencia en el ambiente (Zirena *et al.*, 2017; Farha *et al.*, 2018), a pesar de estar empleando otros compuestos químicos como es el caso de los organofosforados.

Plaguicidas empleados en la lechuga y espinaca

Para una mejor producción y valor estético, los agricultores emplean plaguicidas en el periodo de crecimiento de un cultivo, principalmente en la etapa de fructificación. Aunque en ocasiones se ignoran las recomendaciones de las aplicaciones entre la cosecha y la última aplicación (Bempah *et al.*, 2012). En el cuadro 3 se aprecia la relación de los plaguicidas usados en cada zona de cultivo, con excepción del supermercado, ya que se desconoce su procedencia para el caso de la espinaca.

Según Sesquile (2014), el cultivo de espinaca es susceptible al ataque de plagas o enfermedades que afectan al cultivo, y para su control se emplean plaguicidas y herbicidas en 83% de los casos. Benavides (2013) explica que los productos como Carbofuran, Dicofol, Clorobencilato, DCPA (clortal dimetil/ dimetil tetraclorotereftalato), Heptaclo-ro, Endosulfán, Diazinón, Trifurialina, son los más utilizados para el control de plagas y enfermedades en la espinaca. Sin embargo, la presencia de compuestos como Aldrín, Dieldrín, Endrín, están prohibidos desde hace tiempo, pero dada su alta persistencia en el ambiente (meses a años), esto hace que todavía se detecten residuos en diversos

ecosistemas por largos periodos de tiempo debido a sus características físico y químicas, asimismo es posible su depósito de modo disperso mediante el transporte a larga distancia cuando existe el fenómeno de la volatilización (Arellano y Rendon, 2016). En el cuadro 3 se aprecia los distintos nombres comerciales de plaguicidas aplicados en las zonas de cultivo donde algunos tienen como ingrediente activo un compuesto organoclorado.

Cuadro 3. Agroquímicos utilizados en las zonas de producción de espinaca y lechuga

Zona	Producto	Uso
Xochimilco	Endosulfán	Insecticida
	Agri-mycin	Fungicida-Bactericida
	Malatión	Insecticida
Mixquic	Manzate	Fungicida
	Carbofuran	Insecticida - Acaricida
Tláhuac	Lorban	Insecticida
	Azufre	Fungicida
	Sulfato de cobre	Fungicida
Topilejo	Manzate	Fungicida
	Gro Green	Fertilizante
	Furadan	Insecticida
Puebla	Legasus	Fungicida
	D CPA	Herbicida

Aunado a esto, los factores físicos y químicos del ambiente están correlacionados con la presencia de los compuestos clorados, por ejemplo, la temperatura es una variable importante para la volatilización y distribución del compuesto en el ambiente. Ramírez y Martínez (2016) mencionan que las sustancias con un valor de presión de vapor mayor a 10^{-3} mm de Hg a 25 °C tienen gran movilidad. Las temperaturas medias de las zonas muestreadas durante el periodo de colecta (mayo-julio) fueron aproximadas 15 °C como mínimo, llegando como máximo a los 25 °C, por lo tanto es un factor determinante para la volatilización. Además, la influencia de la época de lluvias favorece probablemente la presencia de compuestos clorados en las hojas, en comparación a la época de secas de-

bido al depósito de partículas suspendidas o por la salpicadura de suelo contaminado hacia la planta. Se aprecia que la estacionalidad es un factor que favorece una mayor retención de dichos residuos organoclorados en suelo que en la planta (López, 2012).

De acuerdo a Murga *et al.* (2017), se detectaron en muestras de forraje la presencia de alfa+beta-HCH en tres unidades de pastoreo con frecuencias de 33 a 66 %, mientras Calvelo *et al.* (2008) menciona que las especies vegetales son capaces de acumular todos los isómeros principales de HCH en sus tejidos, en concentraciones variables, principalmente en las hojas. Por ejemplo, en la acumulación del lindano (β -HCH) en la alcachofa se aprecia una sorción a través de la biomasa aérea a partir del aire circundante (ruta suelo à aire à tallos/hojas), en concentraciones de un 66 % en hojas y un 33 % en el tallo.

Por lo anterior, en el caso de la lechuga y la espinaca, al ser productos de consumo inmediato, las concentraciones detectadas no representan riesgo a la salud humana, sin embargo, aún persisten algunos compuestos clorados en México que siguen siendo aplicados en la agricultura con nombres comerciales distintos con un bajo costo, en comparación a otros compuestos químicos como los organofosforados u otros. Además, no existen registros completos que documenten los plaguicidas empleados en las actividades agropecuarias en México (García *et al.*, 2018).

En la actualidad, la comercialización de los productos hortícolas deben de cumplir con las buenas prácticas de producción y avalados por un certificado de análisis de contaminantes biológicos y químicos que aseguren la calidad e inocuidad de los alimentos (Zirena *et al.*, 2017).

El *Codex Alimentarius* contempla algunos plaguicidas organoclorados de los 16 compuestos analizados para la lechuga y espinaca, como es el caso del lindano y endosulfán, con 2 mg/kg como LMP; el Aldrín y Dieldrín se hace referencia como “hortalizas de hoja” con un LMP de 0.05 mg/kg, mientras que en México no hay regulación para tener LMP en las hortalizas (lechuga y espinaca) como se aprecia en el catálogo de plaguicidas 2016 de Cofepris.

Los estudios en México, referente a la presencia de compuestos organoclorados en hortalizas, son pocos (Cuadro 4), al ser productos de mayor demanda se deben considerar estos compuestos además de los organofosforados, por ello es necesario hacer estudios de análisis multicontaminantes orgánicos en las producciones comerciales para garantizar la inocuidad de las hortalizas.

Cuadro 4. Estudios de plaguicidas organoclorados en hortalizas en México

Autor	Año	Muestra
Pérez <i>et al.</i>	2013	Zanahorias en un 100%, cilantro y guayaba en Puebla.
Arellano <i>et al.</i>	2016	Hortalizas en Puebla.
Calderón <i>et al.</i>	2016	Jitomate, detectando Hexaclorobenceno (HCB) y Heptacloro en un 100% en Tixtla Guerrero.
Pérez <i>et al.</i>	2016	15 compuestos organoclorados en un intervalo de 0.18 a 2.41 ng/g en cultivos de Xoconostle en el estado de Hidalgo.
Vargas <i>et al.</i>	2016	Melón en la comarca Lagunera, detectando Endosulfan en un 58% y Clorotalonil en un 58% de las muestras analizadas.
Zirena <i>et al.</i>	2017	Endosulfán sulfato (3 a 2 µg/kg), en muestras de fresa sin rebasar el LMP.

En otros lugares del mundo se han detectado plaguicidas organoclorados en cultivos agrícolas de interés, por ejemplo, Pinzón *et al.* (2011) identificaron y cuantificaron en piña (*Ananas comosus L.*), variedad Golden MD2, la presencia de beta BHC (benzohexaclorobenceno), delta BHC, gama BHC, heptacloro, epóxido de heptacloro, endosulfán I, endosulfán II, 4,4 DDE, endrín aldehído, aldrín, en todos los lotes analizados; las mayores concentraciones se localizaron en la parte externa que en la interna del fruto, detectando una alta residualidad del BHC, epóxido de heptacloro, endosulfán I y endosulfán II. Pingping *et al.* (2011) analizaron muestras compuestas en 12 provincias en China, detectando DDT en hortalizas (10.7%), HCH en verduras (36.2%), HCB en cereales (53.3%) y heptacloro en cereales (96%).

Para el caso de las muestras analizadas de espinaca y lechuga, las concentraciones de los plaguicidas se encuentran en bajas cantidades sin rebasar los límites máximos permisibles para los compuestos correspondientes. Tal presencia es probablemente debida a las condiciones de persistencia de los compuestos clorados en el ambiente, en la matriz suelo que sirve como reservorio de dichos contaminantes, donde los cambios de temperatura, presencia de viento y las características propias de los compuestos químicos se presentan en procesos de adsorción/ absorción y desorción, liberándose en el entorno en que se encuentren, por ejemplo, suelo, agua, atmósfera y alimentos (Carvalho, 2017). Al ser áreas agrícolas, en algunos sitios de muestreo se presentaron temperaturas mayores a 25 °C, probablemente esto favoreció la volatilización del suelo a la atmósfera

dado su presión de vapor (mayor a 10^{-3} mm de Hg a 25°C), por lo tanto, su dispersión y posterior depósito en forma seca (polvo) o húmeda (lluvia).

Por otro lado, las muestras colectadas se realizaron en el periodo de lluvias, que es un factor que puede transferir al plaguicida del lugar de aplicación hacia uno más distante, ya sea por escorrentía superficial o uso de aguas de pozo. Otra alternativa es por las salpicaduras del suelo hacia los cultivos como efecto de la dispersión de partículas minerales u orgánicas del suelo. De acuerdo con Ramírez y Martínez (2016), la materia orgánica presente en el suelo favorece la retención de los plaguicidas, lo cual representa un riesgo a mediano y largo plazos en la liberación de plaguicidas organoclorados con efectos en la microbiota, organismos superiores (plantas y animales) y seres humanos en el consumo de alimentos contaminados (Jayaraj *et al.*, 2016; Pokrel *et al.*, 2018). Por lo cual, es necesario mantener los monitoreos de estos compuestos para conocer las concentraciones presentes en el ambiente, así como sus productos de degradación.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de los plaguicidas organoclorados detectados en las muestras de espinaca y lechuga no rebasan los límites de residuos máximos, referidos en el *Codex Alimentarius* (2016) y del catálogo oficial de plaguicidas de México.

En México no se cuenta con una normatividad propia de plaguicidas organoclorados aplicados en hortalizas como la espinaca y la lechuga, por lo que es necesario realizar trabajos para regular la presencia de plaguicidas en dichos productos, aun cuando éstos se encuentran prohibidos pueden no ser detectados. Es importante continuar con los programas de vigilancia y monitoreo para los plaguicidas organoclorados con la finalidad de asegurar el cumplimiento de los LMP para cumplir con los lineamientos de calidad e inocuidad de los alimentos.

Aunque se cuenta con un catálogo oficial de plaguicidas de uso y prohibición, existen en el mercado de agroquímicos una gran cantidad de formulaciones individuales y mezclas que no han sido incorporados al listado de plaguicidas de uso oficial.

Al ser compuestos de gran persistencia ambiental es claro conocer su movilidad y residualidad en la cadena de producción de alimentos de origen vegetal y animal, dado que son compuestos afines a acumularse a la grasa o ceras.

BIBLIOGRAFÍA

- Arellano, O. y J. Rendón, 2016, *La huella de los plaguicidas en México*, Greenpeace, México.
- Bempah, K. *et al.*, 2012, "Residues of organochlorine pesticides in vegetables marketed in Greater Accra Region of Ghana", en *Food Control*, 25: 537-542.
- Bejarano, F., 2017, *Los plaguicidas altamente peligrosos en México*, 1a ed., Red de acción sobre plaguicidas y Alternativas en México, Estado de México, México.
- Benavides, N., 2013, Guía práctica para la exportación a EE.UU. Espinaca, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A4916e/A4916e.pdf>, consultado el 02/mayo/2017.
- Benítez, P. *et al.*, 2015, "Residuos de plaguicidas en fresa (*Fragraria x ananassa*) cosechada en una región agrícola del estado Mérida, Venezuela", en *Bioagro*, 27: 181-188.
- Calderón, M. *et al.*, 2016, "Determinación de plaguicidas organoclorados en jitomate (*Lycopersicon esculentum*) cultivados en el municipio de Tixtla de Guerrero, Guerrero", en *Revista Bio Ciencias*, 3(4)(Supl): 61.
- Calvelo, R. *et al.*, 2008, "Estudio del comportamiento y rutas de acumulación de α -, β -, γ - y δ -hexaclorociclohexano en el sistema suelo-planta de una zona contaminada", en *Revista Edafología*, 15(1): 73-96.
- Cantín, S. *et al.*, 2016, "Investigación de residuos de plaguicidas en frutas, verduras y hortalizas y cereales en la Comunidad Autónoma de Aragón durante el periodo 2010-2013", en *Revista de Toxicología*, 33(1): 44-49.
- Carvalho, F., 2017, "Pesticides, environment and food safety", en *Food and Energy Security*, 6: 48-60.
- Codex Alimentarius, 2016, Normas internacionales de alimentos. Residuos de plaguicidas en los alimentos y piensos, en <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/pestres/es/>. Consultado el 19/05/17.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), 2016, México.
- Del Puerto, A., 2014, "Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud", en *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3): 372-387.
- Farha, W. *et al.*, 2018, "Analytical approach, dissipation pattern and risk assessment of pesticide residue in green leafy vegetables: A comprehensive review", en *Biomedical Chromatography*, 32: 4134-4152.
- García, J. *et al.*, 2018, "Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México", en *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34 (Especial sobre Contaminación y Toxicología por Plaguicidas): 29-60.

- Gutiérrez, R. *et al.*, 2015, *Manual de técnicas de laboratorio para el análisis de residuos tóxicos y adulteración en alimentos*, número 46, Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Hernández, R. *et al.*, 2014, Determinación de plaguicidas por cromatografía de gases con espectrometría de masas en el laboratorio de plaguicidas de la gerencia de físico químicos de Control Analítico y Ampliación de Cobertura (CCAYAC), Informe de Servicio Social, Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica, División Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM-Xochimilco.
- Jáquez, M. *et al.*, 2013, Comportamiento de plaguicidas persistentes en el medio ambiente. Editorial Vidsupra, en <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/16959>, consultado el 23/11/17.
- Jayaraj, R. *et al.*, 2016, "Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment", en *Interdisciplinary Toxicology*, 9(3-4): 90-100.
- López, A., 2012, Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados en pastos de Tecpatán, Chiapas, Informe de Servicio Social, Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.
- Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-000-SAG-FITO/SSA1-2013, Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión, en Diario Oficial de la Federación, en http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5356770&fecha=19/08/2014, consultado el 01/05/17.
- Murga, N. *et al.*, 2017, "Presencia de plaguicidas organoclorados en forraje para ganado en unidades de producción de leche orgánica en Tecpatán, Chiapas", en *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(2): 157-166.
- Návez, D. *et al.*, 2016, Determinación de plaguicidas organoclorados en rábano (*Raphanus sativus*) y suelos provenientes del valle de Tixtla de Guerrero, Guerrero", en *Revista Bio Ciencias*, 3(4)(Supl): 64.
- Pérez, M. *et al.*, 2013, *Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgo en México*, Colegio de Postgraduados, Postgrado en Estudios del Desarrollo Rural-Agroecología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Ingeniería en Alimentos, México.
- Pérez, J. *et al.*, 2016, "Presence of organochlorine pesticides in xoconostle (*Opuntia jocosostle*) in the central region of Mexico", en *Journal of Food Contamination*, 3: 1-7.
- Pokhrel, B. *et al.*, 2018, "Atmospheric organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in urban areas of Nepal: spatial variation, sources, temporal trends, and long-range transport potential", en *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18: 1325-1336.
- Pingping, Z., 2011, "Dietary exposure to persistent organochlorine pesticides in 2007 Chinese total diet study", en *Environment International*, 42: 152-159.

- Pinzón, I. *et al.*, 2011, "Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados por GC- μ ECD en frutos de piña (*Ananas comosus* L.) variedad Golden MD2 en el departamento del Quindío", en *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2): 4-8.
- Ramírez y Martínez, J., 2016, Destino de los plaguicidas en el ambiente. Un estudio de caso para el programa de apoyo a proyectos para la innovación y mejoramiento de la enseñanza de la UNAM, México.
- Rodríguez, B., 2009, *Movilidad, biodisponibilidad y degradación inducida de isómeros de Hexa-clorociclohexano (HCH) en suelos contaminados*, Tesis doctoral Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2013, Hortalizas, legumbres y frutos en las exportaciones mexicanas, en <http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/018-e.html>, consultado el 02/05/2017.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, en *Atlas agroalimentario*, 1a ed., México.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), 2010, *Manual técnico de muestreo de productos agrícolas para determinación de plaguicidas*.
- Sesquile, J., 2014, *Evaluación de la calidad de aplicación de plaguicidas en un cultivo de espinaca*, Informe de tesis, Ingeniería civil y agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Vargas, G. *et al.*, 2016, "Patrón de uso de plaguicidas de alto riesgo en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en la Comarca Lagunera", en *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(9): 367-378.
- Zirena, F. *et al.*, 2017, "Analysis of organochlorines pesticide residues in strawberry using the QuEChERS method with CG- μ ECD", en *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(1): 5-10.

El vínculo entre el Estado y las Empresas Transnacionales en el Desarrollo de la Biotecnología Agrícola y Propiedad Intelectual. Refuncionalización del Estado en su vínculo con las grandes empresas transnacionales

Arcelia González Merino¹

Resumen. *El presente artículo tiene como objetivo analizar el papel que ha tenido el Estado norteamericano en el desarrollo de la biotecnología agrícola moderna y cómo es que ha refuncionalizado su papel para fomentar el avance de esta tecnología en manos de las grandes empresas transnacionales, incluido el sistema de propiedad intelectual. El trabajo se centra en explicar el papel de apoyo del gobierno estadounidense al sector agrícola y al sistema de propiedad intelectual asociado, beneficiando, en gran parte, a empresas transnacionales, como ejemplo, Monsanto.*

Se analiza también el papel del Estado mexicano en el desarrollo de la biotecnología agrícola moderna y las estrategias de producción y comercialización de la misma empresa: Monsanto.

Organizaciones no gubernamentales han realizado un papel de contraposición, cuestionando los efectos adversos al ambiente y a la salud humana y animal de la biotecnología agrícola moderna.

Palabras clave: *Biotecnología agrícola, Propiedad intelectual, Monsanto, Estado refuncionalizado, Empresas transnacionales.*

¹ Departamento de Sociología, Área: Impactos Sociales de la Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, e-mail: arcel.2013@gmail.com.

Abstract. *The objective of this article is to analyze the role that the North American State has played in the development of modern agricultural biotechnology and how it has re-rationalized its role in promoting the development of this technology in the hands of large transnational corporations, including the system of intellectual property. The work focuses on explaining the supportive role of the US government to the agricultural sector and intellectual property system associated with the development of modern agricultural biotechnology, benefiting, to a large extent, transnational corporations such as Monsanto. The role of the Mexican State in the development of modern agricultural biotechnology and the role of the transnational biotechnological company itself is also analyzed: Monsanto and its production and marketing strategies for its crops.*

Keywords. *Agricultural biotechnology, Intellectual property rights, Monsanto, Refunctioned state.*

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la biotecnología agrícola a nivel mundial, incluido México, parece confirmar la crisis del Estado, una crisis en su capacidad de dirigir el desarrollo político, económico y social del propio capitalismo.

El control que tienen las empresas transnacionales biotecnológicas en la producción de cultivos genéticamente modificados, no sólo en la propia producción, sino en el sistema de propiedad intelectual asociado a su desarrollo, es evidencia de que es el capital privado y no el Estado el que dirige el desarrollo de esta tecnología. En el desarrollo de la biotecnología agrícola moderna, a nivel mundial, si bien destaca el control de la producción de semillas genéticamente modificadas por parte de empresas transnacionales, la función del Estado ha tenido un papel importante para que suceda este control.

El presente artículo tiene como objetivo analizar el papel que ha desempeñado el Estado en el desarrollo de la biotecnología agrícola moderna y cómo es que ha refuncionalizado sus actividades para fomentar el desarrollo de esta tecnología en manos de las grandes empresas transnacionales, incluido el sistema de propiedad intelectual. El trabajo se centra en explicar el papel del Estado norteamericano y su política de apoyo al sector agrícola y a todo el sistema de propiedad intelectual, mismo que ha beneficiado a grandes empresas biotecnológicas, en especial se destaca el papel de Monsanto.

Una vez que se analiza este fenómeno, se explica cuál es el papel del Estado en México, el cual ha implementado políticas que favorecen el desarrollo de la biotecnología agrícola y el sistema de propiedad intelectual asociado, en el que empresas como

Monsanto se han visto favorecidas. Se analiza también cómo es que organizaciones no gubernamentales han denunciado los efectos adversos de esta tecnología para el ambiente, la salud y la cultura de comunidades locales e indígenas.

El análisis del papel del Estado y su vínculo con las grandes empresas agrobiotecnológicas en estos dos países, Estados Unidos y México, se debe a que el primero es el líder en la producción de biotecnología agrícola a nivel mundial, así como pionero en el avance del sistema de propiedad intelectual sobre la materia viva. En este liderazgo no sólo las grandes empresas agrobiotecnológicas transnacionales, como Monsanto, han jugado un papel esencial, sino también el Estado ha desempeñado una función estratégica en la producción de cultivos transgénicos, subsidiando a todo el sector agrícola e impulsando el progreso en el sistema de propiedad intelectual asociado, a través del otorgamiento de patentes y derechos de obtentor por parte de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos y el sistema UPOV.

En lo que se refiere a México, si bien no es líder en la producción de cultivos genéticamente modificados, la presencia de Monsanto ha sido de gran relevancia para el fomento de ciertos cultivos como el algodón, la soya transgénica y el intento de sembrar maíz genéticamente modificado. Asimismo, el apoyo del Estado, a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), en el fomento de la producción de cultivos genéticamente modificados ha sido muy clara al aprobar su liberación, en pruebas de campo y experimental, a pesar de los riesgos para la diversidad biológica, salud y medio ambiente.

El análisis de los dos países tiene sentido no sólo porque en ambos el Estado ha re-funcionalizado su papel en su vínculo con las grandes empresas transnacionales, sino porque su relación comercial tan relevante ha posibilitado que el Estado norteamericano someta, con sus políticas comerciales, al Estado mexicano y con ello afectando la diversidad biológica y cultural de las comunidades locales.

Este análisis de la biotecnología agrícola moderna y el desarrollo de la propiedad intelectual asociada, lo derivamos desde la perspectiva del concepto de Estado nacional de competencia de Joachim Hirsch, el cual interpreta el papel del Estado actual como una re-funcionalización en su vínculo con las grandes empresas transnacionales. Asimismo, se explica el enfoque centrado en la explicación del desarrollo tecnológico desde la "economización", retomando a Berman y a Michael Callon; se retoma también la idea de Andrew Feenberg y Ulrich Beck para analizar a la tecnología como elemento de poder y, finalmente, se retoman las ideas de Feenberg sobre los movimientos de resistencia.

El presente trabajo está dividido en tres partes. La primera aborda la perspectiva teórica; se analiza el papel del Estado a nivel mundial y su vínculo con las grandes

empresas transnacionales; en la segunda se analiza el papel del Estado norteamericano y su política agrícola, junto con el desarrollo de la biotecnología agrícola a nivel mundial y el de la propiedad intelectual asociada, enfatizando el avance de esta tecnología en Estados Unidos y su influencia a nivel mundial; en la tercera se revisa el papel del Estado en México y su vínculo con las grandes empresas transnacionales agrobiotecnológicas. Por último, se presentan las conclusiones.

El papel del Estado y su vínculo con las empresas transnacionales

La crisis del Estado, en su función de rector de la economía y como autoridad con poder propio y de instancia central jerárquica de dirección, dentro del capitalismo, ha sido abordada por múltiples autores desde la perspectiva de las relaciones internacionales, la economía, la sociología, etc. Este debilitamiento del Estado capitalista se ha venido desarrollando a la par de la fortaleza creciente de las grandes empresas transnacionales.

Sobre el papel trascendente que han venido adquiriendo estas empresas desde la década de los ochenta, Marcos Kaplan enfatiza este empoderamiento dentro del proceso de globalización. Señala que se impone el poder de las empresas transnacionales que mundializan sus estrategias y políticas económicas (Kaplan, 2002). Kaplan señala que la expansión del mercado se posibilita porque se da un desmantelamiento de las barreras nacionales, la desregulación y la competencia global. Desde la perspectiva de Kaplan, desde finales de los setenta, se inicia un deterioro de los Estados sobre el funcionamiento de las organizaciones e instituciones, sobre el trabajo, sobre grandes sectores de la sociedad, sobre la industria pesada y la salud, etcétera.

Sin embargo, es también importante considerar la re-funcionalización del papel del Estado en su vínculo con las grandes empresas transnacionales.

Joachin Hirsh ha planteado el concepto de Estado nacional de competencia para referirse a la nueva función que adquiere el Estado dentro del capitalismo, sobre todo en los países más industrializados –también llamados países centrales– a partir de la década de los ochenta, pero fundamentalmente a partir de la caída del Muro de Berlín.

Para algunos autores, como Marcos Kaplan, Ulrich Beck, Miguel Teubal, entre otros, el fenómeno de la globalización ha significado una gran expansión de las relaciones capitalistas de producción, que no sólo se ha expresado en la re-localización de los procesos productivos de las grandes empresas transnacionales, más allá de las fronteras nacionales, expandiéndose a nivel mundial, sino una pérdida de poder del Estado nacional e incluso un sometimiento de éste a la lógica del capital transnacional,

centralmente en torno a los procesos de producción. Se ha interpretado de esta forma, la tendencia del Estado hacia la descentralización, en donde se desdibujan sus límites con las instituciones privadas, principalmente con las empresas transnacionales.

La noción de Estado nacional de competencia de Joachim Hirsch señala que los Estados, principalmente los de los Estados centrales, se han convertido en “socios”, más que en simples instrumentos del capital transnacional, “lo cual fundamenta la posibilidad de estrategias sociopolíticas bastante diferentes en la lucha competitiva por el posicionamiento que, precisamente, cuando más se internacionaliza, no pueden ser desarrolladas sólo por el capital” (Hirsch, 2001: 161). El monopolio de la violencia policial y militar sigue en manos del Estado.

Para Hirsch, el Estado nacional de competencia tiene el propósito de conducir la capacidad competitiva de la sociedad hacia la internacionalización, desplegando toda una batalla económica de la propia nación con gran potencial de ganar, partiendo de considerar a la propia nación como una empresa capitalista. Se destaca también que este Estado nacional de competencia va más allá de la perspectiva neoliberal, ya que no sólo se rige bajo los criterios del libre comercio mundial y de una competencia ilimitada, sino por tendencias contradictorias de liberalización y proteccionismo, globalización y regionalización (Hirsch, 2001: 148).

Por otro lado, es importante enfatizar que el desarrollo de la biotecnología moderna ha estado liderado por países industrializados avanzados como Estados Unidos, principalmente. Dentro de este primer enfoque cabe señalar que la política en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, desplegada en el país norteamericano desde finales de los setenta, ha estado sustentada, más que en una política meramente neoliberal, en una política de “economización”.

El término de “economización” ha sido utilizado por autores como Michel Callon y Elizabeth P. Berman para explicar cómo es que la política en ciencia y tecnología en los Estados Unidos ha estado cruzada por esta tendencia desde la década de los setenta, motivada por la propia crisis económica que sufrió la economía de ese país. De acuerdo con Berman, este proceso de “economización” ha llevado a considerar que el gobierno debe estimular el desarrollo en ciencia y tecnología (CyT) a fin de incidir en el crecimiento económico y aspectos relacionados a él (como la productividad, una balanza comercial favorable, etc.). Más que una mínima intervención estatal, tal como lo propone el neoliberalismo, la política en CyT en los Estados Unidos ha estado orientada a incidir en este crecimiento económico (Berman, 2014). Desde la perspectiva de Berman, la política en CyT de los Estados Unidos desde finales de los setenta y principios de los ochenta si bien ha sido influida por una propuesta de apertura comercial, también

ha estado tensada por una política de intervencionismo estatal, en donde el objetivo principal es incidir en los indicadores de crecimiento económico y, en general, en los indicadores macroeconómicos (Berman, 2014). En términos comparativos, dice Berman, una política centrada en la “economización” es una tendencia mucho más poderosa que la del neoliberalismo, ya que con este último es difícil generar un consenso respecto a que es a través del uso de los mercados como se puede incidir en el bienestar humano, sin embargo, desde la perspectiva de la “economización”, la intervención del gobierno debe ser para mejorar la economía, por ello ¿quién se puede negar a esta última propuesta? (Berman, 2014).

Berman sostiene que: “La economización finalmente descansa sobre la autoridad epistémica de lo económico” (Berman, 2014: 26). Cabe enfatizar la fuerte inversión que países como Estados Unidos destinan a la investigación científica con la finalidad de incidir en el crecimiento económico. Esta política va más allá del modelo neoliberal. Es decir, el modelo neoliberal se caracteriza, en términos generales, por una posición extremista del liberalismo económico, una no intervención estatal, privatización de empresas y una política de austeridad. Las obras más importantes de los maestros del neoliberalismo, Friedrich Hayek y Milton Friedman, consideran que el Estado debe intervenir sólo como administrador de la justicia (Guillén, 2018). El término de economización de Berman, por el contrario, enfatiza justo el papel intervencionista en lo económico, no al estilo del modelo keynesiano, en donde el Estado juega un papel rector en la economía capitalista, lo cual implicaba una política de gasto, intervención económica en todas las esferas, generación de empleos, etc., sino que su perspectiva enfatiza en cómo el Estado norteamericano está centrado en mejorar e incrementar los indicadores económicos como el PIB, el progreso tecnológico, etcétera.

El desarrollo de la biotecnología agrícola moderna en los Estados Unidos habría que entenderla desde esta postura teórica, junto con el desarrollo de la propiedad intelectual sobre la materia viva; es decir, el Estado norteamericano ha apoyado fuertemente, con sus políticas tecnológicas, el desarrollo de la biotecnología agrícola, lo cual se expresa en sus disposiciones de regulación que no exigen el etiquetado para los cultivos transgénicos y que han aprobado las disposiciones en materia de propiedad intelectual sobre la materia viva. Tanto el gobierno norteamericano, como las grandes empresas biotecnológicas han marcado la pauta para el desarrollo de esta tecnología. Y han logrado incidir no sólo en su política nacional, sino a nivel internacional y, por ende, sobre la política en biotecnología agrícola en México.

Otro enfoque teórico es el de autores que revisan el propio concepto de tecnología, como Ulrich Beck, quien ha estudiado el concepto de tecnología desde la perspectiva del poder.

Beck analiza cómo en las sociedades modernas el desarrollo de la ciencia y la tecnología lleva implícita una estructura de poder. Esto tiene que ver con las instituciones que gestionan el desarrollo de la tecnología y la ciencia, las cuales concentran el tipo y destino de la tecnología que se ha de desarrollar, y en donde los objetivos de lucro y eficiencia son los que prevalecen en esta gestión.

Ulrich Beck sostiene que la mercantilización de la tecnología siempre se ha hecho desde una posición de poder ejercido por los representantes del capital, sin embargo, el desarrollo tecnológico que se ha desplegado desde la década de los setenta, del siglo XX, es históricamente inédito. Opciones tecnológicas como la ingeniería genética y la nanotecnología son ejemplos de tecnologías que implican un cambio cualitativo histórico, revolucionando, de manera inusitada, la forma de modificar la información genética, transformando todo el sistema de producción a partir del desarrollo de la microelectrónica y la robótica, etc. La ciencia y la tecnología se utilizan transnacionalmente y los problemas y consecuencias de legitimación resultantes son adjudicados a los Estados particulares y, asimismo, haciendo caso omiso de la mayoría de las normas y condiciones del Estado nacional, trasladándose a Estados no restrictivos (Beck, 2004). Beck sostiene que el poder se encuentra, en gran parte, en el desarrollo tecnológico, concentrado en grandes empresas transnacionales. Sin embargo, también existe un contrapoder ejercido por parte de los movimientos sociales, algunos de los cuales despliegan estrategias de riesgo, desde una posición exagerada, exponiendo las posibilidades de riesgo de las tecnologías utilizadas y, en algunos casos, presentando evidencia de los daños reales al ambiente, a la salud humana y animal. Beck expone el caso de los alimentos manipulados genéticamente, los cuales han tenido escasa aceptación por parte de los consumidores europeos,² dadas las condiciones de inseguridad. La fuerza de los movimientos sociales ante un mundo globalizado los ha llevado a reivindicar valores, denunciar a empresas transnacionales, afectando significativamente sus ganancias, sin embargo, necesitan a los Estados para hacer valer sus objetivos, aunque en muchas ocasiones estos grupos sociales se convierten en los contrincantes de los Estados y de las propias empresas transnacionales (Beck, 2004: 326).

² Aunque Beck señala que también por parte de los estadounidenses.

Otra perspectiva teórica que me interesa retomar es la expresada por Feenberg, en lo que respecta a su concepción de tecnología, así como el papel de la sociedad civil en el diseño de la tecnología.

Ulrick Beck y Andrew Feenberg coinciden en presentar a la tecnología en la realidad actual capitalista como expresión de poder. Los sujetos de este poder se centran en dos actores principalmente: las grandes empresas transnacionales y el Estado, sobre todo el Estado de los países centrales. Para Ulrick Beck, el poder tecnológico se centra en las empresas transnacionales. No obstante, la posición de estos autores también coincide en identificar a los movimientos de resistencia fungiendo como fuerzas de contrapoder históricas, enfrentándose a la hegemonía desplegada por los actores antes mencionados.

Feenberg sostiene que, en la sociedad actual moderna, el desarrollo tecnológico se encuentra funcionando bajo una estructura de poder en donde las estrategias de grupos, como los líderes empresariales y los administradores estatales con base institucional, ejercen poder sobre los sujetos subalternos que, a su vez, fungen como fuerzas de resistencia, cuestionando el desarrollo tecnológico promovido por las grandes empresas transnacionales (Feenberg, 2012).

El conjunto de enfoques teóricos aquí presentados enfatizan cómo es que el Estado norteamericano, en su liderazgo tanto en la producción de cultivos genéticamente modificados, como en el sistema de propiedad intelectual asociado, ha tenido un papel central en la expansión global de este tipo de producción. Es decir, no sólo son las empresas transnacionales biotecnológicas las que han logrado el control y monopolización de esta producción, sino es, a partir del vínculo estratégico entre el Estado y las empresas transnacionales, donde ambos se ven beneficiados, uno manteniendo y expandiendo su poder en este tipo de producción y con ella en la producción de alimentos, y las otras manteniendo e incrementando su beneficio económico.

Por otro lado, en el caso del Estado mexicano, que no figura como líder en la producción de cultivos transgénicos, su papel ha sido principalmente en el apoyo a su liberación al ambiente y a los permisos a las empresas transnacionales agrobiotecnológicas, a través de la Sagarpa.

En ambos países, este apoyo inició a partir de la década de los noventa, que es cuando se aprueba la liberación al ambiente de los primeros cultivos a nivel comercial.

El papel de las organizaciones no gubernamentales es importante destacarlo, principalmente en México, en donde han fungido como fuerzas de resistencia.

A lo largo del presente artículo se explicará este fenómeno.

El Estado norteamericano y las grandes empresas agrobiotecnológicas transnacionales

La política de subsidios agrícolas de los Estados Unidos

La política en biotecnología agrícola moderna en los Estados Unidos se entiende, en gran parte, si comprendemos y analizamos la política agrícola del país norteamericano y su política de subsidios. A su vez, la actual política agrícola de los Estados Unidos se entiende sólo si se realiza una revisión histórica en periodos de crisis, en donde se impulsó toda una estrategia de apoyo y mejora que hoy lo coloca en el primer lugar en la producción de alimentos en el mundo.

Una de las primeras y de las más importantes políticas de subsidios fue establecida a raíz de la Crisis 1929 como respuesta a las condiciones de inestabilidad económica, especialmente en los precios agrícolas. Se pretendía, con esta estrategia, evitar la caída de los precios por la situación deflacionaria prevaleciente (Kammer, 2012). En 1929 se estableció la Federal Farm Board, con la cual se posibilitaba otorgar préstamos a los agricultores; con esta iniciativa se autorizaba un presupuesto de 500 millones de dólares a fin de estabilizar los precios e incrementar el préstamo al sector agrícola, sin embargo, fue imposible evitar la caída de los precios agrícolas (Kammer, 2012).

En el periodo de la posguerra, la política agrícola se enfocó en mitigar los daños de la pobreza rural al mismo tiempo que pretendía parar el fenómeno de la sobreproducción agrícola. La política consistió en establecer programas de asistencia directa y subsidios para los agricultores. Para la década de los setenta, y a raíz de la crisis de déficit y deuda que padecía la economía norteamericana, se creó el Agriculture and Consumer Protection Act, que también otorgaba subsidios en respuesta a la crisis global mundial del mercado de alimentos. En 1973, esta acta creaba varios programas de desarrollo rural, mejoraba el programa de alimentos, además de iniciar un sistema de “precios objetivo” y pagos por deficiencia (Kammer, 2012: 14).

En la Ley Agrícola de 2008, llamada “Food, Conservation and Energy Act”, se expresa la política agrícola proteccionista de los Estados Unidos, ya que continúa con su estrategia de otorgar subsidios. Esta ley les aseguraba a los productores agrícolas norteamericanos, desconectados de los precios mundiales, ajustar el desequilibrio entre la oferta y la demanda para beneficiar a los productores que carecían de un sistema de protección contra las oscilaciones de los precios mundiales (Donizeti, 2009).

La Ley Agrícola de 2014 que se firmó el 7 de febrero de ese mismo año, bajo el gobierno del presidente Barack Obama, incluyó cambios importantes en los programas de

productos básicos, ya que agrega nuevas disposiciones de seguro de cultivos, así mismo modifica algunas disposiciones del Programa de Asistencia de Nutrición Suplementaria (SNAP), amplía también los programas para cultivos especializados, agricultores orgánicos, bioenergía, desarrollo rural, agricultores y ganaderos participantes (www.ers.usda.gov, revisada el 14 de mayo de 2017).

La Oficina de presupuesto del Congreso norteamericano proyectó que 80% de los desembolsos, conforme a esta Ley, financiarían programas de nutrición; 8% para programas de seguros de cultivos; 6% para programas de conservación; 5% para programas de productos básicos y 1% para programas varios de crédito, desarrollo rural, investigación, energía, horticultura, etcétera. (www.ers.usda.gov, revisada el 14 de mayo de 2017).

En términos generales, esta Ley Agrícola de 2014, respecto a la de 2008, reduce el gasto destinado a subsidiar al sector agrícola, sin embargo, las disposiciones de apoyo al sector estadounidense de la Ley de 2014 siguen implicando una gran desventaja respecto a los apoyos otorgados en México. Uno de los programas que más afectan al comercio entre Estados Unidos y México son los programas de productos básicos (que incluyen arroz, trigo, maíz, soya), ya que los productores norteamericanos reciben pagos cuando el precio o el ingreso derivado de estos productos cae, además de programas de ayuda en casos de desastres naturales, barreras a la importación, entre otros (CEDRSSA, 2015: 4).

La política agrobiotecnológica en Estados Unidos. Empresas transnacionales y política de Estado

El desarrollo de la biotecnología agrícola moderna, a nivel mundial, indudablemente ha estado liderada, desde 1996 hasta el periodo actual, por Estados Unidos y las grandes empresas transnacionales como Monsanto, BASF, BayerCropScience, Syngenta. Los cuatro cultivos genéticamente modificados y autorizados para su comercialización, en 1996, son maíz, soya, algodón y canola; para el 2016 se agregaron betabel, papaya, chayote, berenjena y papa, que ya están en el mercado, además de la investigación, por parte del sector público, en arroz, plátano, papa, trigo y caña de azúcar (www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/executivesummary/default.asp). La expansión de estos cultivos se ha incrementado de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a 185.1 millones de hectáreas en 2016. De estos, 185.1 millones de hectáreas son para cultivos genéticamente modificados (GM); en siete países industrializados se cultivaron estos productos y en 26 países en desarrollo. La tolerancia al herbicida en soya, canola, maíz, alfalfa y algodón ha sido la característica predominante en 47 % del área global de cultivos transgénicos. Estados Unidos lidera el cultivo de organismos GM, en 2016 contaba con 72.9 millones de hectáreas, seguido de Brasil con 49.1 millones, Argentina con 23.8 millones, Canadá con 11.6 millones y la India con 10.8 millones (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Área Global de Cultivos Genéticamente Modificados en 2016: por país (millones de hectáreas)

Posición	País	Área (millones de hectáreas)	Cultivos Genéticamente Modificados
1	Estados Unidos	72.9	Maíz, soya, algodón, canola, betabel, alfalfa, papaya, chayote, papa
2	Brasil	49.1	Soya, maíz, algodón
3	Argentina	23.8	Soya, maíz, algodón
4	Canadá	11.6	Canola, maíz, soya, betabel, alfalfa
5	India	10.8	Algodón
6	Paraguay	3.6	Soya, maíz, algodón
7	Paquistán	2.9	Algodón
8	China	2.8	Algodón, papaya, álamo
9	Sudáfrica	2.7	Maíz, soya, algodón
10	Uruguay	1.3	Maíz, soya, algodón
11	Bolivia	1.2	Soya
12	Australia	0.9	Algodón, canola
13	Filipinas	0.8	Maíz
14	Myanmar	0.3	Algodón
15	España	0.1	Maíz
16	Sudán	0.1	Algodón
17	México	0.1	Algodón, soya
18	Colombia	0.1	Algodón, maíz
19	Vietnam	<0.1	Maíz
20	Honduras	<0.1	Maíz
21	Chile	<0.1	Maíz
22	Portugal	<0.1	Maíz
23	Bangladesh	<0.1	Brinjal/Chayote
24	Costa Rica	<0.1	Algodón, soya, piña
25	Eslovaquia	<0.1	Maíz
26	República Checa	<0.1	Maíz
	Total	185.1	

Fuente: "ISAAA Brief 52-2016: Executive Summary", en www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/executivesummary/default.asp.

Analizando específicamente el caso del maíz transgénico, se han aprobado, desde 1996, 44 eventos de maíz con las características de resistencia a insectos, tolerancia a herbicidas y tolerancia a sequía. En 2016 fueron plantadas 35 millones de hectáreas de maíz GM. Es de destacarse que 92% de la producción de maíz en el país norteamericano es GM, del cual, 3% es resistente a insectos, 13% es tolerante a herbicidas y 76% tiene ambas características. La característica de tolerancia a sequía fue desarrollada por Monsanto, en colaboración con BASF Plant Science en años más recientes (ISAAA, 2016) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Producción de cultivos transgénicos en Estados Unidos en 2016 (millones de hectáreas)

Cultivos	Área Total		Producción	de Transgénicos	Cultivos		% del Total del Área
		Tolerancia a Insectos	Tolerancia a Herbicidas	Resistencia a insectos/Tolerancia a Herbicidas	Otras Características	Total	
Soya	33.87	-	31.84 (100%)	-		31.84	94
Maíz	38.10	1.14 (3%)	4.95 (13%)	28.96 (76%)		35.05	92
Algodón	3.98	0.16 (4%)	0.36 (9%)	3.18 (80%)		3.70	93
Canola	0.69	-	0.62 (100%)	-		0.62	90
Betabel	0.47	-	0.47 (100%)	-		0.47	100
Alfalfa	8.46	-	1.21 (98%)	-	0.02	1.23	14
Papaya	<0.01	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.01
Chayote	<0.01	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.01
Papa	85.6	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.01
Total	85.60	-	-	-	<0.01	72.92	86

Fuente: "ISAAA Brief 52-2016: Executive Summary", en www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/executivesummary/default.asp.

Es importante enfatizar no sólo el liderazgo que tiene el país norteamericano en la producción de cultivos genéticamente modificados, sino el papel que tienen empresas transnacionales biotecnológicas. Una de las principales empresas líderes en la producción de cultivos transgénicos es Monsanto.

Monsanto. Su estrategia de mercado en la producción de cultivos modificados genéticamente y en materia de propiedad intelectual

El surgimiento de Monsanto data de 1901, fundada en St. Louis Missouri por el químico John Francis Queeny, el nombre de la empresa se debe al apellido de su esposa Olga Méndez Monsanto. En 1905 fabrica su primer producto, la sacarina (más bien fue la pólvora), la cual fue comprada a Coca Cola (www.monsanto.com/company/history, consultada el 19 de octubre de 2017). En la década de los veinte cambia su giro y se transforma en uno de los principales productores de ácido sulfúrico y de otros productos de la industria química. En la década de los cuarenta pasa a ser un productor de plásticos y fibras sintéticas (Tokar, 1999).

En 1976 comienza a comercializar el herbicida Roundup, que se convierte en el más vendido del mundo. Es hasta 1981 cuando se establece la biotecnología como el foco de investigación estratégica de Monsanto, y desde entonces comenzó su giro en el desarrollo de productos genéticamente modificados.

Quince años después (1996), se le autoriza a Monsanto el uso de la biotecnología Bollgard en algodón (resistencia al ataque de plagas) para su consumo y siembra. Para el 2000, Monsanto ya estaba dedicada 100% al sector agrícola, compuesta por tres secciones: herbicidas, semillas y biotecnología (www.monsanto.com.mx, revisada el 9 de abril de 2017).

Las primeras variedades de algodón Bt, bacteria que existe en la naturaleza del suelo y modificada a través de ingeniería genética, fue producida por la empresa Monsanto. Estas variedades se introdujeron al mercado por medio de un acuerdo de concesión de licencias entre el descubridor del gen, Monsanto, y la principal empresa norteamericana de germoplasma del algodón, Delta and Pine Land Company (D and PL). Estas variedades se comercializaron con el nombre de Bollgard.

En la misma década de los noventa, en 1996, le fue aprobado a Monsanto, la liberación al ambiente del maíz genéticamente modificado. Este cultivo tiene la característica de ser tolerante a insectos, un cultivo capaz de desarrollar propiedades insecticidas gracias al *Bacillus thuringiensis*, y fue comercializado como MON810 (www.monsantoglobal.com, revisada el 17 de junio de 2016).

La soya Roundup Ready, tolerante al herbicida Roundup, fue también aprobada para su comercialización en Estados Unidos en 1996.³ A nivel global, la soya Roundy Ready representó 58% de los cultivos transgénicos cultivados en el 2000.

³ También fue aprobada en Canadá y Argentina.

En el siglo XXI, Monsanto pudo comercializar alfalfa transgénica Roundup Ready, autorizada para su venta en 2005 (www.monsanto.com, revisada el 19 de agosto de 2017)⁴.

Propiedad Intelectual y agrobiotecnología

El éxito de la biotecnología agrícola moderna no sólo se ha centrado en la producción masiva de cultivos GM, sino en el desarrollo de un sistema de propiedad intelectual que ha ido evolucionando junto con la propia comercialización de los cultivos genéticamente modificados.

Es Estados Unidos también, en materia de propiedad intelectual sobre las innovaciones biotecnológicas, el país líder en el otorgamiento de patentes y otras figuras de propiedad intelectual sobre la materia viva. Desde 1930, el Congreso de los Estados Unidos aprobó el Acta de Patentes para Plantas, aunque sólo para aquéllas que se reproducían asexualmente. Posteriormente se aprobaron las patentes para plantas que se reproducen sexualmente y, en 2001, la Suprema Corte de los Estados aprobó la disposición que permite otorgar patentes para plantas y semillas bajo tres disposiciones legales: la patente para plantas, el certificado de protección para variedades vegetales y las patentes de utilidad (Schonenberg, 2014).

Esas características de utilidad, novedad y no obviedad son las que posteriormente se han utilizado para otorgar patentes sobre plantas y variedades vegetales, en general sobre la materia viva. Y son las grandes empresas biotecnológicas transnacionales, con el apoyo del Estado de aquellos países en donde instalan sus negocios, las que se han visto beneficiadas principalmente con estas patentes y derechos de propiedad intelectual.

El propósito del sistema de patentes de los Estados Unidos pretende incentivar las innovaciones, mientras permite el acceso a la sociedad a estas invenciones tecnológicas, una vez que termina el periodo de protección. De acuerdo a su definición, las patentes son un derecho de propiedad exclusivo otorgado al inventor por los gobiernos de cada país por un periodo de entre 20 y 25 años. Generalmente, la solicitud de una patente debe incluir la descripción de la innovación, cuyas características incluyen las de nove-

⁴ Cabe señalar que en junio de 2018 Bayer compró Monsanto, convirtiéndose en la mayor productora de semillas (www.monsanto.org)

dad, no obviedad y utilidad. El derecho legal exclusivo otorgado por el gobierno de un país es para impedir que otros fabriquen, usen, vendan o distribuyan, en este caso, el material genético sin el permiso del dueño de la patente (Hemphill, 2012: 815).

Con el avance en materia de propiedad intelectual, el mercado de semillas modificadas genéticamente ha crecido significativamente. Monsanto se convirtió en la empresa líder en la producción de semillas modificadas genéticamente, entre ellas, soya, maíz, canola y algodón transgénico, destacando las características de resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas, llamada Roundup Ready (Schonenberg, 2014).

La situación de las patentes de grandes empresas biotecnológicas, sin embargo, experimentan un gran desafío debido a su próximo vencimiento, ya que muchas de ellas iniciaron a mediados de los años noventa. Ante esta situación, Monsanto, junto con otras grandes empresas agrobiotecnológicas, diseñaron dos acuerdos: 1) El Acuerdo de Comercialización y Acceso a Eventos Genéricos (GEMMA, por sus siglas en inglés) y 2) El Acuerdo sobre Uso de Datos y Compensación (ETCGroup, 2013).

GEMMA entró en vigor en 2012. Forman parte de este acuerdo cinco compañías biotecnológicas, entre ellas Monsanto, Dupont, Pioneer y Dow Agro Sciences. Con este acuerdo el titular de la patente debe notificar, al Administrador de Vencimiento de Patentes (administrador que es designado por el propio GEMMA), este vencimiento tres años antes de que ocurra. Una vez notificado, el titular de la patente debe elegir entre las siguientes opciones: el mantenimiento independiente y la obtención de autorizaciones cubiertas para su rasgo patentado; compartir la responsabilidad de mantener y obtener autorizaciones cubiertas para su rasgo patentado, y notificar la interrupción de las responsabilidades reglamentarias por su rasgo patentado (Schonenberg, 2014).

El Acuerdo GEMMA y DUCA pretenden ser utilizados para contrarrestar el vencimiento de las patentes para grandes empresas biotecnológicas como Monsanto, que ha utilizado a las propias patentes para monopolizar sus propias innovaciones y multiplicar sus ganancias.

Producción de cultivos transgénicos en México. El papel del Estado Mexicano y de las empresas agrobiotecnológicas

Desde su origen, en el desarrollo de cultivos transgénicos en México el papel del Estado mexicano ha sido de gran importancia.

En la década de los noventa se inició la liberación al ambiente de cultivos modificados genéticamente. Aunque fue el jitomate Flavr Savr el primer cultivo transgénico

autorizado para su comercialización en México en 1995, fue el cultivo del algodón el que prevaleció tanto en la aprobación para su liberación, como en su comercialización, aun a la fecha. El algodón Bt, desarrollado por Monsanto, es el que ha logrado una gran comercialización y, desde su origen, ha contado con el apoyo del Estado mexicano, hecho trascendente. El papel del Estado mexicano consistió en apoyar al productor en 50% del costo de la tecnología de semilla transgénica, así como también en su papel regulador, en su manejo fitosanitario (Massieu *et al.*, 2000: 154). Después de más de 20 años, este cultivo, genéticamente modificado, es el más sembrado en todo el país. Algunos de los estudios de impacto señalan que desde su introducción ha disminuido el uso de insecticidas químicos, aunque los datos varían de una región a otra y no debe descartarse la evolución en la resistencia de las plagas objetivo (Rocha-Munive *et al.*, 2018).

El maíz genéticamente modificado ha sido uno de los cultivos que, desde finales de los noventa, se ha intentado liberalizar para su cultivo y comercialización. En 2001, Ignacio Chapela y David Quist, de la Universidad de Berkeley, California, realizaron rastreos en la Sierra Norte de Oaxaca y encontraron maíces transgénicos en las parcelas de campesinos, a pesar de que no estaba legalmente permitido el cultivo de éstos (Massieu, 2009).

En 2008, Monsanto obtiene los primeros permisos para realizar ensayos experimentales de maíz genéticamente modificado en Sinaloa. Para 2010 ya se habían ampliado estos ensayos a Chihuahua, La Laguna y Tamaulipas. También ha obtenido aprobación para el uso de soya con solución Faena (www.monsanto.com.mx, revisada el 9 de abril de 2015).

Para 2012 se recibieron las primeras solicitudes de liberación al ambiente de maíz genéticamente modificado, propiedad de Monsanto (Conabio, 2012), sin embargo, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y múltiples organizaciones no gubernamentales y académicos enfatizaron que deberían retomarse las disposiciones existentes en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (aprobada en 2005), la cual señala, en su artículo 9, fracción 1 que: “La Nación Mexicana es poseedora de una biodiversidad de las más amplias en el mundo, y en su territorio se encuentran áreas que son centro de origen y de diversidad genética de especies y variedades que deben ser protegidas, utilizadas, potenciadas y aprovechadas sustentablemente, por ser un valioso reservorio de riqueza en moléculas y genes para el desarrollo sustentable del país”. El maíz es uno de los cultivos de los que México es centro de origen y diversidad biológica (Conabio, 2012), y aun con todo, la Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (Sagarpa) autorizó esta liberación.

En diciembre de 2013, organizaciones no gubernamentales demandaron no liberar el maíz genéticamente modificado, por lo que el juzgado impidió a las empresas Monsanto y Pioneer liberar maíces transgénicos en el campo mexicano (www.lajornada.com.mx, 2016).

La soya genéticamente modificada, también propiedad de Monsanto, fue aprobada para su liberación al ambiente, aun cuando el análisis de riesgo, realizada por la Conabio, incluía una advertencia de posibles efectos adversos al agua y suelo de la región por el uso de glifosato, así como posible flujo de genes genéticamente modificados en cultivos no objetivo, entre otros (Conabio, 2012). Esta liberación fue aprobada en 2012 para prueba experimental en ocho estados de la República Mexicana (Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Jalisco, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Chiapas), en 23 500 hectáreas (www.lajornada.com.mx, 2014).

Sin embargo, el 27 de febrero de 2012 la Unión Nacional de Organizaciones Regionales Campesinas Autónomas (Unorca), Miel Integradora SA de CV, Sociedad de Solidaridad Social Apícola Maya de Yucatán, la Organización de Litigio Estratégico de Derechos Humanos (Litiga OLE) y Greenpeace demandaron a los titulares de la Sagarpa, solicitando no se permita más esta liberación, teniendo como uno de sus principales argumentos la contaminación de miel por la liberación de soya transgénica, obteniendo como resultado que el juzgado Primero de Distrito aprobara el amparo para los apicultores mayas de la región (www.lajornada.com.mx, 2014).

Respecto al avance de la propiedad intelectual sobre las variedades vegetales, en 1996 se aprobó la Ley de Variedades Vegetales, mediante la cual se establecieron las bases jurídicas para la protección, comercialización y fomento de la innovación en semillas y material vegetativo (Solleiro y Briseño, 2003).

En México no se pueden patentar las plantas, sin embargo, México está adscrito a UPOV 78, que es una figura de propiedad intelectual que permite proteger, en esos términos, las variedades vegetales.

Los derechos que otorga la Ley de Variedades Vegetales son: a) ser reconocido como obtentor de una variedad vegetal. Este derecho es inalienable e imprescriptible; b) aprovechar y explotar, en forma exclusiva y de manera temporal, por sí o por terceros con su consentimiento, una variedad vegetal y su material de propagación, reproducción, distribución o venta, así como para la producción de otras variedades vegetales o híbridos con fines comerciales. La vigencia del aprovechamiento exclusivo es a 18 años para vides, especies perennes (forestales, frutícolas, ornamentales); b) quince años para las especies no incluidas en el inciso anterior.

Al estar adscritos a UPOV 78 no se requiere del consentimiento de una variedad vegetal para utilizarla: 1) como insumo de investigación para la obtención de otras variedades vegetales; 2) uso propio, como grano para consumo o siembra (SNICS, 2017).

El caso de Monsanto en México

Como se mencionaba anteriormente, el desarrollo tecnológico de tecnologías de punta como la biotecnología, actualmente se encuentra liderado, en gran parte, por empresas transnacionales junto con los Estados de países desarrollados como Estados Unidos. En México, el desarrollo de productos biotecnológicos, fruto de la ingeniería genética, ha estado liderado, en gran parte, por la empresa líder en la producción de semillas transgénicas, de la que hemos hablado, Monsanto.

Desde 1950, Monsanto se estableció en México para producir polímeros de estireno. Para 1960, Monsanto abre la división agrícola de la empresa enfocada al diseño de productos y procesos de manufactura.

Ya destacamos el papel de Monsanto en la comercialización de algodón transgénico en México. Respecto al maíz y soya transgénica, Monsanto sigue insistiendo que es legal la liberación y comercialización de maíz y soya genéticamente modificada, aunque por el momento no tiene permiso legal de liberalizarlos y comercializarlos.

La empresa cuenta no sólo con tecnologías de punta como la biotecnología, sino que también forma parte de redes estratégicas que le permiten tener alianzas con otras empresas biotecnológicas, como es el caso de la red AgroBio, organización que se anuncia sin fines de lucro y con el objetivo de la investigación, pero en realidad está formada por empresas transnacionales como Monsanto, Dow AgroSciences, Dupont, Pioneer, Bayer, Syngenta. AgroBio se forma en el 2000 (www.agrobio.org, revisada el 3 de mayo de 2015) y se presenta en reuniones de instituciones gubernamentales como la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Modificados Genéticamente (Cibiogem), la cual se encarga de establecer las políticas relativas a la seguridad de la biotecnología respecto al uso seguro de los organismos genéticamente modificados (www.conacyt.gob.mx, revisada el 3 de mayo de 2015).

Monsanto también pertenece a la Red Mexicana de Monitoreo de Organismos Genéticamente Modificados, la cual pretende ponderar, con el suficiente sustento científico, los efectos que organismos vivos modificados pudieran tener sobre la salud humana o el medio ambiente, sanidad vegetal o acuícola (www.conacyt.gob.mx, revisada el 3 de mayo de 2015).

En México, Monsanto también ha solicitado derechos de obtentor en el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) en los cultivos de algodón, maíz y soya. Estos derechos de obtentor no sólo se conocen en cultivos genéticamente modificados, sino en variedades que cumplan con los criterios de novedad,⁵ distinción, homogeneidad y estabilidad (SNICS, 2017). Es de destacarse que en 2017, de las 130 solicitudes que presentó, más de 80 correspondían a maíz, muchas de ellas ya llegaban a su periodo de término de protección (Ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Títulos de Obtentor de Monsanto de Derechos de Obtentor de Maíz (2017)

Maíz A791 Monsanto
Maíz A7500 Monsanto
Maíz A7520 Monsanto
Maíz A7545 Monsanto
Maíz A7573 Monsanto
Maíz A7419 Monsanto
Maíz A7430 Monsanto
Maíz A7597 Monsanto
Maíz A7494
Maíz A7530 Monsanto
Maíz A775 Monsanto
Maíz A773 Monsanto
Maíz A9696 Monsanto
Maíz A9622 Monsanto
Maíz A9651 Monsanto
Maíz 7773/7785 Monsanto

⁵ Por novedad se entiende que: no se hayan enajenado en territorio nacional, o bien se hayan enajenado dentro del año anterior a la fecha de presentación de la solicitud de título de obtentor y no se hayan enajenado en el extranjero, o bien la enajenación se haya realizado dentro de los seis años anteriores a la presentación de la solicitud (<https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/que-es-el-derecho-de-obtentor>).

Maíz 7601/7701 Monsanto
Maíz 7736/7588 Monsanto
Maíz 7745/7588 Monsanto
Maíz 7745/7778 Monsanto
Maíz 7778/7722 Monsanto
Maíz 7743/7797 Monsanto
Maíz 7773/7642 Monsanto
Maíz 7851 120296

Fuente: SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2017), *Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales*, Sagarpa, SNICS Editores.

CONCLUSIONES

El Estado, en cuanto al desarrollo de la biotecnología agrícola moderna, ha fungido como promotor y ha proporcionado un gran apoyo para su desarrollo tanto en los Estados Unidos, como en México.

En Estados Unidos de Norteamérica, el Estado ha proporcionado un gran apoyo, principalmente desde su Ley Agrícola de 2008, a través de un programa de subsidios de más de 60%. Asimismo, el papel del gobierno norteamericano, principalmente a partir de la década de los ochenta, ha sido como impulsor en el otorgamiento de patentes sobre la materia viva, en especial sobre plantas y variedades vegetales.

De manera que, el papel del Estado norteamericano en el desarrollo de la agrobiotecnología y el sistema de propiedad intelectual asociado, ha sido el de un impulsor de esta tecnología, vinculado al desarrollo de las empresas transnacionales biotecnológicas, por eso se parte de la idea de una política de “economización”, más que de una política neoliberal. A partir de la década de los ochenta, el Estado ha re-funcionalizado su vínculo con las empresas transnacionales, ya que no es que se someta a ellas, sino que despliega una política de apoyo, pero en la que se ve beneficiado por el liderazgo que adquiere en términos políticos y económicos.

Empresas transnacionales como Monsanto se han visto beneficiadas por este apoyo y han incrementado sus ganancias no sólo por la comercialización de cultivos transgénicos,

sino por el control de patentes y derechos de obtentor sobre cultivos, especialmente cultivos genéticamente modificados.

En México, gobierno mexicano también ha apoyado el desarrollo de la biotecnología agrícola moderna, otorgando permisos a la liberación de cultivos genéticamente modificados, como es el caso del maíz y soya, sin considerar los efectos adversos al ambiente, a la salud y a aspectos socioculturales. Monsanto también tiene el control de múltiples derechos de obtentor, aunque no ha podido comercializar su maíz y soya transgénica, gracias al papel destacado de organizaciones no gubernamentales que seguirán insistiendo.

La alternativa quedará en estos movimientos de resistencia que se pronuncien desde la perspectiva de un desarrollo de la tecnología que no atente contra la salud y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Beck, U., 2004, *Poder y Contrapoder en la Era Global*, Paidós, Barcelona, España.
- Berman, P., 2014, "Not Just Neoliberalism: Economization in U.S. Science and Technology Policy", en *Science, Technology & Human Values*, 39(3): 397-431.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria), 2015, Los Programas de Productos Básicos de la Farm Bill (Ley Agrícola) 2014 de los Estados Unidos, LXII Legislatura, Cámara de Diputados
- Conabio, 2012, Documento Base sobre solicitudes de liberación comercial de maíz genéticamente modificado en México, México.
- Donizeti, A., 2009, "La Ley Agrícola de los Estados Unidos y sus impactos en las negociaciones agrícolas de la OMC", en *Comuniica*, mayo-agosto, 5(39): 39-51.
- ETCGroup, 2013, "Los Gigantes Genéticos hacen Su Cártel de la Caridad", en www.etcgroup.org.
- Feenberg, A., 2012, *Transformar la Tecnología. Una nueva visita a la teoría crítica*, Universidad de Quilmes, Buenos Aires, Argentina.
- Guillén, H., 2018, "Los Orígenes del Neoliberalismo: del Coloquio Lippmann a la Sociedad de Mont-Pèlerin", en *EconomíaUNAM*, enero-abril, 15: (43).
- Hempfill, 2012, "The biotechnology sector and US gene patents: Legal challenges to intellectual property rights and the impact on basic research and development", en *Science and Public Policy*, Oxford University Press, (39): 815-826.

- Hirsch, J., 2001, El Estado Nacional de Competencia. Estado, Democracia y política en el capitalismo global, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- ISAAA, 2016, "Brief 52-2016: Executive Summary", en www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/executivesummary/default.asp.
- Kammer, A., 2012, *Journal of Food Law & Policy*, 8(1): 1-63.
- Kaplan, M., 2002, *Estado y Globalización*, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Serie Doctrina Jurídica Número 90, UNAM, México.
- Massieu, Y., 2009, "Cultivos y alimentos transgénicos en México. El debate los actores y las fuerzas sociopolíticas", en *Argumentos*, 22(59): 217-243.
- Massieu, Y. et al., 2000, "Consecuencias de la Biotecnología en México: el caso de los cultivos transgénicos", en *Sociológica*, 15(44): 133-159.
- Rocha, M. et al., 2018, "Evaluación del impacto del algodón genéticamente modificado después de 20 años de cultivo en México", UNAM, Michigan State University, Instituto Tecnológico de Sonora, University of New Mexico, México-EUA.
- Schonenberg, B., 2014, "Twenty Years in the Making: Transitioning Patented Seed Traits Into de Generic Market", en *Marquette Law Review*, 97: 4.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas), 2017, *Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales*, Sagarpa, Editores, México.
- Tokar, B., 1999, "Monsanto: Una historia en entredicho", en *Natura Medicatrix*, (54): 32-39.

Páginas electrónicas de la web

www.ers.usda.gov

www.agrobio.org

www.conacyt.gob.mx

www.monsanto.com/company/history

www.monsantoglobal.com

www.lajornada.com.mx, (27/09/2016)

www.lajornada.com.mx, 23/07/2014)

www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/executivesummary/default.asp

Feminización rural: una aportación metodológica-empírica del suroeste del estado de Jalisco en el Occidente de México

Patricia Beas Roque¹, Peter R. W. Gerritsen² y Arturo Moreno Hernández³

Resumen. *Se considera que la ausencia masculina en las familias rurales, en especial de los cónyuges, propicia que las mujeres participen más en la toma de decisiones agropecuarias. Este estudio analiza esta hipótesis a partir de la construcción de un índice de feminización del manejo agropecuario. Mediante métodos mixtos aplicados que incluyó la medición de la participación femenina en la toma de decisiones en el municipio de El Limón, en el sur del estado de Jalisco, encontramos que diferentes grados de participación y diferentes factores influyen en el tipo de decisiones que las mujeres campesinas toman. Si bien este índice se enfoca sólo en las decisiones de tipo estratégico, se considera que podría ser empleado también para la generación de políticas públicas. Concluimos que esta propuesta permite evidenciar la heterogeneidad (feminina) del manejo agropecuario y que su aplicación podría adaptarse a otros ámbitos económicos como la industria y los servicios en que las mujeres rurales también toman decisiones.*

Palabras clave: *Género, Feminización de la agricultura, Decisiones agropecuarias, Ruralidad.*

Abstract. *It is considered that in the absence of male family members, especially the husband, encourages women to participate more in agricultural and cattle raising activities. This paper analyzes this hypothesis based on the construction of a feminization index for rural areas. Using a mixed methods research strategy, applied to the El Limon municipality in western Mexico, including the*

¹ Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, e-mail: beaspati@gmail.com.

² Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, e-mail: petergerritsen@cucsur.udg.mx.

³ Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, e-mail: amoreno@cucsur.udg.mx.

measurement of women decision-making processes, we found that women's participation varies, due to different ray of factors. Although this index focuses on strategic decisions, it may contribute also to formulate new gender sensitive public policies. We conclude that our methodology permits taking into account the (female) heterogeneity in rural areas and that it can be adapted and applied to other sectors, such as industry and services, where women also participate in decision-making processes.

Keywords. *Gender, Feminization of agriculture, Agricultural decisions, Rurality.*

INTRODUCCIÓN

En México, el incremento de la participación de las mujeres en actividades agropecuarias se asocia a la migración nacional e internacional de la población rural masculina. Se considera que esta migración provoca la ausencia de los hombres de la residencia familiar, lo que conlleva a cambios en las relaciones de género de la población que permanece en los lugares de origen (De María y Campos, 2005).

Una de las causas a la cual se atribuye el fenómeno migratorio es efecto de las políticas neoliberales en el sector agropecuario. En el caso de la migración internacional, el número de residentes mexicanos en Estados Unidos en 1940 era de 377 000; mientras que en 2000, se incrementó a 9.4 millones (Conapo, 2015: 13-14). De acuerdo con el Estudio Binacional México-Estados Unidos sobre Migración (SRE y CIR, 1997: 19-21), una buena parte de esta población tiene su origen en las localidades rurales y emigran por múltiples motivos, uno de ellos es la búsqueda de mejores oportunidades de empleo, además, señala que los hombres casados predominan entre los residentes mexicanos.

Por lo anterior, se considera que el contexto derivado del fenómeno migratorio entre la población rural puede explicar la ausencia masculina en las localidades rurales y, en consecuencia, que las mujeres estén participando más en el manejo agropecuario, es decir, que se presenta un proceso de feminización en este ámbito (Riaño y Keilbach, 2009).

Frente a los cambios en las relaciones intrafamiliares que conlleva la ausencia masculina, se pueden distinguir las preferencias e intereses por género, edad, posición en la familia, e incluso la diferenciación entre los intereses individuales o colectivos de las familias rurales (Argawal, 1997). De esta forma, la toma de decisiones en el manejo agropecuario de las familias rurales puede operar en contextos de cooperación o conflicto, con ello se generan procesos de negociación entre quienes participan como tomadores

de decisiones, además, es posible que algunos de ellos tengan mayor influencia sobre otros y que no necesariamente se tomen las decisiones bajo condiciones democráticas (Bonfil, 1996).

En este artículo se analiza la toma de decisiones en el manejo agropecuario, desde una perspectiva de género, en unidades de producción familiar que enfrentan un contexto con alto grado de migración internacional. Se aborda desde un enfoque cualitativo y cuantitativo, pues toma en cuenta las perspectivas de las mujeres rurales respecto a las relaciones de género que experimentan como tomadoras de decisiones. Además, se propone un índice de feminización del manejo agropecuario que evalúe el grado de su involucramiento en la toma de decisiones.

Nociones teóricas

Se conoce como feminización rural al proceso en que más mujeres se incorporan a las actividades rurales. Estudios sobre la feminización de la agricultura señalan que se manifiesta cuando hay una mayor participación de las mujeres en dicha actividad, mediante su mano de obra y cuando intervienen más en la toma de decisiones del ámbito rural (Gartaula *et al.*, 2010; De Schutter, 2013). En este texto, se define como feminización del manejo agropecuario a la mayor participación de las mujeres en la toma de decisiones agropecuarias.

Se considera que ante la ausencia masculina, las mujeres participan más en los ámbitos productivo y comunitario, lo cual ellas mismas no consideran dentro de sus roles tradicionales de género, es decir, los que corresponden al ámbito reproductivo. Además, las tareas y responsabilidades que conlleva dicha participación se van agregando a sus roles tradicionales, lo que propicia que enfrenten mayores cargas de trabajo (De María y Campos, 2005; Riaño y Keilbach, 2009; Lahoz, 2011; Tamang *et al.*, 2014). Por otra parte, es posible que aún cuando las mujeres cohabitan con su pareja conyugal, ellas incurrieren en ámbitos no tradicionales a su género, por ejemplo en el manejo agropecuario, aunque no se sabe mucho de este último proceso.

Se entiende por manejo agropecuario a la serie de decisiones para el aprovechamiento de recursos agropecuarios mediante un proceso productivo (Quijandria, 1990). Para fines de este estudio, éste se analiza desde el ámbito de las unidades de producción familiar en contextos rurales. La unidad de producción familiar consiste en un sistema integrado por la familia y sus recursos productivos, en la cual éstos se aprovechan para la satisfacción de las metas y aspiraciones familiares, y que tiene repercusiones en el

perfil tecnológico del sistema de producción agropecuario, así como en el contexto ambiental y social en el cual se realiza su manejo (Quijandria, 1990; Barlett, 1980).

El proceso de toma de decisiones agropecuarias en las unidades de producción familiar es influenciado tanto por los recursos de los que se dispone, como por los puntos de vista de los integrantes de la familia que participan en dicho proceso. Para analizar la participación de las mujeres desde una perspectiva de género, es importante identificar el tipo de decisiones que ellas están tomando, tales como el manejo agropecuario, dichas decisiones pueden clasificarse con base en diferentes criterios: de acuerdo al tiempo, al espacio o por su relevancia para los actores que participan en el mismo proceso de toma de decisiones (Kaspar, 2005; Le Gale *et al.*, 2011; Robert *et al.*, 2017).

En el criterio del tiempo, las decisiones se clasifican en estratégicas, tácticas y operacionales. Las estratégicas son aquellas que se toman al inicio del año y que pueden tener efectos para la unidad de producción familiar en el largo plazo; corresponden por ejemplo a la selección del sistema de cultivo, y cómo éste puede asegurar el mejor rendimiento respecto a las expectativas de los precios de venta y de los cambios en el clima en el largo plazo. Las decisiones tácticas son las que se toman al comienzo de cada temporada de producción, se relacionan con los ajustes que se realizan al sistema de producción entre una temporada y otra para asegurar los resultados esperados en el largo plazo. Por último, las decisiones operacionales consisten en las que se toman en periodos diarios o semanales; por ejemplo, se decide sobre las actividades diarias que se realizan en el sistema de cultivo o en cada parcela, dependiendo de las condiciones climáticas o restricciones en los recursos disponibles que se van presentando (Le Gale *et al.*, 2011; Robert *et al.*, 2017).

En el criterio del espacio, las decisiones pueden clasificarse por la delimitación física, por ejemplo, dentro de una parcela; decisiones por áreas, por cultivo, o decisiones a nivel de granja (Le Gale *et al.*, 2011).

Respecto a la relevancia para los actores, las decisiones se clasifican en operacionales y estratégicas (Kaspar, 2005). En contextos de migración masculina, las decisiones operacionales no requieren de consenso, generalmente estas decisiones se perciben como algo tan natural para los miembros de la familia que no las consideran como decisiones. Por otra parte, las decisiones estratégicas tienen repercusiones en el largo plazo, tienen un alto impacto y se toman en procesos complejos, transcurre más tiempo tomarlas, se recurre a la consulta y requiere del consentimiento de los actores involucrados, además es necesario contar con información sobre todas las posibles alternativas a considerar en cada decisión. El control sobre estas decisiones estratégicas puede ser influido por la forma en que se desarrollan las relaciones genéricas en las familias rurales, así como

la posición en la familia de quien toma las decisiones o quién tiene la propiedad de los medios de producción agropecuaria (Kaspar, 2005).

A partir de lo anterior, se propone analizar la participación de las mujeres en el manejo agropecuario a partir de la toma de decisiones estratégicas; tanto por los efectos que éstas tienen en las unidades de producción familiar en el largo plazo, como por la influencia de las relaciones genéricas en el proceso de la toma de decisiones.

Para Robert y colaboradores (2017), en esta toma interviene desde lo concerniente a la estructura, organización y características de los recursos con los que se cuentan, hasta la experiencia compartida con otros productores, la observación y el monitoreo de experiencias pasadas respecto al mercado, el clima, la mano de obra o la maquinaria. En este trabajo consideramos que los aspectos anteriores serían las que el/la tomador(a) de decisiones estratégicas estaría analizando al momento de llevar a cabo el manejo agropecuario, y que es de especial interés conocer cómo las mujeres acceden a estas experiencias y relaciones cuando incursionan en el ámbito productivo.

Actualmente, hay muy poca información disponible que permita conocer cómo se da el manejo agropecuario en las unidades de producción familiar; por ejemplo, de acuerdo con Deere (2011), los censos agropecuarios omiten la posibilidad de cuantificar dicho manejo por más de un agricultor principal. En el caso de México, se realiza un conteo del sexo de los integrantes de la familia que participan en las actividades agropecuaria y forestal (INEGI, 2007), pero no se distingue quiénes de ellos participan en la toma de decisiones. Considerar lo anterior en los censos agropecuarios permitiría conocer más sobre el fenómeno de la feminización rural, ya que la mayor parte de la información se limita a la información sociodemográfica (población, edad, fecundidad, estado civil, mortalidad, salud, educación, población económicamente activa), pero no se visibiliza su incursión como tomadoras de decisiones en los ámbitos productivos. Asimismo, se requiere de estudios que analicen el proceso de toma de decisiones en que participan las mujeres rurales para poder conocer si están incursionando en el manejo agropecuario o si sólo están dando seguimiento a las decisiones que toman los hombres.

Hacia una construcción de un índice de feminización

El análisis de la participación de las mujeres en la toma de decisiones agropecuarias se ha realizado desde diferentes perspectivas y metodologías. Gartaula y colaboradores (2010) emplearon una metodología cualitativa y cuantitativa para analizar las decisiones de las mujeres en la agricultura en Nepal a partir de una clasificación del estatus de migración

de sus hogares; para ello emplearon un cuestionario con respuestas de opción múltiple para identificar la participación de las mujeres o de los hombres en la toma de decisiones agropecuarias, pero sin distinguir su rol dentro de los hogares. Deere (2011) compara varios estudios al respecto en América Latina, los cuales analizan la participación en la toma de decisiones entre la madre y el padre del hogar rural, pero no distinguen entre el tipo de decisiones y la participación del padre y la madre respecto a los hijos o actores externos al hogar. De Braw y colaboradores (2013) analizan los efectos en la productividad de las unidades de producción familiar cuando son encabezadas por hombres o por mujeres, pero no incluyen los casos en que ambos participan en las decisiones. De Schutter (2013) concluye que a las mujeres no se les transmite el conocimiento necesario para la productividad agrícola; ante esta situación, enfrentan mayor dificultad para la toma de decisiones principales de la producción. Deere y Twyman (2014) analizan la toma de decisiones agropecuarias en Ecuador, de forma individual o en pareja, enfocándose en la situación marital de las mujeres y la forma de propiedad sobre las parcelas, pero no integra al análisis a otros actores que no formen parte de la relación conyugal.

De acuerdo con esto, se considera que el empleo de un indicador sobre la feminización del manejo agropecuario, así como el análisis de información cualitativa de las unidades de producción familiar, ayudaría a conocer más sobre la complejidad de la participación de las mujeres en este ámbito. Ello requiere de conocer quiénes toman las decisiones estratégicas que implican un mayor control sobre dicho manejo y emplear una metodología que facilite la comparación entre diferentes unidades de producción familiar.

Para construir un índice que mida el grado de participación de las mujeres en tal manejo, se propone tomar en cuenta seis decisiones estratégicas que pueden tomarse en la mayoría de las unidades de producción familiar, asimismo diferenciar en cada una de ellas el número de personas, su género y la posición en la familia de quienes participan en dicha toma de decisiones. Al complementar este índice con información cualitativa se puede conocer más sobre la complejidad de esta feminización. Las seis decisiones estratégicas que se consideraron para la construcción de este índice (llamado de aquí en adelante: IF), se seleccionaron con base en estudios citados anteriormente (Gartaula *et al.*, 2010; Deere, 2011; De Braw *et al.*, 2013; De Schutter, 2013; Deere y Twyman, 2014), y consisten en las siguientes:

- 1) ¿Qué producir?
- 2) ¿Cómo producir (técnicas de producción)?
- 3) ¿Cuánta cantidad producir?

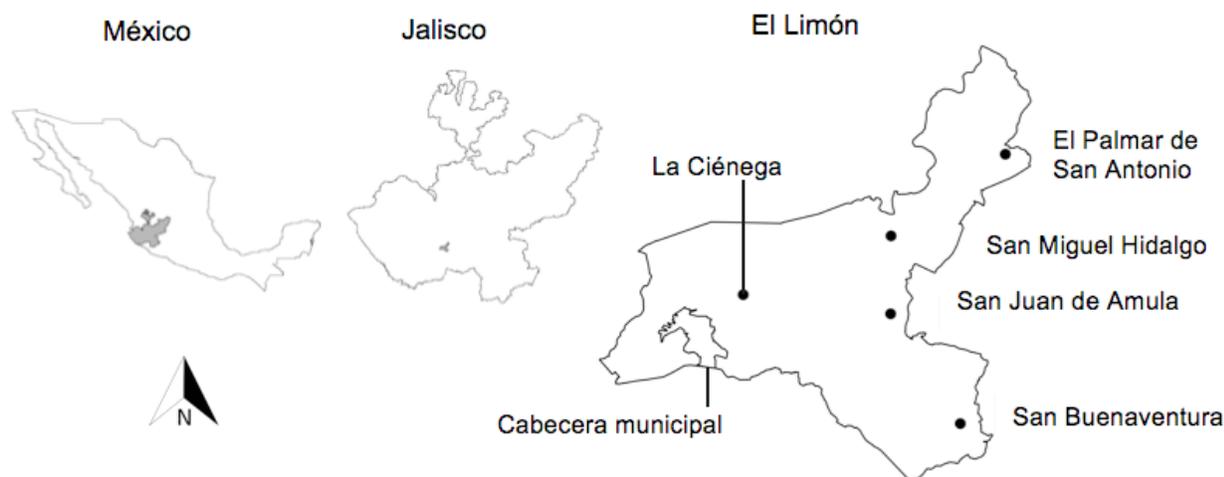
- 4) ¿Qué insumos se utilizarán en el proceso de producción?
- 5) ¿Qué canales de comercialización se utilizarán para la venta de los productos?
- 6) ¿Cómo diseñar el sistema de producción?

En el proceso de selección, se tomó en cuenta el alto grado de control requerido para tomar estas decisiones, así como el impacto en el largo plazo para las unidades de producción familiar.

Diseño del estudio

Para la realización de este estudio, se seleccionó un municipio que contara con altos índices de migración internacional, como el municipio de El Limón, localizado en el estado de Jalisco, en el Occidente de México (Figura 1).

Figura 1. Ubicación del municipio de El Limón, Jalisco, México



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2015).

El municipio de El Limón se caracteriza tanto por la vocación agropecuaria de sus principales actividades económicas, como por el alto flujo migratorio México-EEUU de su población rural, el cual fue muy alto hasta el año 2000 (Conapo, 2000, 2010). Tomando en

cuenta que la medición del flujo migratorio se calcula respecto a la residencia de mexicanos en EEUU desde 1995, este flujo coincide con el periodo de legalización y migración clandestina iniciado en 1987 (Rojas, 2009). Aunque la migración de la población de El Limón disminuyó en el año 2010, su grado de intensidad sigue siendo alto, por lo que su inclusión en este estudio es pertinente. Posteriormente, se seleccionaron seis localidades rurales, es decir, que tuvieran una población inferior a los 2 500 habitantes, y que además contaran con casos de mujeres que participaran en el manejo agropecuario.

Aunque el Consejo Nacional de Población en México (Conapo) sólo ha realizado dos mediciones de la intensidad migratoria México-EEUU, en los años 2000 y 2010, esta información puede ser relevante para entender algunos cambios que enfrenta actualmente esta población. Además, al revisar la información demográfica de los censos de población a partir de 1970 a 2010, encontramos que los hogares con jefatura femenina de este municipio incrementaron de 14 % a 23 %, mientras que la población económicamente activa y ocupada que corresponde a las mujeres, aumentó de 15 % a 28 %. También hay cambios en las relaciones conyugales, pues las uniones libres y los divorcios se triplicaron, y las separaciones se elevaron a más del doble. Mientras que en 1990, las mujeres se divorciaban a partir de los 50 años, en el año 2010, se divorciaban a partir de los 20 años. De tal forma que el fenómeno migratorio internacional y los cambios en las relaciones conyugales permiten inferir que en este municipio el papel de las mujeres es clave tanto en el ámbito social, como en el económico, y que las relaciones de género transitan por cambios importantes, cuyos efectos son más amplios a los concernientes a los recursos naturales (INEGI, 1970, 1990, 2010).

METODOLOGÍA

Este estudio es el primero en abordar el tema de la feminización del manejo agropecuario en la región Costa Sur y Sierra de Amula en el estado de Jalisco, por lo que tiene un carácter exploratorio y sus resultados se enfocan en profundizar sobre dicho tema en lugar de generalizar la situación de las mujeres que toman decisiones agropecuarias.

Nuestra metodología consistió en consideraciones cualitativas y cuantitativas. En lo correspondiente a lo cualitativo, se aplicaron entrevistas a informantes clave. Para su selección, se consideró que participaran en la política municipal relacionada con los apoyos gubernamentales dirigidos al campo o que tuvieran conocimiento histórico sobre el papel de las mujeres en el municipio. La información obtenida a partir de las entrevistas permitió comprender el contexto económico y social que enfrentan las mujeres en las lo-

calidades rurales seleccionadas para este estudio. Además, proporcionaron información que ayudó a localizar casos de mujeres que toman decisiones agropecuarias.

Para identificar más casos de estudio, se realizó un transecto por las localidades rurales del municipio de El Limón: San Buenaventura, El Palmar de San Antonio, San Miguel Hidalgo, San Juan de Amula, La Ciénega y la cabecera municipal. Indagamos acerca de mujeres que tomaran las decisiones agropecuarias, o sobre mujeres que se dedicaran a recolectar recursos forestales no maderables de la región con fines de comercialización, por ejemplo, nopales del cerro (*Opuntia fuliginosa*) o pitayas (*Stenocereus queretaroensis*). Detectamos 17 casos de mujeres que toman decisiones en las unidades de producción familiar, de las cuales 12 aceptaron participar en este estudio.

Se recolectó información de cada caso a partir de sus relatos de vida, así como de la aplicación de un cuestionario semiestructurado. Las entrevistas se enfocaron en la dinámica familiar que se da alrededor de las decisiones estratégicas del manejo agropecuario, además cómo es que las mujeres lograron acceder a este tipo de decisiones, y cómo se dan las relaciones de género en los procesos de negociación. Asimismo, se verificó la existencia de otras decisiones estratégicas que no hayan sido consideradas en el planteamiento inicial del IF. Se aseguró a las y los participantes el uso de la información con fines académicos, así como su confidencialidad.

Para el planteamiento del IF, en la parte cuantitativa, partimos del supuesto de que la participación de las mujeres en la toma de decisiones podría darse de tres diferentes maneras: nula, unilateral (sólo por las mujeres) o por consenso (cuando toman decisiones tanto hombres como mujeres). Por ello, es necesario considerar la posibilidad de que las mujeres participen en algunas decisiones y en otras no, y que en la medición de su participación es más pertinente utilizar una escala gradual. Por tal motivo, proponemos que este índice sea medido en términos de porcentaje bajo el siguiente procedimiento:

- Seleccionamos seis decisiones estratégicas cuya influencia es en términos económicos y ecológicos para las unidades de producción familiar.
- Distinguimos entre decisión y elemento de decisión. El elemento de decisión se refiere a los subsistemas de producción que integran a la unidad de producción familiar y cuyos productos se destinan a diferentes mercados. Por ejemplo, cuando se realiza recolección de recursos forestales no maderables y además se produce cierto cultivo, se trataría de dos elementos de decisión distintos, pero cuando se siembra maíz para alimentar al ganado, tanto la parcela como el ganado constituyen sólo un elemento de decisión, ya que el maíz no se comercializa, sino que se produce como insumo para alimentar al ganado, que es finalmente el que se va a comercializar.

- Asignamos valores 1: a la decisión tomada por una mujer o grupo de mujeres, sin la intervención de un hombre o grupo de hombres, 0: si no hay participación de mujeres en la decisión. En los casos en que participan tanto hombres como mujeres dentro de la unidad de producción familiar, dividimos el número de mujeres que participan en la decisión entre el número total de tomadores de decisiones. Así, calculamos el valor proporcional de la participación de las mujeres en la escala del 0 al 1 en cada decisión estratégica. También se distingue si el tomador de decisión es individual o colectivo; por ejemplo, si quienes toman la decisión son la madre y sus hijos hombres, y la madre ejerce un mayor control sobre sus hijos en la toma de decisiones por ser la propietaria de los medios de producción, se considera a los hijos hombres como un solo tomador de decisión, debido a que la madre ejerce más poder por encima de ellos en su conjunto, dicha distinción entre tomadores de decisión individuales o colectivos al interior de la unidad de producción familiar se hace considerando la perspectiva de las mujeres entrevistadas.

A partir de lo anterior, el planteamiento matemático del IF se resume en la ecuación 1:

$$IF = \sum_{n=1}^6 \left(\frac{D_{nM}}{P_{Dn}} \right) / 6 \times 100$$

IF: Índice de feminización del manejo agropecuario

DnM: Número de mujeres que toman decisiones

PDn: Número total de tomadores de decisiones

DnM / PDn: Participación proporcional femenina en una decisión estratégica

Para que el IF se exprese en términos de porcentaje, al final de la ecuación el resultado de la sumatoria se divide entre seis, es decir, el total de decisiones estratégicas y se multiplica por 100. Este índice, junto con la información del estado civil de las mujeres, el tipo de relación con los hombres que participan en la toma de decisiones y la coresidencia con los hombres involucrados, puede ayudar a conocer si en la actualidad, la ausencia masculina se sigue asociando a valores altos de feminización. Asimismo, la información cualitativa permite conocer las circunstancias que conllevan a que las mujeres participen en el manejo agropecuario y cómo enfrentan las relaciones de género en dicho proceso.

Resultados y discusión

A continuación se presenta el contexto de El Limón respecto al papel de las mujeres en la actividad agropecuaria en general. En seguida, se analiza los cambios en las relaciones de género respecto a la feminización del manejo agropecuario. Posteriormente, se describen las características de las unidades de producción y su dinámica familiar. Finalmente, se realiza un análisis comparativo de los resultados del IF.

Contexto y estudios de caso

La participación en el ámbito de la producción agropecuaria por parte de las mujeres rurales en El Limón, Jalisco, se manifiesta en una diversidad de actividades, así como en diferentes formas de organización. Existen jornaleras agrícolas que trabajan para agroproductores de exportación, jornaleras agrícolas que trabajan para agricultores locales, mujeres que participan en proyectos productivos locales, ejidatarias, dueñas de una pequeña propiedad y criadoras de aves de corral en sus traspatios. También hay mujeres que combinan varias de estas actividades con la recolección de recursos forestales no maderables, los cuales también reproducen en sus traspatios.

Al mismo tiempo, enfrentan el problema de la desvalorización de sus productos en el mercado, por lo que combinan estas actividades con otras no agropecuarias, es decir, recurren a la pluriactividad. Lo anterior se da en un contexto social con características patriarcales, ya que las relaciones de producción agropecuaria y el ejido con mayor poder político en el municipio tienen mayor presencia de hombres. Las políticas gubernamentales de apoyos económicos dirigidos a este municipio se ven influenciadas por los estereotipos de género marcados por una sociedad patriarcal. Por ejemplo, la difusión de los apoyos monetarios o en especie dirigidos a la producción agropecuaria se centraliza en el ejido antes mencionado, al respecto, las mujeres ejidatarias entrevistadas manifestaron que se les toma muy poco en cuenta, y las que pertenecen a otros ejidos mencionan que se enteran de los apoyos cuando ya no hay tiempo para recabar la documentación que les piden. Otro ejemplo son los apoyos en capacitación que se dirigen a las mujeres, los cuales consisten en proyectos productivos como elaboración de macetas, elaboración de tortillas o elaboración de bordados, pero no hacia mujeres agricultoras o ejidatarias.

Asimismo, la percepción que se tiene del papel de las mujeres en la actividad agropecuaria, se reconoce que ha sido muy importante a través del tiempo, principalmente

por la mano de obra que proporcionan, pero no como tomadoras de decisiones. Los habitantes consideran que hay una mayor incorporación de las mujeres al trabajo como jornaleras agrícolas, esto como resultado de que las relaciones conyugales duran menos, y que la separación de los cónyuges contribuye a que las mujeres busquen opciones laborales en dicha ocupación. Por otra parte, es común que las mujeres casadas tengan dificultades para incorporarse al ámbito laboral porque sus esposos no se lo permiten. En el caso de las mujeres ejidatarias, los informantes comentaron que algunas desconocen incluso la localización de sus parcelas. Al respecto, ellas suelen prestar las parcelas a sus hijos varones para que sean ellos quienes las manejen, de tal forma que se convierten en las propietarias legales al fallecer sus esposos, pero en la práctica son los hijos quienes realmente realizan el aprovechamiento de las mismas.

En el caso de los grupos de mujeres que implementan proyectos productivos (elaboración de tortillas a mano y elaboración de macetas de piedra), su mayor motivación es incrementar los ingresos económicos de las familias para brindar mejores oportunidades de estudio a sus hijos. Sin embargo, tienen que enfrentar la dificultad de combinar estas tareas productivas y las labores domésticas al mismo tiempo, por lo que su permanencia en los grupos productivos es muy inestable.

Por lo anterior, las mujeres deben desarrollar sus roles tradicionales de género, como la crianza de los hijos, el cuidado de los enfermos y las labores domésticas; en consecuencia, sus espacios de participación social se restringen a aquellos que se relacionan con dichos roles, como lo es en las escuelas y en los centros de salud. De esta forma, enfrentan muchas dificultades para incorporarse al ámbito productivo.

Respecto a las mujeres que participan en el manejo agropecuario, además de enfrentar la alta migración de la población hacia los EEUU, tanto de hombres como de mujeres, también experimentan un cambio muy importante en las relaciones de género al interior de sus familias. En el cuadro 1 se detalla el estado civil y la edades de las 12 mujeres que participaron en el estudio al momento de ser entrevistadas. Cuatro de ellas se incorporaron al manejo agropecuario al ausentarse sus parejas conyugales; una de ellas lo hizo al divorciarse; una mujer casada, se incorporó cuando su esposo comenzó a migrar a EEUU; y las dos restantes, al fallecer su esposo y heredar las parcelas. En tres casos, las mujeres lo hicieron en vida de sus padres, cuando éstos decidieron transmitirles el conocimiento del manejo de sus parcelas en vida y heredarles las parcelas al fallecer; una de ellas es casada y las otras dos son viudas. En otros tres casos, lo hicieron al heredar la parcela de un familiar, una de ellas es casada y heredó la parcela de su abuela paterna; las dos restantes son solteras y heredaron las parcelas de sus padres. Finalmente, de las mujeres en unión libre, una de ellas lo hizo al cambiar su residencia de una

ciudad a una localidad rural; mientras que otra, lo hizo por necesidad cuando sus hijos eran pequeños. En ambos casos, ellas combinan la recolección de recursos forestales no maderables con crianza de aves de traspatio y otras actividades no agropecuarias.

Cuadro 1. Estado civil y edades de las mujeres entrevistadas

Estado civil	Frecuencia	Edad (años)
Divorciada	1	41
Unión libre	2	40, 45
Casada	3	42, 73, 80
Viuda	4	65, 67, 69, 89
Soltera	2	70, 83
Total	12	

Los cambios en las relaciones de género respecto a la feminización del manejo agropecuario también se observan en los siguientes aspectos: por una parte, el contexto económico propicia que las mujeres incursionen en el manejo agropecuario para alcanzar una mejor situación de bienestar para ellas y sus hijos; por la otra, los patrones de herencia están cambiando. Por lo general, en sociedades patriarcales tradicionales, se privilegia en la sucesión a los hijos varones, pero en este caso se encontró que los padres heredaron parcela a cinco mujeres, y una abuela heredó a su nieta, aun cuando tenía hijos varones. Tres de las mujeres que recibieron en herencia sus parcelas, se debió a que se responsabilizaron de los cuidados de salud de sus padres en su edad avanzada.

Finalmente, en las sociedades patriarcales tradicionales se acostumbra que el conocimiento agropecuario es transmitido de los padres a los hijos hombres, sin embargo, se encontró que en 10 de los 12 casos, las mujeres recibieron este conocimiento y manifestaron que durante su infancia opusieron resistencia para realizar labores domésticas, en su lugar, preferían participar en las actividades agropecuarias, aunque no se adecuaban a su estereotipo de género. En los dos casos restantes, las mujeres recibieron el conocimiento agropecuario por medio de sus esposos. Aun cuando ellos también lo transmitieron a sus hijos varones, decidieron preparar a sus esposas para el manejo de las parcelas que les darían en herencia al fallecer.

Un aspecto a resaltar respecto a las relaciones de género que enfrentan las mujeres que participan en el manejo agropecuario es que, así como hay cambios que favorecen su incursión en este ámbito, también enfrentan discriminación por los estereotipos de género. Lo anterior sucede en siete de los casos, de los cuales, en cuatro de ellos no han logrado desarrollar una red de apoyo con otros productores agropecuarios, mientras que en los tres restantes, una de ellas es discriminada por excluir a su esposo en la toma de decisiones, otra por ser divorciada, y la última por no haber heredado en vida parcelas a sus nietos hombres. En los cinco casos restantes, las mujeres han logrado construir una red de apoyo con productores agropecuarios debido a que otros hombres de la familia participan en la producción agropecuaria, o al grado de participación política en los ejidos, la cual se explica por el capital económico que han acumulado, y a que no participan más familiares en sus unidades de producción.

Respecto a las características de las unidades de producción familiar, se distinguieron seis arreglos productivos diferentes: el primero es el monocultivo, ya sea caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) o maíz (*Zea mays*), el cual corresponde a tres de los doce casos; el segundo, corresponde a otros tres casos, consiste en la recolección de recursos forestales no maderables, la cual se combina de forma complementaria con agricultura o crianza de aves de traspatio; en el tercero, se produce un cultivo que se destina como alimento para la producción pecuaria, como el maíz forrajero para alimentar al ganado vacuno, este arreglo se encontró en dos casos. El cuarto consiste en el manejo de una parcela y la puesta en renta de una segunda parcela, lo cual corresponde a dos de los doce casos. En el quinto se observa un caso en que se obtienen dos productos agropecuarios, ambos destinados a un mercado diferente entre ellos, por ejemplo, la producción de un monocultivo y la crianza de ganado vacuno. El sexto y último arreglo consiste en la producción de un policultivo, el cual correspondió a un caso que combinaba los cultivos de caña de azúcar, limón, naranja (*Citrus x sinensis*) y tamarindo (*Tamarindus indica*).

De acuerdo con la información obtenida, a través de las entrevistas con las mujeres, se considera que influye el tipo de tenencia de la tierra y el conocimiento agropecuario con el que cuentan para determinar los sistemas de producción a implementar en las unidades de producción. Por ejemplo, las mujeres que recolectan recursos forestales no maderables, reconocen que si tuvieran una parcela se enfocarían en la producción de granos u hortalizas. Un segundo aspecto que influye en los arreglos productivos, es la edad de las mujeres productoras. En la mitad de los casos, las mujeres manifestaron que debido a su edad avanzada, ya no les era posible visitar con frecuencia sus parcelas, por lo que optan por cultivos que no requieran de su trabajo físico o de su presencia, tal es el caso de la producción de caña de azúcar, cuya venta de la cosecha destinan a

un ingenio azucarero localizado en esta región. Ocho de estas mujeres corresponden a la tercera edad (65 años en adelante). Las mujeres destacan que influye el no contar con familiares que participen en la producción agropecuaria. Por otra parte, la mitad de las mujeres entrevistadas no cuentan con apoyo familiar en las labores cotidianas de las unidades de producción; dos de ellas prefieren rentar sus parcelas y otras dos contratan a mozos para que realicen dichas labores. Además de las cuatro mujeres que cuentan con la participación de integrantes de su familia en las labores agropecuarias, tres se coordinan con hijos varones y una con sus hijas, ésta última no cuenta con tenencia de la tierra y el apoyo de sus hijas es en la recolección de recursos forestales no maderables.

La información cualitativa en cuestión, evidenció que en algunos casos las mujeres combinan el trabajo agropecuario y no agropecuario, y de manera muy especial las mujeres que recolectan recursos forestales no maderables, pues carecen de tenencia de tierra. Las relaciones familiares juegan un papel muy importante, no sólo por la disponibilidad de la mano de obra como red de apoyo para las mujeres que toman decisiones agropecuarias, sino que, en la interacción familiar, se pueden generar situaciones de conflicto que exigen un mayor esfuerzo de negociación, un ejemplo de ello puede ser la división del trabajo familiar en la que se privilegia las responsabilidades de crianza de los hijos e hijas sobre las actividades productivas, o el estilo de vida al que aspira cada miembro del grupo doméstico en el que existe poco interés por continuar con la vocación agropecuaria familiar. También implica un mayor esfuerzo de negociación cuando las mujeres son propietarias de las parcelas, pero los hermanos hombres buscan asociarse con ellas. De cualquier forma, la autonomía económica y la seguridad que las mujeres obtienen al reconocerse como propietarias de las parcelas, aunado al hecho de que tengan conocimientos sobre la producción agropecuaria, les ayuda a enfrentar estas situaciones de conflicto, logrando con ello una mejor posición de negociación en la toma de decisiones.

Respecto a las relaciones comunitarias, su influencia es variable, pues así como pueden desarrollarse redes de apoyo cuando se carece del respaldo familiar, también provoca ambientes hostiles hacia las mujeres que incursionan en un ámbito tradicionalmente reconocido como parte de los roles masculinos. Lo anterior, aun cuando la información demográfica refleje a un mayor porcentaje de jefatura familiar femenina o que los divorcios y separaciones estén incrementando.

Respecto a la hipótesis de que la ausencia masculina, en especial los cónyuges, incrementa la participación de las mujeres en el manejo agropecuario, encontramos que la influencia de los hombres en la toma de decisiones agropecuarias puede ser desde diferentes posiciones familiares, no sólo como cónyuges, sino también como hijos o hermanos. Aun en los casos en que las mujeres cohabitan con sus cónyuges, la negociación

depende de las mujeres y de quién tiene los derechos de propiedad sobre las parcelas para determinar el grado de participación de hombres y mujeres.

A continuación, se presentan los resultados desde el enfoque cuantitativo, en los cuales se analiza a mayor profundidad la hipótesis de la ausencia masculina y su influencia en la feminización del manejo agropecuario.

Grado de feminización rural en el municipio de El Limón

En el cálculo del índice de feminización del manejo agropecuario, se consideraron las actividades agropecuarias, las características de las unidades de producción familiar (elementos de decisión), los tomadores de decisiones que participan en el manejo agropecuario y las seis decisiones estratégicas. En el cuadro 2 se muestran los resultados del cálculo del IF por unidad de producción familiar y se agrega una columna con la participación femenina de los doce casos por decisión estratégica.

Cuadro 2. Cálculo del IF y participación femenina global por decisión

Variable	Adela	Amelia	Ángela	Aurora	Beatriz	Carmen	Josefina	Juana	Mariana	Rosa	Tomasa	Valentina	Participación femenina global
D_{nM} : Número de mujeres que toman decisiones	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
P_{Dn} : Número total de tomadores de decisiones	1	2	1	3	1	2	1	3	2	2	2	1	
Elementos de decisión	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	

D_{nM} / P_{Dn} ¿Qué producir?	1	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1/2	1	1	1	10 (83 %)
¿Cómo producir?	1	1/2	1	1/3	1	1/2	1	0	1/2	0	0	1	6.8 (57 %)
¿Cuanta cantidad producir?	1	1/2	1	1/2	1	1/2	1	0	1/2	0	0	1	7 (58 %)
¿Qué insumos utilizar?	1	1/2	1	0	1	1/2	1	1/3	1/2	0	0	1	6.8 (57 %)
¿Qué canales de comercialización?	1	1/2	1	1/2	1	1/2	1	1/3	1/2	1	1	1	9.3 (78 %)
¿Cómo diseñar el sistema de producción?	1	1/2	1	1	1	1/2	1	1/3	1/2	1	1	1	9.8 (82 %)
Sumatoria	6	3	6	3.3	6	3	6	1.4	3	3	3	6	
Índice de feminización del manejo agropecuario (%)	100	50	100	55	100	50	100	23	50	50	50	100	

En cinco de los doce casos hay una feminización de 100%, sólo en uno de ellos participa un integrante de la familia con su mano de obra, en tres de estos casos se encuentran las mujeres que enfrentan mayor discriminación social por los estereotipos de género. En las unidades de producción familiar con feminización de 55% y 23%, que corresponden a Aurora y Juana, respectivamente, coinciden en que hay una participación de tres tomadores de decisiones, y que ambas disponen de dos parcelas, pero una la destinan al arrendamiento. Sin embargo, el grado de feminización no es directamente proporcional al número de tomadores de decisiones, lo cual hace necesario el análisis de la información cualitativa para comprender esta diferencia. El aspecto diferenciador más importante es la etapa en el ciclo de vida familiar, pues, mientras que Aurora es viuda, se encuentra en edad avanzada y ya no cohabita con sus hijos, Juana tiene 42 años de

edad, cohabita con su esposo y destina la mayor parte de su tiempo a la crianza de sus hijos, quienes actualmente estudian la educación básica. Respecto a los cinco casos que tienen una feminización de 50%, la participación de las mujeres en el manejo agropecuario se distingue en tres circunstancias diferentes: primero, dos de ellas deben ponerse de acuerdo con integrantes masculinos de la familia, quienes participan en la unidad de producción familiar; una de ellas con sus hijos y la otra con su hermano, lo anterior lo hacen en las seis decisiones estratégicas. Segundo, dos de ellas se ven en la necesidad de delegar ciertas decisiones a los mozos que contratan, pues sus familiares no tienen participación en la producción agropecuaria, por lo tanto, mientras que ellas deciden sobre qué se produce, dónde se comercializa y cómo se diseña el sistema de producción, los mozos deciden sobre cómo producir, cuánta cantidad producir y qué insumos se van utilizar. Finalmente, en uno de los casos, la feminización de 50% se debe a que ella toma las decisiones en las actividades productivas de su traspatio, mientras que su pareja conyugal toma las decisiones en su parcela.

De acuerdo a lo anterior, el IF permite distinguir que el número de tomadores de decisiones en las unidades de producción familiar no necesariamente coincide con el grado de feminización del manejo agropecuario, sino que los procesos de negociación al interior de estas unidades tienen mayor influencia en el grado de participación de las mujeres respecto a la toma de decisiones estratégicas.

Si se compara la participación femenina global por decisión estratégica, las mujeres tienen mayor control en las decisiones sobre qué se va a producir y el diseño del sistema de producción, 83% y 82%, respectivamente. Ellas controlan en 78% la decisión sobre la comercialización de la producción agropecuaria. Finalmente, deciden en 58% la cantidad a producir, y en 57% cómo se va a producir y con qué insumos. Es decir, influyen más en el destino agropecuario de sus recursos productivos y menos en las decisiones estratégicas relacionadas con la implementación de la actividad agropecuaria.

Asimismo, se encontró que la participación de otros miembros de la familia en las unidades de producción manejadas por mujeres es muy restringida, y en algunos casos participan personas que no pertenecen a la familia, sino que guardan una relación comercial o laboral con las propietarias de las parcelas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ausencia masculina y la feminización del manejo agropecuario

Caso	Edad	Estado Civil	Cohabitan con su pareja	Tipo de relación con los hombres que toman decisiones	IF (%)
Adela	73	Casada	Sí	-	100
Ángela	80	Casada	Sí	-	100
Beatriz	40	Unión libre	Sí	-	100
Josefina	41	Divorciada	-	-	100
Valentina	70	Soltera	-	-	100
Aurora	69	Viuda	-	Mozo y arrendatario	55
Amelia	67	Viuda	-	Hijos	50
Carmen	45	Unión libre	Sí	Pareja	50
Mariana	65	Viuda	-	Hermano	50
Rosa	89	Viuda	-	Mozo	50
Tomasa	83	Soltera	-	Mozo	50
Juana	42	Casada	Sí	Esposo y arrendatario	23

Además, la ausencia masculina del cónyuge, no necesariamente tiene influencia directa en la feminización del manejo agropecuario, pues en tres casos con feminización de 100%, las mujeres cohabitan con ellos. Por otra parte, las mujeres se apoyan en diferentes presencias masculinas para tomar decisiones (esposo, arrendatario, mozo, hermano o hijo), aunque no necesariamente cohabiten con ellos. Estas relaciones genéricas pueden tener cuatro orígenes: intrafamiliares, interfamiliares, comerciales y laborales, e incluso hay combinaciones de éstas, lo que da lugar a situaciones complejas de consenso y conflicto, en donde alguien tiene que ceder o en que las mujeres prefieren delegar el control de algunas decisiones.

En tres de los casos, el control de ciertas decisiones se delega por motivos de edad; en otros tres casos, para evitar conflictos y, en uno de ellos, porque se encuentra en una etapa de crianza de los hijos que es muy demandante.

CONCLUSIÓN

Aun cuando existen cambios importantes en las relaciones de género en el municipio de El Limón, como la incorporación de las mujeres a las actividades productivas, los patrones de herencia las han colocado en la primera línea de sucesión y la transmisión de conocimientos agropecuarios. Al participar en el manejo agropecuario enfrentan políticas gubernamentales de apoyo al campo centralizadas y diseñadas con base en los estereotipos de género. Aunado a lo anterior, enfrentan mayor discriminación y conflictos familiares a medida que aumentan su control en el manejo agropecuario.

A pesar de recurrir a la pluriactividad como estrategia de subsistencia, las mujeres siguen siendo responsables del ámbito reproductivo, por lo que realizan amplias cargas de trabajo.

Las mujeres que toman decisiones agropecuarias en concenso, lo hacen por tres motivos principales: por su edad avanzada, por el ciclo de vida familiar en el que se encuentran, y para evitar conflictos familiares. A su vez, los hijos de estas mujeres manifiestan un menor interés por dedicarse a la producción agropecuaria.

El principal aspecto que influye en el grado de feminización del manejo agropecuario es la posición de las mujeres en el proceso de negociación en la toma de decisiones, dicha posición se ve favorecida cuando las mujeres son dueñas de las parcelas y cuentan con conocimiento agropecuario.

El IF permitió identificar que las mujeres tienen mayor control en el aprovechamiento de los recursos productivos y la comercialización de la producción agropecuaria, pero menor control en los aspectos relacionados con el rendimiento de los recursos, como lo es en las tecnologías e insumos empleados para la producción agropecuaria.

Consideramos que el planteamiento de este índice, junto con el análisis de la información cualitativa, da cuenta de la complejidad y heterogeneidad que existe en la feminización del manejo agropecuario. Permite identificar variables que intervienen en la participación de las mujeres, como el acceso a la tierra, el conocimiento agropecuario y su poder de negociación, y además ayuda a verificar la hipótesis de la ausencia masculina en la feminización rural.

Con el empleo de esta metodología, encontramos que la ausencia masculina, sobre todo de los cónyuges, no es un factor determinante para que las mujeres tengan control sobre las decisiones estratégicas.

El empleo de este IF en un mayor número de casos permitiría contar con una mirada más amplia sobre el tema de la feminización rural en México; por ejemplo, ayudaría a develar si en general esta participación femenina tiende a envejecer o si en otros



contextos rurales hay una mayor incorporación de mujeres jóvenes en este proceso, o los dos a la vez. Además, debido al tipo de decisiones estratégicas consideradas en el planteamiento, podría analizarse su pertinencia en otros ámbitos económicos, como en la industria y los servicios, en donde las mujeres rurales también toman decisiones. Recomendamos que su análisis sea considerado en el diseño de las políticas gubernamentales, las cuales deberían de ampliar su cobertura a las mujeres productoras y ejidatarias, con la finalidad de que ellas logren mayor control en las decisiones estratégicas relacionadas con la productividad agropecuaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera muy especial a las mujeres limonenses que participaron en este estudio por compartirnos sus experiencias de vida y percepciones. Sus contribuciones nos ayudan, como comunidad académica, a comprender mejor este tema y nos reafirma el compromiso en la difusión de estos resultados para contribuir a su visualización como importantes agentes de cambio en las sociedades rurales. Asimismo se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la asignación de la beca 386717.

BIBLIOGRAFÍA

- Argawal, B., 1997, "'Bargaining' and Gender Relations: Within and Beyond the Household", en *Feminist Economics*, 3(1), en http://www.binaagarwal.com/downloads/apapers/bagaining_and_gender_relations.pdf, consultado el 06/10/2016.
- Barlett, P., 1980, "Adaptative Strategies in Peasant Agricultural Production", en *Annual Review of Anthropology*, 9 (1980), en <http://www.jstor.org/stable/2155747>, consultado el 11/109/2014.
- Bonfil, P., 1996, "Las familias rurales ante las transformaciones socioeconómicas recientes", en *Estudios Agrarios*, 2(5), en http://www.pa.gob.mx/publica/cd_estudios/index1.htm, consultado el 19/11/2014.
- Consejo Nacional de Población (Conapo), 2000, Anexo B Resultados principales del índice de intensidad migratoria México-Estados Unidos por municipio, Informe, en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Intensidad_Migratoria_Mexico-Estados_Unidos_2000, consultado el 12/11/2014.
- Consejo Nacional de Población (Conapo), 2010, Índice de Migración Internacional México-Estados Unidos. Anexo B Aguascalientes-Michoacán, Informe en <http://www>.

- conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_intensidad_migratoria_Mexico-Estados_Unidos_2010, consultado el 12/11/2014.
- Consejo Nacional de Población (Conapo), 2015, El retorno en el nuevo escenario de la migración entre México y Estados Unidos. Informe, en http://omi.gob.mx/work/models/OMI/Seccion_Publicaciones/TemasDeMigracion/Migra_Retorno/files/assets/common/downloads/migracion_retorno.pdf, consultado el 12/07/2016.
- De Brauw, A. *et al.*, 2013, "The Feminization of Agriculture with Chinese Characteristics", en *The Journal of Development Studies*, 49(5), en <http://dx.doi.org/10.1080/00220388.2012.724168>, consultado el 06/08/2015.
- De María y Campos, A., 2005, "El acceso de las mujeres rurales a la tenencia de la tierra: el caso de México", en *Estudios Agrarios*, 30(3), en http://www.pa.gob.mx/publica/rev_30/alejandra%20de%20maria.pdf, consultado el 06/08/2015.
- De Schutter, O., 2013, The agrarian transition and the feminization of agriculture. Food Sovereignty: A Critical Dialogue International Conference. New Heaven, CT, EEUU, en https://www.tni.org/files/download/37_deschutter_2013.pdf, consultado el 28/03/2016.
- Deere, C., 2011, "Tierra y autonomía económica de la mujer rural: avances y desafíos para la investigación", en Costas, P. (Comp.), *Tierra de Mujeres*, en http://www.pa.gob.mx/publica/rev_52/analisis/tierra_y_autonomia_economica.pdf, consultado el 06/08/2015.
- Deere, C. y J. Twyman, 2014, "¿Quién toma las decisiones agrícolas? Mujeres propietarias en el Ecuador", en *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 2014, en <http://www.colpos.mx/asyd/volumen11/numero3/asd-14-078.pdf>, consultado el 29/09/2016.
- Gartaula, H. *et al.*, 2010, "Feminisation of Agriculture as an Effect of Male Out-migration: Unexpected Outcomes from Jhapa District, Eastern Nepal", en *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences*, 5(2), en http://www.neys-vanhoogstraten.nl/wp-content/uploads/2015/04/2010_-Gartaula-et-al._-Feminisation-of-agriculture.pdf, consultado el 01/09/2016.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 1970, IX Censo de Población. Informe, en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/tabdirecto.aspx?s=est&c=16763>, consultado el 13/07/2016.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 1990, XI Censo General de Población y Vivienda, Informe, en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/tabentidad.aspx?c=33141&s=est>, consultado el 13/07/2016.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2007, Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, Informe, en <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/agro/agricola/2007>, consultado el 03/09/2018.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010, Censo de Población y Vivienda, Informe, en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>, consultado el 22/11/2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2015, Mapa Digital de México, Versión 6.0, Aplicación en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>, consultado el 15/06/2016.
- Kaspar, H., 2005, *I am the household head now! Gender aspects of Out-migration for Labour in Nepal*. Kathmandu, Nepal: Nepal Institute of Development Studies (NIDS) , en https://www.researchgate.net/publication/236857849_I_am_the_household_head_now_Impacts_of_out-migration_for_labour_on_gender_relations_in_Nepal, consultado el 05/10/2016.
- Lahoz, D., 2011, Mujeres campesinas y su papel en el sistema alimentario en México, México: Oxfam, Informe en http://oxfamMexico.org/crece/wp-content/uploads/2012/12/mujeres_campesinas_2012.pdf, consultado el 06/08/2015.
- Le Gale *et al.*, 2011, "How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review", en *Agricultural Systems*, 104(9), en <http://doi:10.1016/j.agsy.2011.07.007>, consultado el 05/10/2016.
- Quijandria, B., 1990, "Aspectos teóricos y metodológicos del sistema y de la unidad de producción", en Eresue, M. *et al.* (Comp.), *Agricultura Andina: unidad y sistema de producción. Diálogo entre ciencias agrarias y ciencias sociales*, ORSTOM. Perú, en http://www.horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins=textes/pleins_textes_7/b_fdi_03_01/31596.pdf, consultado el 11/09/2014.
- Riaño, E. y M. Keilbach, 2009, "Mujeres y nueva ruralidad: un estudio de caso sobre la desfeminización de la agricultura", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 9(18), en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=211014822002>, consultado el 29/09/2016.
- Robert, M. *et al.*, 2017, "Adaptative and dynamic decision-making processes: A conceptual model of production systems on Indian farms", en *Agricultural Systems*, 157: october 2017, en <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.001>, consultado el 04/10/2016.
- Rojas, T., 2009, "La crisis del sector rural y el coste migratorio en México. En Iberóforum", en *Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, IV(8), en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=211014822002>, consultado el 09/09/2016.
- Secretaría de Relaciones Exteriores/Comission on Inmigration Reform, 1997, Estudio Binacional México-Estados Unidos sobre Migración, Informe, en <https://lbj.utexas.edu/uscir/binational/full-report.pdf>, consultado el 12/07/2016.

Tamang, S. *et al.*, 2014, "Feminization of agriculture and its implications for Food Security in Rural Nepal", en *Journal of Forest and Livelihood*, 12(1), en [http://www.restoration.org/app/webroot/js/tinymce/editor/plugins/filemanager/files/JFL%20VOI%2012%20\(1\)/tamang%20et%20al.pdf](http://www.restoration.org/app/webroot/js/tinymce/editor/plugins/filemanager/files/JFL%20VOI%2012%20(1)/tamang%20et%20al.pdf), consultados el 05/06/2016.

Diámetro de folículos determinado con ultrasonido en ovarios de bovino obtenidos en matadero

Filiberto Fernández Reyes^{1*}, Esmeralda Mónica Peña González ¹
y Lucio Santos Ventura ¹

Resumen. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el diámetro de los folículos presentes en ovarios de vacas Holstein, colectados en matadero, mediante una regla métrica y ultrasonido para verificar si la observación externa de los folículos en los ovarios corresponde con su diámetro interno. En la producción de embriones de bovino *in vitro* en general se puncionan folículos de 3 a 6 mm de diámetro para obtener los complejos ovocitos células del cúmulo (COCs), en estudios realizados por diversos autores se ha observado una gran diferencia en la competencia de desarrollo de los ovocitos colectados. Los resultados obtenidos en 148 ovarios, fueron clasificados en: ovarios izquierdos 74, con un tamaño promedio de 3.37+0.74 cm de largo y 1.75+0.48 cm de ancho, el diámetro de los folículos evaluados con regla métrica en promedio fue 0.41+0.10 cm, la medida correspondiente a ultrasonido fue en promedio 0.51+0.21 cm. En 22 ovarios izquierdos se observó la presencia de un cuerpo lúteo y en uno se presentaron dos cuerpos lúteos. En los ovarios derechos 74, con un tamaño promedio de 3.56+0.77 cm de largo y 1.77+0.47 cm de ancho, el diámetro de los folículos evaluados con regla métrica en promedio fue 0.40+0.09 cm, la medida correspondiente a ultrasonido fue en promedio 0.50+0.18 cm. En 24 ovarios derechos se observó la presencia de un cuerpo lúteo y en dos se presentaron dos cuerpos lúteos. En 17 ovarios izquierdos y 17 derechos no se observó ninguna estructura. Se concluye que el procedimiento de medición del diámetro folicular mediante regla métrica y ultrasonografía presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) en ovarios de bovino obtenidos en matadero y permitió confirmar que el diámetro de los folículos es similar para los folículos de ovarios izquierdos y derechos ($P < 0.05$). La evaluación de la maduración *in vitro* de 36 ovocitos obtenidos de ovarios izquierdos fue de 88.8% y en 35 ovocitos provenientes de ovarios derechos fue de 88.5% ($P > 0.05$), por lo que es factible la obtención de ovocitos de buena calidad para su maduración *in vitro* por ambos métodos y ambos ovarios.

¹ Laboratorio Manejo de la Reproducción, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X)

* e-mail: freyes@correo.xoc.uam.mx.

Palabras Clave: Folículo, Diámetro, Bovino, Maduración *in vitro*.

Abstract. The objective of this study was to determine the diameter of the follicles present in ovaries of Holstein cows collected on slaughterhouse, using a metric rule and ultrasound, to verify whether the external observation of the follicles in the ovaries corresponds to the internal diameter of follicles. In general follicles of 3 to 6 mm in diameter are punctured to obtain the complex oocyte cells cumulus (COCs), a great difference has been observed in the competence of development of the oocytes collected in the production of *in vitro* bovine embryos in studies carried out by different authors. The results obtained in 148 ovaries, were classified in: 74 left ovaries, with an average size 3.37 ± 0.74 cm in length and 1.75 ± 0.48 cm in width, the follicles diameter average with metric rule was 0.41 ± 0.10 cm, the measurement corresponding to ultrasound was 0.51 ± 0.21 cm. A corpus luteum was observed in 22 left ovaries and in one there were two corpora lutea. The 74 right ovaries had an average size of 3.56 ± 0.77 cm length and 1.77 ± 0.47 cm width, the diameter of the follicles evaluated with metric rule had an average of 0.40 ± 0.09 cm, the measurement corresponding to ultrasound was an average of 0.50 ± 0.18 cm. A corpus luteum was observed in 24 ovaries and in two there were two corpora lutea. It is concluded that the procedure of measurement of the follicular diameter by metric rule and ultrasonography in bovine showed significant differences ($P < 0.05$) in bovine ovaries obtained in slaughterhouse and confirmed that the diameter of the follicles is similar for left and right ovarian follicles ($P > 0.05$). The evaluation of the *in vitro* maturation of 36 oocytes obtained from the left ovaries was 88.8% and in 35 oocytes from the right ovaries it was 88.5% ($P > 0.05$), so it is feasible to obtained good quality oocytes for *in vitro* maturation by both methods and both ovaries.

Keywords: Follicle, Diameter, Bovine, Maturation *in vitro*.

INTRODUCCIÓN

El ganado bovino Holstein presenta actividad reproductiva en forma constante, sin embargo, en la eficiencia reproductiva no siempre se tienen los resultados deseados, debido a muchas variables que intervienen en la reproducción; aunque la inseminación artificial es de uso común para esta especie, hay otras técnicas que pueden favorecer la eficiencia reproductiva como es el caso de la transferencia de embriones, la cual tiene un costo mayor a la inseminación artificial, pero también tiene ventajas, como el avance genético que se puede obtener al utilizar animales sobresalientes en determinadas características.

Una alternativa que puede aplicarse es la transferencia de embriones producidos *in vitro*, aunque la maduración y el crecimiento de los ovocitos *in vitro* depende de varios factores, como la condición fisiológica de las vacas donadoras, el estado del folículo y tamaño o fase de crecimiento. Los reportes muestran que las condiciones que son comúnmente usadas para la maduración de ovocitos de bovino no son totalmente eficaces, sin embargo, la competencia del desarrollo de los ovocitos es afectado por el ciclo estral de la donadora, fase de desarrollo folicular y tamaño del folículo (Iwata *et al.*, 2006). Este desarrollo también se ve favorecido por las células foliculares que proveen de nutrientes al ovocito y de energía a las células de la granulosa (Wani, 2002). *In vitro*, la adición de 10% de suero fetal bovino favorece la maduración debido a sus componentes, entre los que se encuentran: aminoácidos, carbohidratos, hormonas, factores de crecimiento, algunos componentes indefinidos y proteínas como la albúmina que ayuda a establecer un balance osmótico en el medio (Picton *et al.*, 2003).

El sistema endocrino regulador de la foliculogénesis involucra las gonadotropinas, pero localmente se producen varias hormonas y factores de crecimiento. Se han observado receptores en las células de la teca y la granulosa en el ovario, particularmente en el bovino están presentes receptores a estradiol y progesterona de acuerdo al crecimiento y desarrollo, según el tamaño de los folículos de 1-5 mm, 6-9 mm ó >9 mm (Beg y Ginther, 2006).

Antes de la disponibilidad del ultrasonido, la evaluación del desarrollo folicular solamente era posible al observar los ovarios después de la cirugía o en el momento de la muerte del animal, por lo que la existencia de la onda folicular y el crecimiento folicular no podía ser valorada. Mediante el ultrasonido se ha caracterizado el folículo dominante y el desarrollo del cuerpo lúteo durante el ciclo estral. La ultrasonografía recientemente ofrece tecnología de excelente resolución con un transductor de alta frecuencia (25-70 MHz) para valorar la dinámica de desarrollo de los folículos antrales y del complejo ovocito-células del cúmulo (COCs) (Pfeifer *et al.*, 2013). El ultrasonido se ha utilizado *in vivo* para predecir la producción de embriones y la colección de embriones después de la superovulación (Silva-Santos *et al.*, 2014). En el bovino es bien conocido que ocurren 2 a 3 ondas foliculares durante cada ciclo estral, identificadas por el desarrollo de los folículos mayores a 5 mm (Scully *et al.*, 2014).

Aun cuando el crecimiento de folículos en la mayoría de las vacas lecheras es constante, a veces se tiene una baja fertilidad (Evans *et al.*, 2012); con el objeto de incrementarla se han intentado diversos procedimientos de reproducción asistida, entre los cuales se encuentra la transferencia de embriones obtenidos *in vivo* o *in vitro*, en este último procedimiento se tiene la Ovopunción (OPU), la cual brinda la oportunidad de

obtener ovocitos de calidad en los días 4 y 7 del ciclo estral, con morfología similar, sin embargo, en el periodo de 7 días disminuye la calidad de los ovocitos, posiblemente por degeneración de los folículos (Nagai *et al.*, 2015). Una condición diferente es que usando FSH en animales jóvenes de 5 a 10 meses de edad, se tienen pocos embriones en estadio de mórula y blastocisto cuando se producen de ovocitos obtenidos de folículos de 7-10 mm, (Landry *et al.*, 2016); por consiguiente, el diámetro de los folículos en la maduración es de vital importancia para la fertilización y desarrollo embrionario *in vitro* (Jorssen *et al.*, 2015). La evaluación de la calidad de los ovocitos para el desarrollo *in vitro* se basa en la composición de las células cúmulo y las características del citoplasma del ovocito. La calidad morfológica de los COCs es determinada por grados 1, 2, 3 o 4, el grado 1 tiene cuatro o más capas de células del cúmulo y el citoplasma del ovocito es homogéneo, conforme disminuyen estas características disminuye la calidad del ovocito, considerando el grado 1 el más apto para la maduración *in vitro* (Do *et al.*, 2018).

El objetivo del presente estudio fue medir el diámetro de los folículos de 3 a 6 mm observados a simple vista con una regla métrica y con el equipo de ultrasonido en ovarios de bovino obtenidos en matadero, para confirmar si el diámetro de los folículos es el mismo mediante estos dos procedimientos y observar si hay alguna diferencia en su maduración *in vitro* que aumente la eficiencia en el proceso de esta biotecnología reproductiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras y procedimiento

Se colectaron 148 ovarios de vacas Holstein recién sacrificadas en el matadero, con una edad estimada de 3 a 4 años, en buen estado de salud y sin ninguna patología en el aparato reproductor. Los ovarios fueron clasificados en Izquierdos y Derechos. Posteriormente se transportaron al Laboratorio Manejo de la Reproducción de la UAM-Xochimilco, a una temperatura de 26°C, en un tiempo menor a 2 horas; después los ovarios fueron colocados en un recipiente con solución salina 0.9% adicionada con antibiótico-antimicótico 1 mL/L (Penicilina G 10000 UI/mL, Estreptomina 10000 UI/mL y Anfotericina 24 UI/mL) para mantener una temperatura constante de 38°C en el momento de realizar la ultrasonografía, procedimiento adaptado de Civale *et al.* (2013), quienes mencionan que la imagen que se obtiene con el ultrasonido a una temperatura normal del organismo bovino permite tener una mejor posición focal del equipo, que cuando la temperatura

está por debajo de 10°C de la normal. Se midieron los folículos de 3 a 6 mm que se observaron en la superficie del ovario a simple vista, con una regla métrica y con el equipo de ultrasonido (Sonovet 2000; con sonda de 3.5 MHz). Las medidas fueron anotadas en cada procedimiento. Posteriormente, por separado, folículos de ovarios izquierdos y derechos fueron puncionados utilizando una jeringa hipodérmica desechable de 10 mL y una aguja hipodérmica de 18x38 mm para la obtención del líquido folicular, el cual se dejó sedimentar. El proceso de maduración *in vitro* fue adaptado de Do *et al.* (2014); a partir del sedimento se obtuvo el paquete celular que se lavó dos veces con medio modificado de Tyrode, suplementado con lactato de sodio, Hepes y PVA (TL-Hepes-PVA), con un pH de 7.3 a 7.4, al cual se adicionó 5 UI de Heparina/ml. Bajo el microscopio estereoscópico, se seleccionaron los Complejos Ovocito-Células del Cúmulo (COCs), eligiéndose aquellos que presentaron citoplasma uniforme y que estaban rodeados por una masa completa de las células del cúmulo. Los ovocitos seleccionados fueron cultivados para su maduración en medio para cultivo de tejidos TCM-199, con sales de Earle y bicarbonato, suplementado con PVA al 0.1%, D-glucosa 3.05 mM, piruvato de sodio 0.91 mM, cisteína 0.57 mM y factor de crecimiento epidérmico (EGF) 10 ng/ml (Wang y Niwa, 1995). Los ovocitos se depositaron en una caja de 4 pozos conteniendo 500 mL de medio de maduración en cada uno. Posteriormente, cada pozo fue cubierto con una capa de aceite mineral y finalmente se le agregaron 1.5 U.I. de Merional (IBSA, Suiza) y 10% de Suero Fetal Bovino. Las cajas se incubaron a 39°C en una atmósfera de CO² al 5% y humedad a saturación, durante 24 horas. Posteriormente se realizó la evaluación de la maduración en unas muestras que fueron cultivadas para este fin, de acuerdo al procedimiento establecido por Casas *et al.* (2010).

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente determinando el promedio, desviación estándar y análisis de varianza, se utilizó la prueba de Tukey para determinar la diferencia mínima significativa a un intervalo de confianza de 0.05 (Kuehl, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron evaluados 148 ovarios (Tabla 1, Imágenes 1 a 3), los cuales se clasificaron en: Ovario Izquierdo (I) y Ovario Derecho (D). En I, el tamaño de los ovarios en promedio fue de

3.37±0.74 cm de largo y 1.75±0.48 cm de ancho, en estos ovarios el diámetro de los folículos evaluados con regla métrica en promedio fue 0.41±0.10 cm, la medida correspondiente a ultrasonido fue en promedio 0.51±0.21 cm. En 22 / 74 ovarios se observó la presencia de un cuerpo lúteo y en uno se presentaron dos cuerpos lúteos. Ovarios con presencia de folículos únicamente 35 / 74. De los 22 con cuerpo lúteo, 5 no presentaron folículos y 17 ovarios no presentaron ninguna estructura (Tabla 2).

Tabla 1. Medida de ovarios y diámetro de folículos en ovarios de vacas, obtenidos con una regla métrica y ultrasonido, clasificados en izquierdos y derechos

Número de muestra	Ovario	Largo cm	Ancho cm	Diámetro de Folículos con Regla en cm	Diámetro de Folículos con Ultrasonido en cm
1	I	2.4	1.4	0.3, 0.4	0.3, 0.6
2	D*	3.8	1.7	0.4	0.9
3	I	3.8	1.8	0.4	0.5
4	D*	4.3	2.5	0.3 0.4	0.7, 0.7
5	I	3.6	1.6	0.6	0.6
6	D	3.8	2.1	0.3, 0.3, 0.6	0.5, 0.8, 1.1
7	I*	2.5	1.4	0.6, 0.6	0.6, 0.6
8	D	2.9	1.6	0.3, 0.4, 0.5	0.4, 0.4, 0.5,
9	I	3.8	0.9	0.3, 0.3, 0.6, 0.6	0.3, 0.6, 0.6, 0.6
10	D	4.2	1.7	0.3, 0.6	0.4, 0.4
11	I	2.9	1.8	0.3, 0.5, 0.5	0.3, 0.3, 0.4,
12	D	3.6	1.8	0.4, 0.4, 0.4	0.4, 0.4 0.6
13	I	3.2	1.1	0.4	0.3
14	D*	3.0	1.5	-	-
15	I*	3.9	2.2	0.4, 0.5, 0.6	0.4, 0.4, 0.5
16	D	3.3	1.6	0.4, 0.5	0.3, 0.5
17	I	3.9	2.0	0.3, 0.4, 0.4, 0.5	0,3, 0.3, 0.4, 0.4
18	D*	4.1	2.1	0.3, 0.4, 0.5	0.3, 0.3, 0.3
19	I	3.9	1.7	0.4, 0.6, 0.5	0.3, 0.4, 0.5
20	D	3.4	1.5	0.3, 0.3, 0.4, 0.4	0.4, 0.4, 0.4, 0.5
21	I*	4.4	2.6	0.5	0.3

DIAMETRO DE FOLÍCULOS DETERMINADO CON ULTRASONIDO EN OVARIOS DE BOVINO...

22	D	4.6	2.1	0.3, 0.4, 0.4, 0.6	0.4, 0.4, 0.9, 0.6
23	I	2.5	1.5	0.4, 0.4, 0.5	0.4, 0.4, 0.4
24	D	3.3	1.7	0.4, 0.4, 0.5	0.3, 0.4, 0.8
25	I*	2.4	1.7	0.5	1.3
26	D	3.3	0.9	0.3, 0.5, 0.4	0.4, 0.4, 0.5
27	I	3.9	2.0	0.6	0.5
28	D**	3.2	2.4	0.5, 0.5	0.3, 0.6
29	I	2.9	1.7	0.4, 0.4, 0.5, 0.5	0.3, 0.3, 0.3, 0.5
30	D**	2.4	1.6	0.3, 0.4, 0.4	0.3, 0.4, 0.4
31	I**	3.6	2.3	0.4	0.4
32	D	3.4	2.0	0.3, 0.3, 0.3, 0.3	0.3, 0.4, 0.5, 0.8
33	I*	4.2	2.9	0.3	0.3
34	D	4.5	2.3	0.3, 0.3, 0.3, 0.3	0.4, 0.4, 0.4, 0.4
35	I*	3.6	2.7	0.3, 0.3, 0.3, 0.3	0.3, 0.3, 0.3, 0.3
36	D	3.3	2.4	0.3, 0.5	0.3, 0.5
37	I*	4.0	2.2	-	-
38	D	3.4	2.1	0.3	0.4
39	I	2.6	2.1	0.3, 0.3, 0.3	0.4, 0.4, 0.6
40	D*	3.7	2.8	0.6	0.6
41	I	3.2	2.1	0.3, 0.5	0.4, 0.6
42	D*	3.6	3.1	0.3, 0.3, 0.5	0.4, 0.5, 0.6
43	I	3.9	1.6	-	-
44	D*	5.1	2.3	0.3, 0.3, 0.4	0.4, 0.4, 0.4
45	I*	5.0	1.7	0.3, 0.4	0.4, 0.4
46	D*	5.1	2.3	0.3, 0.3, 0.4	0.4, 0.4, 0.4
47	I*	3.1	2.2	0.4	0.6
48	D	3.0	2.0	0.3, 0.4	0.4, 0.5
49	I*	3.8	2.4	0.3, 0.6	0.3, 1.0
50	D	3.3	2.3	0.3, 0.3, 0.5, 0.5, 0.5	0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.4
51	I*	3.5	2.0	0.3, 0.4	0.3, 0.3
52	D	3.4	1.7	0.3, 0.4	0.5, 0.6
53	I*	3.5	2.0	0.3, 0.4	0.3, 0.3
54	D	3.4	1.7	0.3, 0.4	0.3, 0.4
55	I	2.1	1.9	0.3, 0.3, 0.4	0.3, 0.3, 0.3
56	D*	2.5	1.5	0.3, 0.4, 0.4, 0.5,	0.3, 0.3, 0.3, 0.3

57	I	3.0	2.2	0.3, 0.5	0.3, 0.4
58	D*	3.3	1.4	0.3, 0.4	0.3, 0.3
59	I	2.8	2.1	0.3, 0.3, 0.4, 0.4	0.3, 0.3, 0.3, 0.4
60	D*	2.0	1.7	0.4, 0.5, 0.6	0.4, 0.4, 0.4
61	I	2.9	1.1	-	-
62	D	2.0	1.0	0.6	0.4
63	I	2.8	1.2	-	-
64	D	2.5	2.5	0.5, 0.5	0.6, 0.7
65	I*	3.0	2.0	-	-
66	D*	5.0	3.0	-	-
67	I*	4.5	2.0	0.3, 0.4, 0.4	0.4, 0.6, 0.7
68	D	3.0	1.5	-	-
69	I	3.0	2.0	-	-
70	D	5.0	2.0	0.6, 0.4	0.8, 1.0
71	I	2.0	1.5	-	-
72	D	3.0	2.0	-	-
73	I	2.0	1.5	-	-
74	D*	4.2	2.5	0.3, 0.3	0.6, 0.7
75	I	4.0	2.5	-	-
76	D	5.0	2.0	-	-
77	I	4.5	2.5	-	-
78	D*	4.0	2.0	0.5, 0.5	0.4, 0.9
79	I	3.0	1.5	0.6	0.9
80	D	3.0	2.0	-	-
81	I*	4.5	2.5	0.3	0.9
82	D	2.5	1.5	0.4, 0.6, 0.6	0.3, 0.7, 0.8
83	I	3.0	2.0	0.6	0.8
84	D	4.0	2.0	-	-
85	I	4.0	2.0	-	-
86	D	2.5	1.5	-	-
87	I	3.0	1.0	-	-
88	D	4.0	1.0	-	-
89	I	3.8	2.0	0.6	0.6
90	D	3.0	1.5	0.4, 0.5	0.4, 0.5
91	I*	4.1	1.3	-	-
92	D	4.8	1.9	0.4	0.9

DIAMETRO DE FOLÍCULOS DETERMINADO CON ULTRASONIDO EN OVARIOS DE BOVINO...

93	I	3.8	1.6	-	-
94	D	4.5	2.5	0.4, 0.5, 0.5	0.5, 0.7, 0.7
95	I	3.8	2.0	0.3, 0.5	0.5, 0.7
96	D*	4.0	2.0	0.3	1.0
97	I	4.0	1.5	-	-
98	D*	5.0	2.0	0.3, 0.4	0.4,0.7
99	I	4.0	1.9	0.3, 0.4	1.0, 1.2
100	D*	3.4	1.8	0.4	0.7
101	I	2.8	1.6	0.5	1.0
102	D	3.5	1.5	-	-
103	I	2.5	0.5	-	-
104	D	3.5	0.8	-	-
105	I	3.5	1.2	0.3, 0.3, 0.4	0.3, 0.5, 0.5
106	D	3.0	1.0	0.4, 0.6	0.4, 0.6
107	I	3.5	2.5	0.6	0.8
108	D	4.5	2.0	-	-
109	I	2.0	1.0	0.6	0.5
110	D	2.5	1.5	0.5	0.5
111	I	3.5	1.0	-	-
112	D*	3.5	1.8	0.3, 0.3	0.4, 0.4
113	I	2.0	1.5	0.5	0.6
114	D	3.0	1.5	0.6, 0.6	0.9, 0.9
115	I	4.5	0.8	-	-
116	D*	3.0	1.5	-	-
117	I	4.0	1.2	0.4	0.8
118	D	5.0	1.2	0.4, 0.4, 0.4, 0.4	0.6, 0.7, 0.7, 0.7
119	I	3.5	2.0	0.4, 0.4	0.5, 0.7
120	D	4.5	1.3	0.3, 0.4,0.4,0.5	0.3, 0.4, 0.5, 0.6
121	I	5.5	2.0	0.4, 0.5	0.5, 0.7
122	D	4.4	1.6	0.3, 0.6	0.3, 0.6
123	I*	4.0	1.8	0.4	1.1
124	D	4.5	2.0	0.3, 0.5, 0.5, 0.5	0.4, 0.5, 0.5, 0.8
125	I	3.0	1.5	0.4, 0.5	0.5, 0.8
126	D*	3.2	1.8	0.3, 0.3	0.5, 0.5

127	I	3.5	1.8	0.4	0.5
128	D	4.0	1.5	0.3, 0.3, 0.4, 0.5,	0.3, 0.3, 0.4, 0.5
129	I	3.5	1.5	-	-
130	D*	4.0	1.5	-	-
131	I*	2.5	1.2	-	-
132	D	3.0	1.2	-	-
133	I	3.0	1.5	-	-
134	D	3.0	1.8	0.5	0.6
135	I*	3.5	1.5	0.6, 0.6	0.6,0.6
136	D	2.5	1.0	-	-
137	I*	2.5	1.5	-	-
138	D	3.0	1.5	-	-
139	I	3.0	1.6	0.3, 0.3	0.6, 0.7
140	D	4.0	2.0	-	-
141	I*	3.2	1.6	0.3, 0.3	0.5,0.7
142	D	3.0	1.6	0.3	0.6
143	I	2.5	1.3	0.3, 0.3, 0.4, 0.5	0.4, 0.6, 0.6, 0.7
144	D*	3.0	2.0	0.4	0.7
145	I	2.8	1.4	0.3, 0.5	0.6, 0.7
146	D	3.5	1.4	-	-
147	I	4.0	2.2	0.4, 0.5	0.4, 0.7
148	D	3.0	1.4	0.3, 0.4, 0.4, 0.5	0.3, 0.4, 0.5, 0.6
Promedio	I	3.37 ± 0.74^a	1.75 ± 0.48^a	0.41 ± 0.10^a	0.51 ± 0.21^b
Promedio	D	3.56 ± 0.77^a	1.77 ± 0.47^a	0.40 ± 0.09^a	0.50 ± 0.18^b

I= Ovario Izquierdo.

D= Ovario derecho.

*Indica presencia de cuerpo lúteo.

Literales iguales en las columnas de las medidas de ovarios indican no diferencia estadística significativa (P>0.05).

Literales diferentes en renglones de medida de folículos indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

Tabla 2. Número de ovarios con presencia o ausencia de estructuras como cuerpo lúteo y folículos

Ovario	Número	Con cuerpo lúteo y folículos	Con cuerpo lúteo sin folículos	Con folículos únicamente	Sin estructuras
I	74	17 ^a	5 ^a	35 ^a	17 ^a
D	74	20 ^a	4 ^a	35 ^a	15 ^a
Total	148	37	9	70	32

Literales iguales en las columnas de las medidas de ovarios indican no diferencia estadística significativa ($P>0.05$).

En D, el tamaño de los ovarios en promedio fue de 3.56 ± 0.77 cm de largo y 1.77 ± 0.47 cm de ancho, en estos ovarios el diámetro de los folículos evaluados con regla métrica en promedio fue 0.40 ± 0.09 cm, la medida correspondiente a ultrasonido fue en promedio 0.50 ± 0.18 cm. En 24/74 ovarios se observó la presencia de un cuerpo lúteo y en dos se presentaron dos cuerpos lúteos. Ovarios con presencia de folículos únicamente 35/74. De los 24 con cuerpo lúteo, 4 no presentaron folículos y 15 ovarios no presentaron ninguna estructura (Tabla 2). El mayor tamaño de ovario fue observado en uno obtenido del lado izquierdo con 5.5 cm, y en el derecho con 5.1 cm de longitud; en cuanto al menor tamaño de ovario fue similar a 2.0 cm de longitud en ambos lados, izquierdo y derecho. El largo y ancho de los ovarios en el presente estudio son muy similares en todos los ovarios muestreados, posiblemente porque su procedencia fue de animales adultos y no se observó ninguna diferencia estadística significativa ($P>0.05$) entre las medidas de ambos grupos de ovarios.

El diámetro de los folículos evaluados con regla fue 0.3 a 0.6 cm en ambos ovarios izquierdos y derechos, el resultado de la medición con el ultrasonido en algunos de estos mismos folículos fue diferente, se obtuvieron folículos con un diámetro mayor que el obtenido con la regla métrica; 21 folículos izquierdos y 28 folículos derechos tuvieron un diámetro entre 0.7 a 1.3 cm, representando 20.1% y 26.9%, respectivamente (Tabla 3). Las medidas del diámetro con regla y ultrasonido mostraron una diferencia estadística significativa ($P<0.05$), probablemente porque en la medición con regla métrica sólo se observó la parte del folículo que sobresalía del ovario y algunos folículos evaluados con ultrasonido estaban colocados de manera más profunda, generando un mayor diámetro

que el observado en la superficie del ovario (Imágenes 1 a 3). El diámetro de los folículos evaluados es similar a los reportados por otros autores, Hiaro *et al.* (2014) citan un diámetro de folículos antrales de 0.5-0.8 mm en ganado F1 de Japanese Black x Holstein. Por otra parte, Ferreira *et al.* (2013) observaron que el tamaño de los folículos es de 10.7 a 14.9 mm entre los días 8 a 10 del ciclo estral en vacas Holstein. El uso del equipo de ultrasonido puede ayudar a determinar con mayor precisión el diámetro de los folículos, aunque la diferencia en la medición del diámetro con ultrasonido es significativa ($P < 0.05$), los resultados de la maduración *in vitro* de los 71 ovocitos evaluados no presentó diferencias en la maduración, en 36 ovocitos obtenidos de ovarios izquierdos el porcentaje de maduración fue 88.8% y la maduración obtenida en los 35 ovocitos provenientes de ovarios derechos fue 88.5% ($P > 0.05$) (Tabla 4, Imágenes 4 y 5), estos porcentajes son mayores a 79%, reportado por Lopes *et al.* (2018), por lo que es factible la obtención de ovocitos de buena calidad para su maduración *in vitro* por ambos métodos.

Tabla 3. Número de folículos en ovario izquierdo y derecho, clasificados por su diámetro y tipo de medición

Diámetro	0.3 cm	0.4 cm	0.5 cm	0.6 cm	0.7 a 1.3 cm	Total
Izquierdos						
Regla	36	42	20	16	-	104^a
Ultrasonido	30	20	14	19	21	104^b
Derechos						
Regla	49	44	29	13	-	135^a
Ultrasonido	26	46	20	15	28	135^b

Literales diferentes indican una diferencia estadística significativa en el diámetro de los folículos, obtenido con la regla y ultrasonido ($P < 0.05$).

Imágenes 1 a 3, muestran la medición del diámetro de los folículos evaluados con regla métrica y ultrasonido



Imagen 1. Folículo de 5 mm.



Imagen 1. Folículo de 7 mm (xD2).



Imagen 2. Folículo de 6 mm.

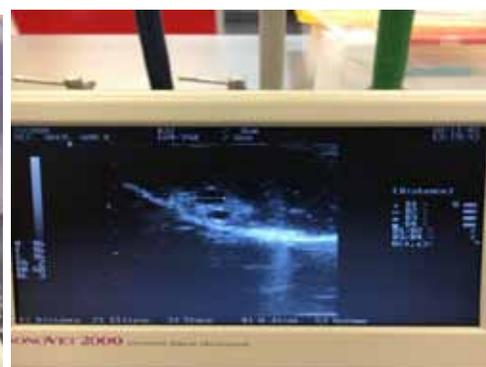


Imagen 2. Folículo de 8 mm (+D1).



Imagen 3. Folículo de 6 mm.



Imagen 3. Folículo de 7 mm (+D1).

Tabla 4. Estado de maduración *in vitro* de ovocitos obtenidos de ovarios izquierdos y derechos

Estadio	Ovocitos	VG	MI	Porcentaje en MI	MII	Porcentaje en MII
I	36	0	4	11.1	32	88.8^a
D	35	0	4	11.4	31	88.5^a
Total	71	0	8	11.2	63	88.7

No se observó ninguna diferencia estadística significativa ($P>0.05$) en la maduración entre los ovocitos obtenidos de ovarios izquierdos y derechos.

Imágenes 4 y 5, muestran la fase de maduración en ovocitos izquierdos y derechos

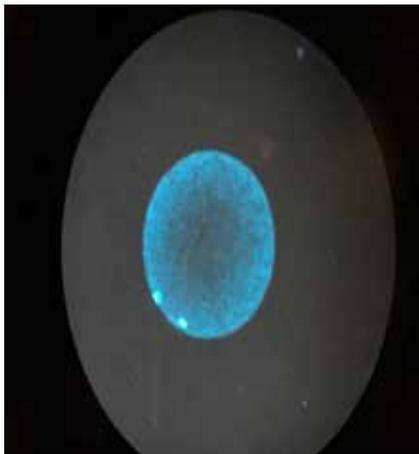


Imagen 4. Ovocito de ovario izquierdo en Metafase II (20X).



Imagen 5. Ovocito de ovario derecho en Metafase II (20X).

En el presente estudio hubo presencia de folículos tanto en ovarios que tenían presente un cuerpo lúteo, como en aquellos en los cuales no presentaban un cuerpo lúteo, siendo muy similar la actividad ovárica en cuanto al desarrollo de los folículos sin mostrar una dependencia del tamaño del ovario, observando folículos de diferente diámetro en un mismo ovario, en ausencia o presencia de cuerpo lúteo. Los resultados obtenidos difieren con lo reportado por Karamishabankareh *et al.* (2015), quienes obtuvieron un 60.9% de presencia de cuerpo lúteo a los 60 días postparto en el ovario derecho y 39.1% en el izquierdo. Asimismo mencionan que el porcentaje de división y el porcentaje de blastocistos es mayor en los ovocitos obtenidos de ovario derecho que del izquierdo, posiblemente debido a que hay más actividad del ovario derecho en la ovulación, lo que se refleja con una organización en el potencial de desarrollo de los ovocitos *in vitro* (Karamishabankareh *et al.*, 2015).

La aplicación de esta biotecnología requiere de ovocitos maduros y cigotos de buena calidad. Un punto crítico del cultivo para la maduración *in vitro* es la selección de los ovocitos, los cuales pueden ser inmaduros y generalmente recuperados de ovarios obtenidos de animales en matadero inmediatamente después de su muerte, los cuales resultan en una mezcla de ovocitos en diferentes fases de desarrollo. En términos de eficiencia, el tamaño de los folículos es difícil de controlar, aunque se tiene conocimiento de que el tamaño del folículo puede influir en el desarrollo de los ovocitos (Labrecque *et al.*, 2016). La competencia de desarrollo de los ovocitos es adquirida progresivamente durante el desarrollo folicular, pero se encuentra asociado al tamaño del folículo y a las diferencias de factores en el citoplasma como el RNAm, esto puede explicar la diferencia en el desarrollo en los ovocitos obtenidos de folículos grandes (Nemcova *et al.*, 2016). Después de la aspiración de los folículos, los ovocitos son seleccionados usando el siguiente criterio: su morfología, incluyendo el número de capas de células del cúmulo y la evaluación de la granulación del citoplasma, aunque esta evaluación morfológica es subjetiva (Gil *et al.*, 2010), de tal forma que la técnica no está totalmente estandarizada.

El tamaño del folículo es importante en la maduración *in vitro*, fertilización *in vitro* y desarrollo embrionario *in vitro*, en este sentido, se han observado diferencias importantes en el nivel de RNAm entre ovocitos pequeños y grandes, teniendo una mejor modulación en estos últimos para funciones cruciales de su desarrollo (Labrecque *et al.*, 2016). Se ha observado que la expresión de genes en folículos mayores o igual a 8 mm de diámetro pueden tener un marcado potencial en la competencia de los ovocitos en las rutinas de fertilización *in vitro*, junto con la adquisición de la competencia de las células cúmulo en la maduración, ovulación y fertilización de los ovocitos (Melo *et al.*, 2017). También los genes de las células cúmulo que acompañan a los ovocitos participan en la

calidad y respuesta en el cultivo durante la producción de embriones *in vitro*; las interacciones entre las células germinales y somáticas modulan la morfología de la cromatina y su función para que el ovocito adquiera la capacidad para su desarrollo (Dieci *et al.*, 2016). Se tiene conocimiento de que la metilación del ADN está asociado a la adquisición de la competencia del desarrollo en ovocitos de folículos iguales o mayores a 6 mm (Mattern *et al.*, 2017). Es importante saber que si los ovocitos son obtenidos de ovarios con presencia de cuerpo lúteo, éstos tienen mayor desarrollo en los que provienen de folículos grandes de 10 a 20 mm, que en medianos de 6 a 9 mm y pequeños de 3 a 6 mm, demostrando que el desarrollo de los ovocitos *in vitro* depende del tamaño de los folículos y no de la presencia del cuerpo lúteo (Shabankareh *et al.*, 2015), no obstante, la maduración *in vitro*, en el presente trabajo, fue alta en los folículos puncionados de 3 a 6 mm. *In vivo*, el tamaño del folículo es importante ya que se ha relacionado con la elevación de estradiol y presencia de estro (Perry *et al.*, 2014), siendo mayor el porcentaje de gestación en vacas altas productoras con un tamaño de folículo ovulatorio determinado con ultrasonido de 14.1 a 19.0 mm, comparado con folículos de 10 a 14 mm (Mokhtari *et al.*, 2016).

CONCLUSIÓN

El procedimiento de medición del diámetro folicular mediante regla métrica y ultrasonografía presentó diferencias significativas en ovarios de bovino obtenidos en matadero y, al mismo tiempo, permitió confirmar que el diámetro de los folículos es similar en ambos ovarios, izquierdos y derechos, entre los dos métodos de medición, pero en cuanto a la maduración *in vitro*, de los ovocitos provenientes de los ovarios izquierdos y derechos no son significativas, se confirma que es factible la obtención de ovocitos de buena calidad para su maduración *in vitro* por ambos métodos y ambos ovarios, izquierdos y derechos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Rastro Temamatla A.C. del Estado de México por proporcionar los ovarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Beg, A. y O. Ginther, 2006, "Follicle selection in cattle and horses: role of intrafollicular factors", en *Reproduction*, 132: 365-377.
- Casas, E. *et al.*, 2010, "Differential effects of herbicides atrazine and fenoxaprop-ethyl, and insecticides diazinon and malathion, on viability and maturation of porcine oocytes *in vitro*", en *Toxicology in Vitro*, 24: 224-230.
- Civale, J. *et al.*, 2013, "Calibration of ultrasound backscatter temperature imaging for high-intensity focused ultrasound treatment planning", en *Ultrasound Med Biol*, 39(9): 1596-1612.
- Dieci, C. *et al.*, 2016, "Differences in cumulus cell gene expression indicate the benefit of a pre-maturation step to improve in-vitro bovine embryo production", en *Mol Hum Reprod.*, 22(12): 882-897.
- Do, H. *et al.*, 2018, "Comparison of pregnancy in cattle when non-vitrified and vitrified in vitro-derived embryos are transferred into recipients", en *Theriogenology*, 120: 105-110.
- Evans, C. *et al.*, 2012, "Effects of maternal environment during gestation on ovarian folliculogenesis and consequences for fertility in bovine offspring", en *Reprod Dom Anim*, 47 Suppl, 4: 31-37.
- Ferreira, M. *et al.*, 2013, "Effect of different doses of equine chorionic gonadotropin on follicular and luteal dynamics and P/IA of high-producing Holstein cows", en *Animal Reproduction Science*, 140: 26-33.
- Gil, A. *et al.*, 2010, "Advances in Swine in vitro embryo production technologies", en *Reprod Dom Anim, Suppl*, 2: 40-48.
- Hiaro, Y. *et al.*, 2014, "In vitro Growth and maturation of vitrified-warmed bovine oocytes collected from early antral follicles", en *Reprod Dev*, 60(1): 68-72.
- Iwata, J. *et al.*, 2006, "Comparison between the characteristics of follicular fluid and the developmental competence of bovine oocytes", en *Animal Reproduction Science*, 91: 215-223.
- Jorssen, P. *et al.*, 2015, "Morphologic characterization of isolated bovine early preantral follicles during short-term individual in vitro culture", en *Theriogenology*, 84(2):301-311.
- Karamishabankareh, H. *et al.*, 2015, "In vivo and in vitro study of the function of the left and right bovine ovaries", en *Theriogenology*, 84(5): 724-731.
- Kuehl, O., 2001, *Diseño de Experimentos. Principios estadísticos para el diseño y análisis de Investigaciones*, Thomson Learning, México.

- Labrecque, R. *et al.*, 2016, "Transcriptome analysis of bovine oocytes from distinct follicle sizes: Insights from correlation network analysis", en *Mol Reprod Dev*, 83(6): 558-569.
- Landry, A. *et al.*, 2016, "Effect of cow age on the in vitro developmental competence of oocytes obtained after FSH stimulation and coating treatments", en *Theriogenology*, 86(5): 1240-1246.
- Lopes, S. *et al.*, 2018, "Supplementation of bovine follicular fluid during in vitro maturation increases oocyte cumulus expansion, blastocyst developmental kinetics, and blastocyst cell number", en *Theriogenology*, 126: 222-229.
- Mattern, F. *et al.*, 2017, "Gene-specific profiling of DNA methylation and mRNA expression in bovine oocytes derived from follicles of different size categories", en *Reprod fertil Dev*, 29(10): 2040-2051.
- Melo, O. *et al.*, 2017, "Identificación of molecular markers for oocyte competence in bovine cumulus cells", en *Anim Genet*, 48(1): 19-29.
- Mokhtari, A. *et al.*, 2016, "Factors affecting the size of ovulatory follicle and conception rate in high-yielding dairy cows", en *Theriogenology* 85(4): 747-753.
- Nagai, K. *et al.*, 2015, "Fertilizability of oocytes derived from Holstein cows having different antral follicle counts in ovaries", en *Anim Reprod Sci*, 163: 172-178.
- Nemcova, L. *et al.*, 2016, "Detection of genes associated with developmental competence of bovine oocytes", en *Anim Reprod Sci*, 166: 58-71.
- Perry, A. *et al.*, 2014, "Relationship of follicle size and concentrations of estradiol among cows exhibiting or not exhibiting estrus during a fixed-time AI protocol", en *Domest Anim Endocrinol*, 48: 16-20.
- Pfeifer, F. *et al.*, 2013, "Ultrasound biomicroscopy: a non-invasive approach for in vivo evaluation of oocytes and small antral follicles in mammals", en *Reprod Fertil Dev*, 26(1): 48-54.
- Picton, M. *et al.*, 2003, "Growth and maturation of oocytes in vitro", en *Reprod Suppl*, 61: 445-462.
- Scully, S. *et al.*, 2014, "Characterization of follicle and development in beef heifers using high resolution three-dimensional ultrasonography", en *Theriogenology*, 81: 407-418.
- Shabankareh, K. *et al.*, 2015, "In vitro developmental competence of bovine oocytes: Effect of corpus luteum and follicle size", en *Iran J Reprod Med*, 13(10): 615-622.
- Silva-Santos, *et al.*, 2014, "Antral follicle populations and embryo production –in vitro and in vivo- of *Bos indicus-taurus* donors from weaning to yearling ages", en *Reprod Domest Anim*, 49(2): 228-232.

- Wang, W. y K. Niwa, 1995, "Synergetic effects of epidermal growth factor and gonadotropins on the cytoplasmic maturation of pig oocytes in a serum-free medium", en *Zygote*, 3: 345-350.
- Wani, A, 2002, "In vitro maturation and in vitro fertilization of sheep oocytes, Review", en *Small Ruminant Research*, 44: 89-95.

Aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de México y sus efectos en el Valle del Mezquital

María Guadalupe Ramos Espinosa,^{1*} Fernando de León González¹
y Martín López Hernández²

Resumen. *La siguiente es una revisión bibliográfica de investigaciones realizadas sobre las aguas residuales que riegan el Valle del Mezquital. Esta revisión abarca los últimos 25 años y se refiere a un sistema de extracción de aguas residuales que fue planeado de esta forma desde hace más de un siglo, lo cual ha traído ventajas y desventajas para la zona citada y los Distritos de Riego 03 y 100. Está basada en orden decreciente en artículos científicos, libros, tesis, fichas técnicas y páginas consultadas. Se cubren aspectos reportados sobre la composición fisicoquímica y contaminantes de aguas residuales, sus efectos en el suelo, sedimento y en algunos cultivos de la zona, así como de las condiciones de calidad del agua de los acuíferos y, en menor grado, se tocan algunas cuestiones de salud acorde a lo reportado para la zona, ya que, en algunos casos, estas aguas son utilizadas como fuentes de agua potable en la zona receptora, con la expectativa de volver a exportarla a la CDMX con la misma finalidad. En todos los subtemas se intenta abarcar datos microbiológicos, fisicoquímicos, contaminantes tóxicos (metales pesados y metaloides), sustancias emergentes (productos farmacéuticos y disruptores endócrinos), así como compuestos volátiles y semivolátiles (productos de limpieza, cuidado personal e hidrocarburos policíclicos aromáticos). En esta revisión dominan, en orden decreciente, los trabajos reportados sobre agua, suelo, cultivos, aspectos ambientales y sociales. De alguna manera, se discute la interacción socioeconómica y ambiental entre la Zona Metropolitana del Valle de México, el Valle del Mezquital y los Distritos de Riego relacionados con la zona de estudio.*

Palabras clave: *Contaminantes, Suelo, Sedimento, Cultivos.*

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

* mgramos@correo.xoc.uam.mx.

Abstract. *The following is a bibliographic review of research conducted on wastewater that irrigates the Mezquital Valley area, this review covers the last 25 years and refers to wastewater extraction system that was planned for more than a century, which has brought advantages and disadvantages to the area and the Irrigation Districts 03 and 100. It is based on decreasing order in scientific articles, books, theses, technical data sheets and websites consulted. Reported aspects of the physicochemical composition and pollutants of wastewater, its effects on soil, sediment and some crops in the area, as well as the water quality conditions of the aquifers are covered and to a lesser extent some questions of health according to what has been reported for the area, since, in some cases, these waters are used as sources of drinking water in the receiving area, with the expectation of exporting it again to the CDMX for the same purpose. In all the sub-themes, microbiological, physicochemical, toxic (heavy metals and metalloids), emerging substances (pharmaceuticals and endocrine disruptors), as well as volatile and semi-volatile compounds (cleaning products, personal care) and polycyclic aromatic hydrocarbons are covered.. In this review, the reported works on water, soil, crops, environmental and social aspects dominate in decreasing order. Somehow, the socioeconomic and environmental interaction between the metropolitan area of the Valley of Mexico, the Mezquital Valley and the Irrigation Districts related to the study area is discussed.*

Keywords: *Contaminants, Soil, Sediment, Crops.*

Datos generales de las zonas emisora y receptora

Del total de aguas residuales que se generan en la CDMX, sólo 10% es tratada y toda se exporta hacia el Valle del Mezquital, generando un volumen de 52 m³/s, que corresponde anualmente a 1.6 millones de m³/s (Burns, 2009). Esta exportación actualmente se hace a través de tres salidas artificiales denominadas: Gran Canal del Desagüe (Túneles de Tequisquiac), que descarga en el río Salado, el Emisor Poniente (Tajo de Nochistongo), que hace conexión con el río el Salto, mismo que a todo lo largo de su trayecto recibe aguas negras municipales y desechos urbanos e industriales (Soto, 2003; Badillo, 2008), y el Emisor Central, que desde 1975 descarga en la presa Endho (Figura 1); estos tres sistemas fueron construidos en diferentes épocas (Aguilar *et al.*, 2007), tienen una longitud y capacidad de 53 km y 110 m³/s, 16.2 km y 25 m³/s y 50 km y 220 m³/s, respectivamente (slideplayer.es); todos drenan las aguas de desecho mezcladas con agua de lluvia hacia el Valle del Mezquital para evitar inundaciones en la cuenca cerrada donde se ubica la CDMX.

Figura 1. Salidas del agua residual de la CDMX



Adaptado de Espino, 2012.

Debido al crecimiento de la gran metrópoli y a los hundimientos diferenciales provocados por la explotación de los mantos acuíferos, los tres sistemas han perdido su capacidad de desalojo y tienen que ser auxiliados por diferentes sistemas de bombeo o manejo de compuertas, así como aplicación de diferentes estrategias durante la época de lluvia o estiaje (Aguilar *et al.*, 2007), de ahí la diferencia entre su capacidad y lo que realmente se exporta. Desde 2008, se está construyendo el Túnel Emisor Oriente (TEO), con 63 km de longitud, y se proyecta auxilie en las descargas de aguas residuales hasta la planta de tratamiento en Atotonilco de Tula, Hidalgo; en 2013, se inauguraron los primeros 10.2 km (www.excelsior.com).

El Valle del Mezquital se clasifica como la mayor zona regada por aguas residuales del mundo (Fonseca-Salazar *et al.*, 2016), se estima comprende 90 000 has agrícolas (Jiménez y Chávez, 2004) y abarca los Distritos de riego DR03 (Tula) y DR100 (Alfajayucan). El clima en la zona es templado subárido con temperatura media anual de 17°C, una precipitación de 550 mm y una evapotranspiración de 1 750 mm. Los valles están dedicados a la agricultura, donde el maíz y la alfalfa representan de 60 a 80% de la producción, dependiendo del ciclo agrícola; en menor proporción se cultiva avena, cebada, frijol, trigo, girasol y hortalizas (chile, calabacita, jitomate y betabel, entre otros).

Para facilitar el manejo del agua, a lo largo del río Tula se construyeron diferentes presas para su almacenamiento: Endho, en el municipio de Tula; Rojo Gómez y El Yathé en el Valle del Mezquital y Vicente Aguirre, en Alfajayucan. Al mismo tiempo que la Endho trasvasa líquido hacia todas ellas, lo distribuye también hacia los canales, embalses y sistemas de riego para los cultivos en el Valle del Mezquital.

Composición de las aguas residuales que llegan a las tierras irrigadas

Si bien es cierto que el riego con aguas residuales abre mayores extensiones de tierras agrícolas y aporta nutrientes orgánicos, también representa riesgos sanitarios por las altas concentraciones de organismos patógenos. Fonseca-Salazar *et al.*, (2016) muestrearon agua subterránea, agua residual, suministros de agua potable, canales de irrigación y agua de manantiales, considerando tanto la CDMX como el Valle del Mezquital; en todos los sitios y los tipos de agua estudiado se identificaron bacterias fecales, enterococos fecales, *Pseudomonas aeruginosa*, ooquistes de *Cryptosporidium parvum* y quistes de *Giardia lamblia*, independientemente de la época seca o lluviosa y rebasaron el límite permisible; los mismos autores señalan que el estándar mexicano para aguas residuales tratadas, para ser reutilizadas, sólo considera la presencia de coliformes fecales y huevos de hel-

mintos como contaminantes microbiológicos. También se reporta elevada cantidad de coliformes fecales a partir de la descarga del Emisor Central hasta la presa Endho que corresponde a su sitio de descarga (Montelongo *et al.*, 2008); para el agua infiltrada en los acuíferos del Valle del Mezquital y distritos de riego, también se reporta la presencia, en orden decreciente, de coliformes fecales, bacteriófagos somáticos, diferentes especies de *Giardia* y huevos de helmintos que representan riesgos para la salud (Chávez *et al.*, 2011), por lo que recomiendan el tratamiento previo de las aguas residuales antes de ser enviada a dichas zonas, ya que la mitad del agua que reciben se infiltra a los acuíferos, de los cuales se extrae agua para el consumo. También en los lodos producidos en el tratamiento de las aguas residuales tienden a concentrarse microorganismos potencialmente dañinos para la salud humana (Hernández-Martínez *et al.*, 2018).

Entre los aspectos abióticos reportados para las tres vías receptoras del agua residual, el río El Salto registra concentraciones máximas de DBO > 180 mg/l, DQO > 531 mg/l y 292 mg/l de SST; El Emisor Central DBO > 183 mg/l, DQO > 941 mg/l y SST de hasta 1800 mg/l; el río Salado registra las condiciones menos drásticas de los tres sistemas con un valor máximo de DBO 30 mg/l, DQO > 50 mg/l y SST entre 8 y 13 mg/l (Rojas, 2015), esto último puede deberse a su pérdida volumétrica por azolve (Aguilar *et al.*, 2007); los niveles máximos permisibles son 120 mg/l para DBO, 200 mg/l para DQO y <400 mg/l para SST (Conagua, 2007; NOM-001-Semarnat-1996); para el Emisor Central y zona conurbada se reporta la mayor cantidad de MO, variación de DBO 1.16 a 486.81 mg/l, OD, entre 1.52 y 5.82 mg/l, N-NH₃ entre 0.09 y 64 mg/l, implicando estos dos últimos afectación para la vida acuática, nitratos (6.24 mg/l) y nitritos (1.304 mg/l), de manera que con excepción del pH, las aguas residuales no cumplen con las normas mexicanas vigentes (Montelongo *et al.*, 2008; Ontiveros-Capurata *et al.*, 2013).

Gran parte de la composición de las aguas de desecho es materia orgánica, tanto particulada (MOP) como disuelta (MOD); puede tratarse de material orgánico alóctono acarreado por corrientes o escorrentías, así como de material autóctono, principalmente vegetal, acumulado en la cuenca del río y las microcuencas de los ríos tributarios; ambos tipos de materia orgánica también proceden de descargas urbanas, actividades ganaderas, agrícolas o industriales. Lo anterior representa para el suelo agrícola, una reposición de humus (Lucho-Constantino *et al.*, 2004).

En el agua también se reportan altas cargas de nitrógeno (N) y fósforo (F) (López-Hernández *et al.*, 2007a, 2007b, 2015), mismas que tienen directamente un efecto en plantas. Hernández-Martínez *et al.* (2018) reportan que las aguas residuales no tratadas suministran a los cultivos dosis de nitrógeno de dos a diez veces más altas que las recomendaciones comunes de fertilizantes, de hecho existe la percepción, por parte

de los productores, de que son beneficiados con el uso de las aguas residuales. Esta percepción está relacionada con los aportes de nutrientes asimilables por las plantas (N, P, principalmente), y que se reflejan en cosechas de mayor biomasa, las cuales son comercializadas en la Ciudad de México, Pachuca y otros mercados. Conforme a la aireación del agua residual por el efecto de corriente y al pH alcalino que la caracteriza, se infiere pequeñas pérdidas gaseosas de amoníaco, lo cual conduce a la nitrificación de 72 a 92% del agua irrigada que se infiltra en el suelo (Hernández-Martínez *et al.*, 2018); la dinámica que ellos proponen para este sistema, es que parte del N orgánico se adsorbe a las partículas del suelo y otro se mineraliza a NH_4^+N que se podría fijar a los coloides del suelo o ser oxidado a NO_3^-N , mientras el oxígeno siga estando presente, además señalan que en tanto el suelo permanece saturado de agua, parte del nitrato aparentemente es denitrificado y se pierde en la atmósfera. Veinticuatro horas después de la irrigación, los macroporos han drenado y el oxígeno se difunde nuevamente dentro del suelo, promoviendo otra vez la nitrificación.

La irrigación a largo plazo aumenta la fracción de carbono mineralizable (CM) y las concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD). En la columna de lixiviados, las concentraciones de Cu también se correlacionan con el COD, en tanto que las concentraciones de Cd se correlacionan con la suma de cationes, cloruros y concentraciones de COD, y señalan que los metales pesados acumulados están predominantemente ligados a la fracción orgánica del suelo (Herre *et al.*, 2004).

Se evaluaron concentraciones de Cd, Pb, Fe, Mn y Zn, desde el Emisor Central hasta su confluencia con la presa Endho, y todas ellas estuvieron por encima de lo permisible, y sólo en algunos tramos se reportó presencia de mercurio (Montelongo *et al.*, 2008).

Flores-Magdaleno *et al.* (2011) reportan la presencia de As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn en agua residual; Guédron *et al.* (2014) señalan que particularmente Pb y Cr disminuyen cuando el agua residual se mezcla con corrientes intermitentes, pero el Hg permanece en concentraciones elevadas.

Los metales pesados contenidos en el agua a la larga acarrearán efectos negativos, ya que, al ser accesibles al fitoplancton, plantas acuáticas y terrestres, pasan directamente a la cadena trófica y por tanto a los seres vivos del sistema y a los consumidores por dos vías, consumiendo organismos acuáticos y/o terrestres, que incluiría carne y vegetales.

En las aguas residuales que llegan al Valle del Mezquital también se detectan altas concentraciones de detergentes, grasas y aceites que inciden sobre los suelos, sin embargo, generalmente cumplen con los límites permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (CNA & BGS, 1995, en Prieto-García *et al.*, 2007). El efecto que

tiene el agua superficial en el suelo se refleja en el proceso de mineralización, atribuido principalmente a sustancias surfactantes que vienen en el agua (Friedel *et al.*, 2000).

También se reportan vertidos industriales y sustancias emergentes derivadas de la industria farmacéutica y hospitalaria, asociándose por tanto con el transporte de sustancias tóxicas (Ravichandran, 2004) y a la producción de subproductos nocivos (Kitis *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2007; Chow *et al.*, 2011; Jiménez-Cisneros, 2016). Al mismo tiempo, la liberación de productos farmacéuticos, los de cuidado personal y otros contaminantes orgánicos emergentes, han acaparado la atención por sus efectos adversos en la salud pública y la biota. Lesser *et al.* (2018) destacan la presencia de compuestos activos farmacéuticos (CAF) y disruptores endócrinos (DE) por su actividad biológica y las implicaciones de riesgo en la salud humana. Por otro lado, también se señala la presencia de 5 compuestos orgánicos volátiles (COV) y 9 compuestos orgánicos semivolátiles (COSV), los que incluyen ftalatos y fenoles presentes en los plásticos, agentes de limpieza y productos de cuidado personal, dos de ellos fueron detectados en todos los canales de riego (bis-2-etilhexil ftalato y dibutil ftalato) (Lesser *et al.* 2018). Desde la salida de las aguas residuales de la CDMX se detectan dimetilftalato en el río El Salto, dietilftalato en el río el Salto y el Gran Canal del Desagüe (bis-2-etilhexil), ftalato en las dos salidas anteriormente mencionadas además del río Salado y di-octilftalato, solamente detectado en el Gran Canal del Desagüe (Rojas, 2015). Entre los COSV también se incluyen hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA), grupo de compuestos carcinogénicos derivados de la combustión incompleta de la gasolina, aceite y otros combustibles. En los COV y COSV también quedan incluidas las esencias, desodorantes, recubrimientos, pinturas y solventes orgánicos (Lesser *et al.*, 2018). Chávez *et al.*, (2011) reportan microcontaminantes orgánicos presentes en altas concentraciones en el agua de riego, pero ausentes cuando éstas se filtran a los acuíferos, excepto la carbamazepina encontrada en 55% de muestras en concentraciones mayores de 193 mg/l y correlacionada con la presencia de boro.

Algunos datos reportados en suelo y sedimento

En el Valle del Mezquital está bien documentado el efecto negativo que ha tenido el uso permanente de aguas de baja calidad, mismas que han contribuido en principio al incremento de salinidad y sodicidad de los suelos, provocando cambios drásticos en el uso de ellos, dando paso al abandono de tierras agrícolas convertidas en pastizales de baja calidad, pobladas con especies tolerantes a la salinidad.

Hernández-Martínez *et al.* (2018) reportan que suelos arcillosos y alcalinos regados una sola vez con agua residual en un intervalo de 3 horas retuvieron entre 49 y 79% del N del agua en el suelo, y entre 7 y 10% del N añadido en cada riego lixivia filtrándose rápidamente a través de los macroporos más allá de la zona radicular del cultivo en forma de nitrato, además de que infieren que hay volatilización del amoníaco y desnitrificación; las concentraciones de nitratos alcanzaron valores de hasta 60 mg L⁻¹, durante ese período el suelo presentó condiciones anóxicas, las concentraciones de nitrato fueron disminuyendo y el pH aumentó atribuyéndolo a la desnitrificación; también registraron una capacidad de adsorción de amonio entre 43 y 53%, por lo que recomiendan disminución de tiempo de riego.

En un estudio llevado a cabo en Tlahuelilpan, Hidalgo, se determinó que en un período de 25 años (1984-2009), la textura del suelo se había modificado, existiendo una tendencia a la acidificación y a la pérdida de bases intercambiables, especialmente Ca, atribuyéndolo al incremento de la MO. Entre los cambios positivos que se aprecian al final de ese lapso de 25 años, destacan el pH que ha tendido a la neutralidad (8.2 a 7.19), lo cual en general es benéfico, también se reporta reducción de la conductividad eléctrica (0.35 a 0.24 dSm⁻¹) y un aumento del porcentaje de MO (3.45 a 4.89), representando casi 1.5%. El aspecto negativo en ese período respecto al suelo, es el Potencial Reductor que pasa de no reductor a reductor -459 mV, indicando condiciones de hipoxia o anaerobiosis en el suelo (Cornejo *et al.*, 2012).

El análisis de metales pesados en sedimentos y suelos ha sido importante para la investigación de la toxicidad en el medio ambiente en virtud de que éstos presentan mayor capacidad de almacenamiento que las fases adyacentes de aire y agua (Prieto *et al.*, 2006). En Tlahuelilpan, Hidalgo, se reportan concentraciones de varios metales pesados en suelo, pero llama la atención el comportamiento del Cd que mostró los siguientes patrones: los valores fueron similares en el estrato de 0-10 cm que en el de 10-50 cm, indicando transporte vertical del metal tóxico en el suelo arable, lo cual representa un mayor riesgo ambiental; para ambas profundidades del suelo, los valores de Cd intercambiable bajaron drásticamente respecto a los contenidos totales, algunos autores señalan que con el incremento de MO se potencia la disponibilidad de metales pesados para ser absorbidos por las plantas (Hernández-Martínez *et al.*, 2018), por su parte Lara-Viveros *et al.* (2014) reportan que donde crece alfalfa, los valores de Cd en el suelo bajan, y señalan que posiblemente este comportamiento se deba a que la alfalfa posee una gran capacidad para acumular algunos metales pesados. Friedel *et al.* (2000) señalan que el efecto que tiene el agua superficial en el suelo se refleja en el proceso de mineralización,

mismo que es atribuido principalmente a sustancias surfactantes que vienen en el agua de desecho.

Solís (2014) señala la disponibilidad de Pb, Cd y Ni para esta zona, la acumulación de metales pesados en sólidos y sedimentos puede acarrear, a la larga, aspectos negativos para el entorno ecológico, ya que se facilita la lixiviación de cantidades significativamente elevadas de estos elementos tóxicos que, posteriormente, se hacen accesibles a los sistemas acuáticos y seres vivos (Prieto-García *et al.*, 2005).

Un área importante de la zona estudiada corresponde al Distrito de Riego 03 (DR03) que abarca una extensión aproximada de 47 867 ha y que han recibido aguas residuales desde 1912 (Herre *et al.*, 2004); actualmente cuenta con zonas que han estado sujetas a irrigación con aguas residuales entre 24 y 69 años, en la región de Actopan-Ixmiquilpan, por ejemplo, hay pocos problemas de salinidad, el intervalo de pH va de 8.10 a 9.09 y lo clasifican como moderadamente alcalino con alta CIC, por lo que la posibilidad de un proceso de adsorción-desorción de cationes es elevada, esto hace suponer que aun concentraciones relativamente bajas de metales trazas, provenientes de las aguas residuales empleadas en el riego, puedan llegar a depositarse en los suelos, acumularse y simultáneamente lixiviarse con gran facilidad, lo cual puede acarrear contaminación en las capas arables y pasar a la cadena alimentaria a través de los cultivos de la región (Prieto-García *et al.*, 2007). También deben considerarse las diferencias existentes en la capacidad filtro-amortiguadora de los tipos de suelo de esta zona, ya que ésta se agotará con mayor rapidez en suelos de textura gruesa y ligeramente ácidos, que en los limosos y de reacción neutra a alcalina (Siebe, 1994). En un análisis comparativo de dos muestreos con una diferencia de 25 años para esta zona, la textura del suelo se modificó y existió una tendencia a la acidificación y a la pérdida de bases intercambiables por el incremento de la MO (Cornejo *et al.*, 2012); también se reporta una correlación directa entre el contenido de MO presente en los suelos y los años de riego, lo cual posibilita que los metales lixivien en medios de pH moderadamente alcalinos (Prieto-García *et al.*, 2007). Se encontró que los metales introducidos a través del riego tienden a acumularse en la capa arable de los suelos, registrándose concentraciones 3 a 6 veces mayores en suelos regados con aguas residuales después de 80 años, que en sitios con cultivo de temporal, aunque sin llegar aún a niveles críticos; la disponibilidad de Cd, Pb y Zn es moderada, no obstante, tienden a incrementarse conforme aumentan los años de riego, siendo el Cd el más disponible. Otra tendencia observada fue que mientras el Mn, Cr, Pb, Co y Cd manifestaron tendencias al aumento, el Cu y el Zn lo hicieron a la disminución en tanto que el Fe y Ni exhibieron una aparente estabilidad (Siebe, 1994).

Para esta zona, se reportan presencia de Cd, Cr, Pb, Hg y B, todos ellos por debajo del límite permisible de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, excepto Hg (Lucho-Constantino *et al.*, 2004); además de los anteriores, Prieto-García *et al.* (2007) reportan As, correlacionando la presencia de todos ellos con los tiempos de irrigación, encontrando una correlación directa entre los contenidos de materia orgánica y una acumulación apreciable de Pb y Cr, estos autores señalan que la MO, aunada al pH moderadamente alcalino registrado en la región, posibilita que los metales lixiviables formen complejos solubles y puedan contaminar a más largo plazo a los cultivos de la región estudiada, de igual manera, lixivian concentraciones considerables de B, que puede ser fitotóxico para cultivos (Prieto-García *et al.*, 2007). Para el caso de Mixquiahuala, Hidalgo, se han reportado en orden decreciente Pb, Ni, Cd, As, Cr y Hg (Flores-Magdaleno *et al.*, 2011).

Otra fuente importante de contaminación son los depósitos de jales, particularmente los que se encuentran en el área de Zimapán, donde se reportan contenidos de As desde 2550 mg/kg hasta 21,400 mg/kg, y en las fracciones soluble e intercambiable hasta 1560 mg/kg, mismo que puede movilizarse y contaminar el ambiente (Méndez y Armienta, 2003). Estos mismos autores señalan que los jales más nuevos son una fuente importante de contaminación, recomendando mezclarlos con óxido de calcio o calcita para incrementar el pH y prevenir la disolución de este metal pesado.

Los sedimentos del distribuidor general de agua potable de Zimapán tuvieron altos contenidos de SiO₂, Fe, Al, As, Ca y Mn, es especialmente grave para el caso de As en agua, ya que lixivian fácilmente, en tanto que Al y Fe lixivian sólo en pequeñas cantidades (Prieto *et al.*, 2006).

El agua residual contiene, entre los contaminantes, diferentes productos farmacéuticos y de uso personal, su persistencia y potencial de lixiviación fue probado en laboratorio sobre columnas de suelos del Valle del Tula, inyectando aguas residuales fortificadas equivalente a un ciclo de cultivo y luego fueron recuperados; la carbamazepina fue la más persistente en el horizonte A, presentándose en algunos casos en horizontes más profundos, moviéndose más fácilmente en perfiles con baja MO y contenido de arcilla, y lo perfilan para ser contaminante de las aguas subterráneas. Le siguen el ibuprofeno, naproxen, diclofenaco, 4-nonilfenol, triclosán y bisfenol (Gibson *et al.*, 2010).

Efectos de nutrimentos, metales pesados y otros compuestos en cultivos

Mondragón (2015) reporta que cuando se prueba en laboratorio el efecto del agua filtrada de las presas Endho, Rojo Gómez y Vicente Aguirre, sobre elongación de raíces de maíz y alfalfa, las dos primeras causan inhibición de la misma, en tanto que las raíces de ambos cultivos tienen buena elongación cuando son regadas con agua de la presa Vicente Aguirre; en los tres cuerpos de agua se registran suficiente N para el crecimiento radicular, lo que hace suponer que existen diluidas, en el agua de las dos primeras presas, sustancias que tienen este efecto inhibitorio en el crecimiento inicial de raíces de ambos cultivos. En este punto, hay que considerar que a la presa Endho llega directamente el agua residual del Emisor Central y desfoga el agua a la Rojo Gómez cuando llega a su máxima capacidad.

La importancia de la presencia de metales pesados reportados para la zona radica principalmente en que, por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad pueden resultar peligrosos como agentes fitotóxicos, y por la capacidad de acumulación de algunas especies tener impacto negativo en la cadena trófica, ya sea plantas o animales; en este proceso están implicadas la absorción y la posterior acumulación y dependen de la movilidad de las especies (en el caso de los animales) o de los metales, desde la solución en el suelo a la raíz de la planta o hacia sus partes aéreas (Prieto *et al.*, 2009).

Los cultivos que más se siembran en el Valle del Mezquital son la alfalfa y el maíz forrajero, ambos son los principales forrajes consumidos por el hato ganadero; el maíz ha incrementado en 50% (Jiménez y Chávez, 2001), pero la contaminación de suelos por metales como Pb, Cd, Cr y Cu, así como B, han sido reportados por varios autores (Siebe, 1994; Siebe y Fischer, 1996; Herre *et al.*, 2004; Lucho-Constantino *et al.*, 2005), mismos que aportan datos de importancia para el ciclo biogeoquímico, considerando que los metales pesados encontrados particularmente en alfalfa pasan a ser consumidos por animales, que a su vez son fuente de consumo como leche o carne (Cornejo *et al.*, 2012; Lara-Viveros *et al.*, 2014). Pérez (2004) señala que la acumulación de metales pesados en tejidos vegetales puede llegar a producir daños genotóxicos en las células y de esta forma se incorporan al hombre a través de la cadena alimenticia. Prieto-García *et al.* (2005) analizaron el contenido de arsénico en muestras del agua de la zona de Zimapán, Hidalgo, y utilizaron plantas de haba (*Vicia faba* L.) en un bioensayo para evaluar el daño genotóxico a través de la prueba de inducción de micronúcleos en las células y lograron comprobar que el agua de la región presentaba altas concentraciones de arsénico y que los efectos genotóxicos provocados se manifiestan por el incremento de la inducción

de micronúcleos en las células meristemáticas de las raíces de haba, considerada una especie sensible, así mismo, observaron que el efecto citotóxico es capaz de enmascarar el efecto genotóxico. Estos mismos autores incluyeron en su estudio hortalizas, frutales, especias y plantas medicinales de la zona y encontraron que entre las hortalizas que más acumularon As está el chayote, chilacayote, chile y tomate verde; entre los frutales está la naranja, guayaba y aguacate; entre las especias, el epazote, el perejil y el orégano, y de las medicinales, el toronjil, observándose en general que en las hojas se acumula la mayor concentración de arsénico en todos los cultivos y, al mismo tiempo, en todos los casos se excede el nivel máximo permisible de 0.025 mg l^{-1} de la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSAI-2000). El agua y suelos del área de Zimapán, caracterizados por la presencia de As, también se refleja en el nivel alto de acumulación de éste en los tejidos vegetales (Prieto-García *et al.*, 2005).

Cornejo *et al.* (2012) reportan valores de varios metales pesados: As, Cr, Hg, Pb, Se, B, Ni, Cd y Fe tanto en suelo, como en la alfalfa, en esta última, el Ni y el Cd registraron 3.01 mg kg^{-1} y 0.9 mg kg^{-1} , respetivamente, sobrepasando el valor establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000; respecto a los contenidos en alfalfa, la mayor acumulación ocurrió en raíz, con valores casi dos veces mayor a los encontrados en suelo, lo cual indica la capacidad acumuladora de las raíces respecto al Cd. Las plantas no tienen un mecanismo de transporte específico para los metales no esenciales, por lo que utilizan sistemas de transporte de moléculas similares, como es el caso del Cd, que emplea canales de Ca, así el metal tóxico puede absorberse por la planta. Los tallos y hojas, órganos de la alfalfa que consume el ganado, mostraron valores altos de Cd, cercanos a los existentes en el suelo. De acuerdo con Cornejo *et al.* (2012), los valores de Cd en tejido vegetal están por arriba de los niveles tolerables por las plantas, lo cual representa un riesgo para la salud y al medio ambiente, pero Lara-Viveros *et al.* (2014) señalan que la alfalfa no solamente es capaz de crecer en presencia de altas concentraciones de Cd, sino de traslocar este metal a la parte aérea sin resultar afectada. El Cd es uno de los metales pesados más fácilmente absorbido por las plantas, se ha demostrado que inhibe la absorción de diversos elementos esenciales (Fe, Zn, K, Na, Cu, N y P) y la actividad de numerosas enzimas al unirse a grupos SH, al inducir cambios conformacionales y al sustituir iones metálicos como el Zn en las metaloproteínas (Naya, 2007 en Cornejo *et al.*, 2012).

El níquel mostró una mayor facilidad para transportarse en el perfil vertical del suelo respecto a los valores del plomo, y las concentraciones de Ni en la raíz de alfalfa tienden a ser proporcionalmente más pequeñas, presentándose en mayor cantidad en los tallos. Lo anterior sugiere una buena movilidad del metal hacia la parte aérea. El Fe

se encuentra en el rango promedio de requerimiento para animales de pastoreo (Cornejo *et al.*, 2012).

Lara-Viveros *et al.* (2014) determinaron la concentración de Cd y Pb en dos híbridos de maíz (Caimán y Ocelote), dos variedades de alfalfa (San Miguel criolla 1 y San Miguel criolla 2) y una variedad de girasol (Canola), en ese estudio los autores dividieron las plantas en tres tercios iguales y determinaron la concentración de ambos metales; en las variedades de maíz, los valores de Cd y Pb fueron estadísticamente iguales en los tres tercios, el valor fue menor a lo observado en suelo, los resultados sugieren que las plantas de maíz tienen una capacidad limitada para la absorción de Cd, sin embargo, en el caso del Pb después de que ingresa a la planta, éste se transporta a todos los órganos vegetales. En el caso de las dos variedades de alfalfa la concentración de Cd fue superior a la encontrada en suelo, lo anterior se puede relacionar con la capacidad de la planta para acumular este elemento y traslocarlo a la parte aérea sin sufrir daños fisiológicos. Este fenómeno podría ser el responsable de registrar valores más bajos de Cd en suelos, donde crece alfalfa en relación con suelos donde se desarrollan cultivos de maíz o girasol (Peralta-Videa *et al.*, 2002 en Lara-Viveros *et al.*, 2014). Por otra parte, la concentración de Pb fue similar en el suelo y en el primer tercio de la planta de una de las dos variedades de alfalfa, mientras que en plantas de girasol se encontraron los valores más bajos de ambos metales. En general, puede señalarse que los valores más bajos de Cd en suelo se registran donde creció alfalfa en relación con suelos donde crecieron plantas de maíz o girasol. Es posible que el comportamiento anterior se deba a que la alfalfa posee una gran capacidad para acumular algunos metales pesados (Lara-Viveros *et al.*, 2014).

En el DR03, los suelos son moderadamente alcalinos y con alta CIC, lo que posibilita un proceso de adsorción-desorción de cationes elevada; ahí se siembra en orden, decreciente, alfalfa, maíz, trigo, avena, frijol, tomate, jitomate, chile verde y betabel, aunque existe una restricción para los cultivos de lechuga, col, cilantro, rábano, zanahoria, espinacas y perejil, también se encontraban cultivados en la región de Actopan-Ixmiquilpan (Prieto-García *et al.*, 2007). En los suelos se reporta la presencia de Cd, Cr, Pb, B, As y Hg que estuvieron por debajo del límite permisible, excepto Hg en un suelo (Lucho-Constantino *et al.*, 2004), estos mismos autores recomiendan no sembrar otros cultivos susceptibles a acumular metales pesados como nopal, cebolla, ajo, papas y nabo (Prieto-García *et al.*, 2007). En el DR03, el Cd es el metal pesado más disponible y su absorción por los cultivos también aumenta; el Cu tiende a ser retomado por las plantas en menor cantidad, lo cual se atribuye a su inmovilización por la MO adicionada a los suelos por medio del agua residual (Siebe, 1994).

Un aspecto importante para la restauración ecológica lo representan las especies vegetales resistentes a los residuos mineros y que crecen de manera natural sobre los jales, lo cual significaría poder aprovechar parte de sus funciones ecológicas o minimizar los efectos adversos de la minería, ya que la peligrosidad de los jales aumenta por su potencial de lixiviación de metales o de elementos tóxicos solubles en agua. Para el caso de la microcuenca San Miguel, próxima a la Comunidad de San Francisco, Zimapán, se han encontrado concentraciones de plomo en agua 20 veces superiores a las máximas permitidas por la NOM-147SEMARNAT/SSA1-2004 (Vallejo-Miranda, 2015, en Elizondo *et al.*, 2016). Estos últimos autores reportan 76 especies agrupadas en 28 familias, donde las más abundantes fueron Asteraceae, Leguminosae y Solanaceae, la mayoría reportadas como especies euriplásticas por el alto rango de toxicidad que toleran, encontrando una mayor frecuencia de árboles (*Acacia farneciana*, *A. greggii*, *Juniperus flaccida*, *J. deppeana* y diferentes especies de *Quercus*); la particularidad de esta área es que previamente se arrojó sobre esa zona piedra caliza, lo que les hace suponer que eso ayudó a incrementar el pH del suelo, brindando las condiciones necesarias para el crecimiento de las especies que ahí se desarrollan, mismas que coinciden con la vegetación circundante que influye en la sucesión natural de plantas de esos sitios mineros abandonados (Elizondo *et al.*, 2016).

Como consecuencia de la extracción de petróleo, aparte de metales pesados, se obtienen aguas residuales con hidrocarburos; un tratamiento de 30 mg/L de diésel, causó la muerte de 55% de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*); la combinación de benceno, diésel y gasolina no tuvo efecto significativo en las variables morfológicas, sino que favoreció la acumulación de minerales en planta y modificó su distribución en los diferentes órganos, tampoco se observó cambio en el pH y potencial de óxido reducción en el fruto, mientras que el contenido de sólidos solubles totales disminuyó con la concentración de gasolina probada (Martel-Valles *et al.*, 2016).

Composición de las aguas subterráneas

Aunque los suelos están bien documentados respecto a metales pesados, se dispone de poca información sobre la distribución y especiación de metales y metaloides en la red de irrigación, agua superficial y agua subterránea. En 1998, se reportó infiltración de aguas negras en el Valle del Mezquital, misma que se vislumbraba como potencial para poder extraer el agua para uso doméstico (Marín *et al.*, 1998), también se reportó infiltración de aguas negras por daños a los canales de distribución del agua de riego, que, au-

nado al uso intenso en irrigación, habían ido recargando el acuífero (Jiménez y Chávez, 2004); también Chávez *et al.* (2011) reportan que la mitad del agua residual que recibe el Valle del Mezquital se infiltra a los acuíferos, de los cuales, para entonces, se extraía agua para el consumo humano.

En ellas, se reportan coliformes fecales, bacteriófagos somáticos, diferentes especies de *Giardia* y huevos de helmintos, y aunque la concentración es baja, siguen representando riesgos para la salud (Chávez *et al.*, 2011). Acorde con lo anterior, estos mismos autores recomiendan un proceso de nanofiltración para que el agua del acuífero pueda ser utilizada en el consumo humano.

A pesar de que las aguas residuales no tratadas suministran dosis altas de N en el suelo de cultivo, con concentraciones de hasta 50 mg, las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas sólo están ligeramente por encima de la norma para agua potable, esto puede ser debido a la capacidad de adsorción de amonio, o posibles pérdidas de N debido a la volatilización de amoniaco en la superficie del terreno, o pérdidas probables por desnitrificación, o procesos de lixiviación más allá de la zona radicular, ya que en esa zona el agua se infiltra a través de cualquier tipo de poro (Hernández-Martínez *et al.*, 2018); en general, estos autores también reportan que durante los meses de febrero y marzo, que corresponde a la época de sequía, las concentraciones de los elementos totales se incrementan, lo que podría repercutir en el agua de los acuíferos.

Entre los componentes del agua subterránea, Dows *et al.* (1999) reportaron 24 metales traza, 67 compuestos orgánicos, 23 pesticidas clorados y contaminantes microbiológicos, de tres fuentes para uso doméstico de la zona estudiada. En los pozos y distribuidores de agua potable de Zimapán se reportan aguas bicarbonatadas-cálcicas y bicarbonatadas-mixtas con bajos niveles de sulfatos, cloruros, sodio y potasio, mismas que presentaron concentraciones de As (+5), que es menos tóxico que As (+3), pero que estaban en concentraciones superando en más de 10 veces la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) para agua potable, que es de 0.025 mg L⁻¹ (Pérez *et al.*, 2003), registrándose una disminución de los valores durante el período de lluvias. En 2005, se realizaron monitoreos de dicho elemento y se llegó a la conclusión de cerrar algunos pozos asociados a rocas carbonatadas que abastecían de agua potable a Zimapán, ya que presentaban concentraciones de hasta 1.5 mg l⁻¹ (Prieto-García *et al.*, 2005).

También las concentraciones altas de As son atribuidas a la interacción de las rocas del acuífero con el agua subterránea, como consecuencia de la oxidación y disolución de los minerales con arsénico dentro de las matrices calcáreas; las concentraciones intermedias fueron atribuidas a la lixiviación de los jales y las más bajas a la percolación de los gases de altos hornos, con un cierto contenido de arsénico, que se depositaron en los años cuarenta,

indicando que la población que vive en zonas aledañas a Zimapán ha sido expuesta a elevadas concentraciones de As en el agua para consumo humano (Moreno *et al.*, 2012). Lo anterior ya había sido confirmado por un análisis del contenido de arsénico en pelo, realizado en 120 muestras de habitantes de Zimapán (Armienta *et al.*, 1997, en Moreno *et al.*, 2012), el cual reportó un contenido de As de 3.13 a 9.22 mg/kg, cuando los niveles normales de As en pelo están entre 0.3 a 1.75 mg/kg, además de que observaron problemas en la piel como hiperpigmentación, hipopigmentación e hiperqueratosis en habitantes de la región, también reportan que la bioaccesibilidad de As depende de su origen y baja solubilidad en los fluidos gastrointestinales, en cambio para el Pb se incrementa cuando hay carbonatos y se disminuye cuando hay sulfatos como minerales secundarios (Moreno *et al.*, 2012).

En los sedimentos del distribuidor general de agua potable de la ciudad de Zimapán, Hidalgo, Prieto-García *et al.* (2006) reportaron elevadas concentraciones de SiO₂, Fe, Al, As, Ca y Mn, e incrementaron sus concentraciones en las muestras de agua de los acuíferos, lo que verifica que hay procesos de lixiviación y que es especialmente grave para el caso del As, ya que llega a alcanzar niveles altos. En agua subterránea se evaluaron Hg, Cr y Pb, sólo Hg permaneció por debajo del límite permisible; Cr y Pb registraron concentraciones de dos a cinco veces por encima de umbrales para el agua potable, representando un riesgo potencial a la salud (Guédron *et al.*, 2014), además que la forma desnaturalizada de Hg es altamente neurotóxica y se puede bioacumular y biomagnificar en las redes alimenticias (Boudou, en Guédron *et al.*, 2014).

Entre los compuestos orgánicos semivolátiles (COSV) que incluyen ftalatos y fenoles presentes en los plásticos, agentes de limpieza y productos de cuidado personal, dos de ellos fueron detectados en fuentes de agua subterránea (bis-2-etilhexil ftalato y dibutil ftalato), de igual forma se registraron 23 compuestos farmacéuticos activos (CFA) presentes en frecuencias altas, como es el caso del sulfametoxazol, NN-dietil-meta-toluamida, carbamazepina y benzoylecgonina (metabolito primario de la cocaína) (Murillo-Torres *et al.*, 2012; Lesser *et al.*, 2018). Aunque el suelo actúa como un filtro absorbente y degradante de la mayoría de los contaminantes orgánicos contenidos en las aguas residuales, algunos de ellos se encuentran en el agua subterránea, cuya presencia, junto con los altos niveles de disruptores endócrinos bis-2-etilhexil ftalato, indican que el consumo de aguas subterráneas pueden ser un riesgo para la salud (Lesser *et al.*, 2018; Gibson *et al.*, 2010), también señalan que muchos microcontaminantes orgánicos estudiados tienen la posibilidad de interactuar con los componentes aromáticos del suelo, no así los disruptores endócrinos, que son generalmente menos polares que los productos farmacéuticos ácidos, también interviene su solubilidad en agua y que los valores de pH ambientalmente reportados en la zona son muy bajos, lo que sugiere un potencial de lixiviación limitado.

Mejoramiento del tratamiento de aguas residuales

Aunque muchos contaminantes pueden ser removidos por percolación, filtración y adsorción de componentes en las partículas del suelo, así como por degradación química de los mismos, la idea es reducir los contaminantes antes de infiltrar el agua al subsuelo, por tanto, se recomienda someter a tratamientos más específicos (Chávez *et al.*, 2011), por ejemplo al llamado “soil aquifer treatment” (SAT) o a la nanofiltración, o bien a cualquier otro método que haya demostrado ser efectivo para cumplir los estándares que regulan los tratamientos de agua. Particularmente el As y el Pb requieren ser removidos mediante algún procedimiento de floculación, precipitación, intercambio iónico, adsorción o combinación de éstos para que pueda usarse sin riesgo para la salud (Pérez *et al.*, 2003).

En 2014 se hicieron las primeras pruebas de la Planta de tratamiento de aguas residuales El Salto, en Atotonilco de Tula, que tiene una capacidad de tratamiento de 23 m³/s, lo que la ubica como una de las plantas más grandes de América Latina (www.milenio.com). Tratará el agua generada en la CDMX para eliminar contaminantes propios de las aguas residuales, minimizando los riesgos sanitarios y mejorando la calidad del agua para cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas, aportando nutrientes útiles para riego agrícola y, desde luego, podrá ser utilizada para la industria (Conagua, 2012). Lo anterior traerá una mejora en las condiciones sanitarias de quienes habitan en la región, además se pretende incrementar el potencial agropecuario en cerca de 125,000 has que tendrán la posibilidad de ser irrigadas para la siembra de cultivos y obtener mayor rentabilidad respecto a la situación actual.

Se espera beneficiar a 700 000 habitantes aproximadamente en materia ambiental y de salud, mismos que se encuentran en las cercanías de la presa Endho (Hidalgo). Los beneficios consisten en acceder a cultivos más rentables, sanear los cauces, prevenir la formación de bancos de materiales sépticos en los canales de riego, facilitar la tecnificación de riego y la producción de mayor valor agregado, incluyendo producción en invernaderos, disminuir la incidencia de enfermedades causadas por el contacto con aguas residuales, hacer viable la extracción de agua del acuífero del Valle de Tula para exportar al Valle de México y con ello mitigar la sobreexplotación del acuífero en esta última zona, y reducir la emisión de efecto invernadero al emplear el gas metano producido por la digestión anaeróbica de la Planta de Atotonilco para generar energía eléctrica que consumirá la Planta. Entre los beneficios económicos se proyecta aumentar el valor de los predios ubicados a una distancia de hasta 500 m del río Tula y de la Presa Endho y se reducirán las inversiones por las enfermedades causadas por el contacto con las aguas residuales. Todos estos beneficios permitirán al proyecto una Tasa Interna de Retorno Social (TIRS) de 14.6% (Conagua, 2012).

Efectos de diferentes contaminantes en otros organismos

Los metales pesados son fácilmente adsorbidos y tienden a acumularse en el suelo y en los organismos vivos, su acumulación puede acarrear, a la larga, consecuencias negativas, ya que al haber procesos de lixiviación de elementos tóxicos, éstos se vuelven accesibles a los sistemas acuáticos y seres vivos en contacto con ellos. Rubio-Franchini *et al.* (2016) reportaron la bioacumulación de Arsénico, Cadmio y Plomo en peces, luego de alimentarse del zooplancton de las presas que son abastecidas con agua del río Tula, particularmente en tilapias (*Oreochromis niloticus*) de la presa de Zimapán y capturadas en la afluencia de los ríos que la alimentan (San Juan y Tula); están reportados los efectos que hay en branquias e hígado, las primeras resultaron con los mayores daños (87.5%) y en hígado 50%, con algunas alteraciones respecto al tejido sano. Las patologías en detalle de ambos órganos están atribuidas a la presencia de metales pesados, insecticidas, herbicidas y otros tipos de agroquímicos (López, 2010). Las concentraciones de As, Cd, Hg y Pb, en ambas zonas muestreadas, se encuentran dentro del límite permisible de acuerdo a la NOM-001-ECL-1996 y la Ley Federal de Derechos Normas Aplicables en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes 2003, con excepción del Hg, que supera los límites permisibles de la Ley Federal (López, 2010); la autora concluye que la exposición prolongada a los metales pesados, aun registrados en bajas concentraciones, puede causar daño a los organismos y poner en riesgo la salud humana. También ha sido reportada la bioacumulación de As contenido en el pozo V de Zimapán sobre el pez cebra (*Danio rerio*), y los probables daños genotóxicos en células de branquias a través de la inducción de micronúcleos (MNs), registrándose un incremento de inducción de ellos 2.38 veces más con respecto al control negativo, poniéndose de manifiesto un efecto de genotoxicidad por As (Baez *et al.*, 2004).

Otras fuentes de contaminación en el corredor industrial de Tula

En la zona del corredor industrial de Tula se encuentran la cementera cooperativa Cruz Azul que produce anualmente 2.7 millones tons/año (<https://www.gob.mx>), la refinería Miguel Hidalgo (Pemex), que en 2013 procesaba 279 000 barriles diarios de petróleo y la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos (CFE, que emite 150 700 tons/año de sulfuro (SO₂) y 16 361 tons/año de óxidos de nitrógeno, NO_x) (García-Escalante *et al.*, 2014), estos complejos industriales emiten además compuestos orgánicos volátiles (COV). En esta zona los problemas de salud (asma, rinitis, dermatitis, problemas gastrointestinales y cáncer)

han sido asociados a la contaminación que producen (<http://unhidalgo>), y aunque ya fue probado un modelo que, con ciertas condiciones meteorológicas, disminuye 40% en las emisiones de NO_x, SO₂ y compuestos orgánicos volátiles (COV) (García-Escalante *et al.*, 2014), no se ha probado para la zona que nos ocupa.

En el agua del río se reportan hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPAs) y bifenilos policlorados (BPCs) que tienen poca degradabilidad y son absorbidos por organismos de bajo metabolismo. Los BPCs son compuestos altamente tóxicos y pueden ser carcinógenos, causar lesiones dérmicas, pérdida de peso, neurotoxicidad, hepatotoxicidad, inmunodepresión y disrupción endocrina, según la exposición a ellos. Song *et al.* (2006) señalan que las reacciones fisicoquímicas y biológicas de los contaminantes orgánicos e inorgánicos, con los compuestos inorgánicos naturales en el suelo, pueden iniciar la formación de otros productos que son mutagénicos o carcinogénicos.

Aguas abajo de la presa La Requena, es decir, el agua del río es empleada por la cementera Cruz Azul (en Jasso), extrayendo elevados volúmenes de agua para los procesos de enfriado de los hornos y en la cura del concreto. Esta actividad industrial efectúa incineración de residuos peligrosos como “combustible alternativo” (plástico, llantas y aceites, entre otros) para alcanzar temperaturas superiores a 1500 °C en los hornos, provocando emisiones de gases de efecto invernadero y liberación de contaminantes al aire (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas), así como nuevos contaminantes, especialmente Productos de Combustión Incompleta (PCI), incluyendo las dioxinas y furanos, que son contaminantes orgánicos persistentes, bioacumulables, muy tóxicos, y que pueden provocar efectos crónicos graves, como cáncer, afectaciones del sistema endocrino e inmunológico, pérdida de fertilidad y alteración del desarrollo de fetos en animales y humanos (Mehta, 2001; Zabalza *et al.*, 2011).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E. *et al.*, 2007, “Sistema de drenaje principal de la Ciudad de México. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua”, en *Gaceta del IMTA*, agosto (4): 1-2.
- Báez, O. *et al.*, 2004, “Bioacumulación y daños genotóxicos en Pez Cebra (*Danio rerio*) por arsénico en aguas de Zimapán, Hidalgo (México). Ensayos en cortos plazos”, en *AquaTIC*, 62-70.
- Burns, E., 2009, “Tratar y reusar las aguas residuales”, UAM-Centro Sustentabilidad Incalli Ixcahuicopa, CENTLI Editores, México.

- Cajuste, J. *et al.*, 2001, "Cadmio, níquel y plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México", en *Agrociencia*, 35(3): 267-274.
- Carrera, J. y Gaskin, J., 2009, "Water management in the Basin of Mexico: current state and alternative scenarios", en *Hydrogeology Journal*, 17, 1483-1494.
- Chávez, A. *et al.*, 2011, "The removal of microorganisms and organic micropollutants from wastewater during infiltration to aquifers after irrigation of farmland in the Tula Valley, Mexico", en *Environmental Pollution*, 159: 1354-1362.
- Chow, A. *et al.*, 2011, "Reactivity of litter leachates from California Oak Woodlands in the formation of disinfection by-products", en *J. Environ. Qual.* 40: 1607-1616.
- Conagua, 2007, "Situación de los Recursos Hídricos", en *Estadísticas del agua en México*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Conagua, 2010a, *Manual para el manejo de zonas de riego con aguas residuales*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Conagua, 2010b, *Revisión de disponibilidad de aguas superficiales en las cuencas del Valle de México y Tula*, Conagua, México.
- Conagua, 2012, *Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco. Memoria documental*, Semarnat, México.
- Cornejo, F. *et al.*, 2012, "Degradación del suelo en el Distrito de riego 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, México", en *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4): 873-880.
- Elizondo, C. *et al.*, 2016, "Flora que crece naturalmente en presas de jale minero abandonadas susceptibles de ser utilizadas en reclamación, Zimapán, Hidalgo, México", en *Interciencia*, 41, 492-298.
- Espino de la E., 2012, *Obras de saneamiento y reúso de aguas residuales en el Valle de México: Avances y tareas pendientes*, Conagua-Gerencia de Agua y Saneamiento, Coordinación de Proyectos del Valle de México, México.
- Flores, H. *et al.*, 2011, "Heavy metals in agricultural soils and irrigation wastewater of Mixquiahuala, Hidalgo, Mexico", en *African Journal of Agricultural Research*, 6(24): 5505-5511.
- Fonseca, M. *et al.*, 2016, "Microbial indicators, opportunistic bacteria, and pathogenic protozoa for monitoring urban wastewater reused for irrigation in the proximity of a megacity", en *EcoHealth*, 13: 672-686.
- Friedel, K. *et al.*, 2000, "Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico", en *Biology and Fertility of Soils*, 31(5): 414-421.
- García, I. y Dorronsoro, C., 2005, "Contaminación por metales pesados". En: *Tecnología de Suelos*, Universidad de Granada- Departamento de Edafología y Química Agrícola, en <http://edafología.ugr.es>.

- Gibson, R. *et al.*, 2010, "Accumulation and leaching potential of some pharmaceuticals and potential endocrine disruptors in soils irrigated with wastewater in the Tula Valley, Mexico", en *Chemosphere*, 81: 1437-1445.
- Guédron, S. *et al.*, 2014, "(Methyl) Mercury, Arsenic, and Lead Contamination of the World's Largest Wastewater Irrigation System: the Mezquital Valley (Hidalgo State-Mexico)", en *Water, Air, & Soil Pollution*, 225: 2045.
- Han, X. *et al.*, 2003, "New Approach to Studies of Heavy Metal Redistribution in Soil", en *Advances in Environmental Research*, 8: 113-120.
- Hernández, J. *et al.*, 2018, "Ammonium-nitrate dynamics in the critical zone during single irrigation events with untreated sewage effluents", en *Journal of Soils and Sediments*, 18: 467-480.
- Herre, A. *et al.*, 2004, "Effect of irrigation water quality on organic matter, Cd and Cu mobility in soils of central Mexico", en *Water Science and Technology*, 50: 277-284.
- Herrera, I., 2006, *Estudio de la calidad fisicoquímica de las aguas del río Tula*, Tesis para obtener el grado de ingeniero, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.
- Jiménez, B. y A., Chávez, 2004, "Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: BEI Mezquital Valley case", en *Water Science and Technology*, 50: 269-276.
- Jiménez, B. *et al.*, 2005, "El reúso intencional y no intencional del agua en el Valle de Tula", en Jiménez, B. y Marín, L. (comps.), *El agua en México vista desde la academia*, Academia Mexicana de Ciencias, México.
- Jiménez, B., 2016, "Coming to terms with nature: water reuse new paradigms towards integrated water resources management", en *Water and Health*, II. EOLSS: 398-449.
- Kallali, H. *et al.*, 2013a, "Generalization and formalization of the US EPA procedure for design of treated wastewater aquifer recharge basins: II. Retrofit of Souhil Wadi (Nabeul, Tunisia) pilot plant", en *Water Science and Technology*, 67: 764-771.
- Kallali, H. *et al.*, 2013b, "Generalization and formalization of the USEPA procedure for design of treated wastewater aquifer recharge basins: I. Theoretical development", en *Water Science and Technology*, 67: 131-138.
- Kitis, M. *et al.*, 2002, "Probing reactivity of dissolved organic matter for disinfection by-product formation using XAD-8 resin adsorption and ultrafiltration fractionation", en *Water Res.*, 36: 3834-3848.
- Lesser, E. *et al.*, 2018, "Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico", en *Chemosphere*, 198:510-521.

- López, I., 2010, *Contaminación de metales pesados en tilapia, presa Hidroeléctrica Zimapán, Hidalgo*, Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- López, M. *et al.*, 2007a, "Aspectos limnológicos de impacto ambiental y pesqueros en la presa hidroeléctrica Zimapán, Hidalgo-Querétaro", en De la Lanza y García (Comp.), *Limnología de presas*, AGT Editor S.A., México.
- López, M. *et al.*, 2007b, "Presa Zimapán: implicaciones ambientales, pesqueras y sociales", en De la Lanza (Ed.), *Las aguas interiores de México*, AGT Editor S.A., México.
- López, M. *et al.*, 2015, "Variación de carbono orgánico disuelto en la cuenca del río Tula, Hidalgo", en Paz, F., Wong, J. y Torres, R. (Eds.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2015*, Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono, México.
- Lucho, C. *et al.*, 2005, "Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108: 57-71.
- Marín, L. *et al.*, 1998, "Inorganic water quality monitoring using specific conductance in Mexico", en *Ground Water Monitoring and Remediation*, 18(1): 156-162.
- Martín, S., 2014, *Disponibilidad de Pb, Cd, y Ni por la adición de fósforo y azufre en suelos regados con agua residual, en el valle del Mezquital, Hidalgo*, Tesis para Doctor en Ciencias, Colegio de Postgraduados campus Montesillo, Texcoco, México.
- Mehta, P., 2001, "Reducing the environmental impact of concrete: concrete can be durable and environmentally friendly", en *Concrete International*, 61-66.
- Méndez, M. y Armienta, A., 2003, "Arsenic phase distribution in Zimapán mine tailings, Mexico", en *Geofísica Internacional*, 42: 131-140.
- Méndez, J. *et al.*, 2004, "Efecto de la concentración y tiempo de contaminación de un suelo por petróleo en la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Himeca 95", en *Revista Científica UDO Agrícola*, 4: 66-71.
- Michael, D., 2010, *Contaminación de metales pescados en Tilapia, presa hidroeléctrica Zimapán, Hidalgo*, Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Mondragón, A., 2013, *Efecto del agua y sedimentos de las presas asociadas a la cuenca del río Tula sobre el desarrollo de etapas iniciales de dos cultivos*, Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Montelongo, R. *et al.*, 2008, "Modelación de la calidad del agua del río Tula, estado de Hidalgo, México", en *Dyna*, 75(154): 15.

- Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), 31 de diciembre de 2002, "Establece las Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis", en *Diario Oficial de la Federación*, México 3.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996), 1996, 24 de junio de 1996, "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales", en *Diario Oficial de la Federación*, México.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996), 2003, "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales", Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), México, D.F., en *Diario Oficial de la Federación*, México.
- Núñez, A., 2015, *Caracterización de la problemática de las aguas residuales en Ixmiquilpan Hidalgo*, Tesis de Licenciatura en Geografía Humana, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.
- Ontiveros, R., 2013, "Evaluación de aguas residuales de la Ciudad de México utilizadas para riego", en *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(4): 14, México.
- Pérez, F. et al., 2003, "Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México", en *Hidrobiológica*, 13: 95-102.
- Pérez, S., 2011, *Evaluación económica del uso de aguas residuales en el módulo II del Distrito de Riego 028, Tulancingo, Hidalgo*, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.
- Prieto, F. et al., 2006, "Lixiviación selectiva de arsénico y otros elementos de material sedimentario arrastrado por aguas subterráneas en Zimapán, Hidalgo, México", en *Interciencia*, 31: 50-56.
- Prieto, J. et al., 2009, "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua", en *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 29-44.
- Prieto, F., 2007, "Caracterización fisicoquímica y extracción secuencial de metales y elementos trazas en suelos de la región Actopan-Ixmiquilpan del distrito de riego 03, Valle de Mezquital, Hidalgo, México", en *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14: 69-8.
- Qadir, M. et al., 2010, "The challenges of wastewater irrigation in developing countries", en *Agricultural Water Management*, 97: 561-568.
- Quiñones, E. et al., 2003, "Emergencia y crecimiento de maíz en un suelo contaminado con petróleo crudo", en *Agrociencia*, 37: 585-594.
- Ravichandran, M., 2004, "Interactions between mercury and dissolved organic matter a review", en *Chemosphere*, 55: 319-331.

- Rojas, J., 2015, *Caracterización e influencia de compuestos orgánicos semivolátiles en la calidad del agua del Río Tula y sus principales afluentes*, Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Romero, H., 1997, "El valle del Mezquital, México. Estudio de caso", en HESPANHOL, R. H. Y. I. (Ed.), *Water pollution control. A guide to the use of water quality management principles El valle del Mezquital, México*, PNUMA, CCAIS, OMS, México.
- Rubio, I. et al., 2016, "Bioaccumulation of Metals Arsenic, Cadmium, and Lead in Zooplankton and Fishes from the Tula River Watershed, México", en *Springer International Publishing*.
- Sánchez, M. et al., 2013, "Caracterización de suelos regados con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal", en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5): 811-817.
- Sánchez, M. et al., 2016, "Sistema agroforestal coquia-mezquite establecido en suelos del Distrito de Riego Tulancingo, Hidalgo, México", en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3207-3217.
- Semarnat, 2011, *Planta de tratamiento de aguas residuales, Atotonilco, México*.
- Siebe, C., 2012, "Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de riego 03, Tula, Hidalgo, México", en *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 10(1).
- Silva, J. et al., 2008, "Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión", en *Agronomía Colombiana*, 26(2).
- Silver, M. et al., 2018, "Nitrogen cycling and origin of ammonium during infiltration of treated wastewater for managed aquifer recharge", en *Applied Geochemistry*, 97: 71-80.
- Solís, M., 2014, *Disponibilidad de Pb, Cd y Ni por la adición de fósforo y azufre en suelos regados con agua residual, en el Valle del Mezquital, Hidalgo*, Tesis de Doctor en Ciencias, Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.
- Song, F. et al., 2006, "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and heavy metals (HMs) as well as their genotoxicity in soil after long-term wastewater irrigation", en *Chemosphere*, 65(2006): 1859-1868.
- Soto, C., 2003, *La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Vázquez, A. et al., 2005, "Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del Valle del Mezquita, Hidalgo", en *Tierra Latinoamericana Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo A.C.*, México, 23: 447-455.

- Wang, S. *et al.*, 2007, "Effect of ammonia nitrogen and dissolved organic matter fractions on the genotoxicity of wastewater effluent during chlorine disinfection", en *Environ. Sci. Technol.*, 41: 160-165.
- Zabalza, I. *et al.*, 2011, "Life cycle assessment of building material: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential", en *Building and environment*, 46: 1133-1140.

Páginas consultadas:

<http://unhidalgo.com/2009/05/la-contaminacion-en-tula/>, consultada el 18/06/2018.

http://www.milenio.com/región/iniciara-PTAR-operaciones-Conagua_0_289171138.html, consultada el 18/06/2018.

<http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2013/06/13/90399>, consultada el 20/08/2018.

http://www.slideplayer.es/slide/2980401/11/images/17/Drenaje+profundo*Capacidad%3A+220+m3%2Fs+Longitud%3A+km.jpg, consultada el 20/11/2018.

<https://www.gob.mx/se/prensa/se-inaugura-la-segunda-linea-de-produccion-de-cemento-de-cycna-de-oriente-de-la-cooperativa-la-cruz-azul>, consultada el 12/11/2018.

Efectos metabólicos y molecular del estrés calórico en el ganado

Román Espinosa Cervantes¹ y Alejandro Córdova Izquierdo

Resumen. El cambio climático ha incrementado la temperatura ambiental a nivel mundial, afectando el bienestar y la productividad de los animales. Durante mucho tiempo se pensó que la reducción de la producción de leche y carne durante el Estrés calórico (EC) era causada por la disminución en el consumo de alimento. Actualmente se conoce que el EC tiene efecto sobre la producción de radicales libres, provocando estrés oxidativo a nivel celular y mitocondrial en los animales. Además, el EC redistribuye los componentes corporales como la grasa, la energía y las proteínas, alterando el metabolismo postabsortivo. Por lo que es de vital importancia que el problema reciba más atención por parte de los investigadores para reducir el EC de los animales con miras a optimizar la productividad. Por ello, esta revisión describe los cambios celulares, moleculares y metabólicos que ocurren durante el EC en los animales.

Palabras clave: Estrés calórico, Metabolismo, Radicales libres, Estrés oxidativo, Ganado.

Abstract. Climate change has increased global environmental temperature affecting animal welfare and especially have a great impact on the productivity of animals. For a long time, it was thought that the decrease in production (milk and meat) during heat stress was caused by the decrease in food consumption. Currently it is known that heat stress influences the production of free radicals, causing oxidative stress at the cellular and mitochondrial levels in animals. In addition, caloric stress redistributes bodily components such as fat, energy and proteins, altering post-absorptive metabolism. It is imperative that the problem receives more attention from researchers to minimize the caloric stress of animals with a view to optimizing productivity. So, this review describes the cellular and metabolic changes that occur during heat stress in animals.

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, e-mail: espinosa@correo.xoc.uam.mx

Keywords: Caloric stress, Metabolism, Free radicals, Oxidative stress, Cattle.

INTRODUCCIÓN

Los modelos climáticos actuales predicen un aumento en las temperaturas promedio del mundo, por lo que se espera que el impacto negativo del estrés calórico (EC) en el rendimiento y bienestar animal aumente significativamente (Bernabucci *et al.*, 2010; Daramola *et al.*, 2012).

El EC es común en las regiones tropicales y subtropicales, sin embargo, el cambio climático puede aumentar la frecuencia de las olas de calor y extender las condiciones del EC en el mundo, donde sólo ocurre en ciertas épocas del año (regiones templadas) (Johnson, 2018).

Frente a estos escenarios climáticos, las altas temperaturas y la humedad en verano aumentan la temperatura corporal del ganado. Es claro, que la elevación de la temperatura corporal disminuye la productividad y la eficiencia reproductiva, disminuyendo directamente el consumo de materia seca (MS) y afectando negativamente el metabolismo y otras funciones fisiológicas a través del aumento de los niveles de estrés oxidativo a nivel celular, como el daño mitocondrial en el músculo (Sakatani, 2014; Hansen *et al.*, 2000).

Los animales homeotermos poseen una zona termoneutral, que es dependiente de la especie, la etapa fisiológica, la humedad relativa, la velocidad del aire ambiental y la radiación solar (NRC, 1981), por lo tanto, cuando la temperatura corporal del animal excede el rango especificado de su zona termoneutral y la carga total de calor excede la capacidad del animal para disiparlo, es definido como EC (Bernabucci *et al.*, 2010).

El EC es el resultado de un balance negativo entre la cantidad de energía neta que fluye desde el animal hacia el ambiente circundante y la cantidad de energía térmica producida por el animal, por lo que mecanismos como conducción, radiación, convección y evaporación son necesarios para compensar el EC (St-Pierre *et al.*, 2003).

Actualmente, aún se siguen utilizando algunos métodos de manejo a corto plazo para aliviar los impactos del EC, sin embargo, los mecanismos moleculares de la respuesta al estrés para la resistencia innata y la termotolerancia son una estrategia significativa, a largo plazo, para incrementar la productividad en la industria ganadera mundial. El EC provoca respuestas complejas que se consideran esenciales para salvaguardar la integridad celular y la supervivencia de los organismos (Belhadj *et al.*, 2015). Durante el proceso de EC en los animales participan múltiples proteínas y mecanismos

de señalización (genes que codifican para proteínas de choque calórico y enzimas antioxidantes) que están involucrados en las vías de respuesta al estrés. Las proteínas de choque térmico y las chaperonas moleculares se han descrito como elementos primarios en las respuestas de estrés celular (Sengar *et al.*, 2017).

En esta revisión se describen los efectos del EC en algunas especies animales de importancia económica y se analizan las últimas tecnologías en la gestión del EC y sus perspectivas futuras.

Respuesta molecular al estrés oxidativo

El estrés oxidativo es el resultado de un disturbio en el equilibrio de las concentraciones de pro-oxidantes y antioxidantes, dando lugar a la sobreproducción de radicales libres, especies reactivas de oxígeno (ERO), y disminución de las defensas antioxidantes (Belhadj *et al.*, 2016). El EC es responsable de inducir estrés oxidativo durante el verano en el ganado. La exposición al calor aumenta la producción de ERO e induce estrés oxidativo, que puede conducir a citotoxicidad. Se ha sugerido que el EC es similar al estrés oxidativo debido a su correspondencia en la expresión de genes después de la exposición al calor (genes que codifican para proteínas de choque térmico y enzimas antioxidantes) (Archana *et al.*, 2017). El aumento de la actividad de las enzimas antioxidantes ocurre en la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPX). El aumento de la actividad de las enzimas antioxidantes es la respuesta a los altos niveles de ERO para mantener las concentraciones en estado estacionario de los radicales libres. Estudios realizados en cabras Marwari muestran que los antioxidantes endógenos, tales como glutatión, vitaminas (E, C y A) y β - Caroteno disminuyen durante los ambientes cálidos y fríos (Pandey *et al.*, 2012; Gupta *et al.*, 2013). En algunos trabajos se ha visto que el proporcionar alimentos antioxidantes reducen las ERO y evitan el daño oxidativo a nivel celular.

Estrés calórico y daño mitocondrial

La cadena respiratoria mitocondrial es el principal sitio de formación de ERO. El EC agudo se traduce en un aumento de los niveles de ERO en las mitocondrias musculares. El aumento en la oxidación del sustrato, la desregulación del desacoplamiento de proteínas y la depresión en la actividad de la cadena respiratoria mitocondrial dañan la membrana interna y el ADN (Mujahid *et al.*, 2007). Sin embargo, la relación entre la función mitocon-

drial, el tejido muscular y el estrés oxidativo corporal, a causa del EC, aún permanece incierta (Huang *et al.*, 2015).

En el pollo de engorda ha sido evaluado el equilibrio redox en las mitocondrias musculares. La mayor concentración de 8-hidroxideoxiguanosina (8-OHdG) en músculos del pecho y en aves sometidas a EC indicaron que el estrés oxidativo causa daño oxidativo en los lípidos y las proteínas mitocondriales del músculo (Mujahid *et al.*, 2007). Por otra parte, se ha reportado un decremento en la capacidad para inhibir radicales hidroxilos (AIHR por sus siglas en inglés), a pesar del incremento de la SOD y una disminución en la actividad de GPX y CAT, que pueden estar implicadas en la capacidad para reducir el peróxido de hidrógeno en las mitocondrias del músculo esquelético (Huang *et al.*, 2015).

Respuesta celular y proteínas de choque calórico

Estudios genómicos en ganado de carne y lechero han aportado importantes hallazgos con respecto a la termorregulación en animales bajo condiciones de EC. La termotolerancia en el ganado es identificada como una característica cuantitativa que está influenciada por regiones genómicas en el gen diana (Dikmen *et al.*, 2008). La respuesta celular al EC en los mamíferos es controlada a nivel de transcripción y es mediado por una familia de factores de transcripción de choque térmico (HSF), que se regulan mediante la expresión inducible de genes HSF. Diferentes isoformas de HSF están presentes en diversas especies animales (Archena *et al.*, 2017). Este factor de transcripción impulsa la expresión de numerosos genes, incluidos los que codifican las pequeñas proteínas de choque calórico (HSPs) (Berber *et al.*, 2016). Las HSPs muestran características muy marcadas en su expresión durante procesos de estrés térmico, metales pesados, oxidantes, toxinas, radiaciones, radicales libres, patógenos, drogas y situaciones clínicas (Mahmood *et al.*, 2014).

Las HSP pueden clasificarse como HSP 110, HSP 100, HSP 90, HSP 70, HSP 60, HSP 40, HSP 10 y familias pequeñas HSP (Feder y Hofmann, 1999). Las HSP son chaperonas moleculares que se diferencian por su peso molecular, similitud en la secuencia de aminoácidos y función biológica. Debido a su función de chaperón, aseguran el plegado, el despliegue y el repliegue de proteínas nacientes o desnaturalizadas por estrés (Morimoto *et al.*, 1990). Las HSP se unen a secuencias proteicas hidrófobas liberadas por desnaturalización, por lo tanto, previenen la agregación de proteínas dañinas, así como evitan la interacción con proteínas vecinas y, en consecuencia, la pérdida de la función de la proteína (Belhadj *et al.*, 2016). Por ello, las HSP actúan y son un indicador potencial de la adaptación animal al EC severo (Dangi *et al.*, 2012; Dangi *et al.*, 2015).

Algunos autores han reportado un incremento en las HSP 70 y HSP 90 durante el EC en animales como el borrego, búfalo, vaca, pollos, cerdos y cabras (Dangi *et al.*, 2015). Especialmente en las cabras se ha observado que la expresión de ARNm de HSP 60, HSP 70, HSP 90 y ubiquitina se incrementa durante la temporada de verano, en comparación con la de invierno, y se concluyó que las HSP juegan un papel importante en la tolerancia al estrés térmico frente a las condiciones climáticas desfavorables (Dangi *et al.*, 2012).

Respuestas metabólicas al estrés calórico

Consumo de alimento

Los principales eventos fisiológicos que ocurren en condiciones de EC en el ganado lechero son el aumento de la tasa respiratoria, frecuencia cardíaca y temperatura corporal, pero los más importantes son la disminución en el consumo de alimento y la producción de leche. La disipación de calor asociada a la adaptación metabólica es un proceso costoso en el gasto de energía y se cree que es en parte responsable de la disminución en la producción de leche (Liu *et al.*, 2017; Polsky y Keyserlingk, 2017). En este sentido, se ha reportado que una reducción en la ingesta de nutrientes sólo representa 35% del estrés inducido por el calor y que tiene efectos sobre la disminución en la síntesis de leche. Además, de que el perfil metabólico de una vaca estresada por calor difiere de una vaca lactante o en un plano nutricional reducido (Rhoads *et al.*, 2009; Wheelock *et al.*, 2010).

El consumo de alimento en las vacas en lactación comienza a disminuir a los 25-26 °C de temperatura del aire y se va reduciendo gradualmente por encima de los 30 °C en condiciones climáticas templadas, y a los 40 °C puede disminuir hasta en 40%. En otras especies, como las cabras lecheras, disminuye de 22-35% y hasta un 8-10% en las búfalas (Sejian *et al.*, 2010; Das *et al.*, 2016). En el cuadro 1 se muestran las consecuencias del EC sobre el balance energético y la productividad a consecuencia de la disminución en el consumo de alimento en otras especies animales. En el caso del ganado de carne se ha visto que las pérdidas debido al EC no son tan severas como en el ganado lechero. El costo por día abierto en vacas lecheras es de 2.5 y en ganado de carne es de 1.8 dólares/día (St-Pierre *et al.*, 2003). Aún no es del todo claro que el ganado de engorda tolera más temperatura y humedad, además de tener un umbral de tensión térmica mayor que las vacas lecheras, y probablemente sea debido al aumento de la relación superficie/masa y a la reducción de calor en el rumen debidos al tipo de dieta (principalmente granos) (Baumgard y Rhoads, 2013).

Cuadro 1. Efecto del estrés calórico en el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia en el ganado

Parámetro	Especie	Estrés Calórico	Respuesta
Consumo de alimento	cerdo	constante	disminuye
	cerdo	diurno	disminuye
	bovino	constante	disminuye
	bovino	diurno	disminuye
	pollo	constante	disminuye
	pollo	diurno	disminuye
Eficiencia alimenticia	cerdo	constante	disminuye
	cerdo	constante	no cambia
	cerdo	diurno	no cambia
	cerdo	constante	incrementa
	bovino	diurno	disminuye
	bovino	constante	disminuye
	pollo	constante	disminuye
	pollo	diurno	disminuye

(Johnson, 2018).

Otro estudio en ganado de carne indica que el consumo de alimento tiene sólo pequeños cambios cuando la temperatura oscila entre los 10 a los 25 °C, sin embargo, el porcentaje de digestibilidad disminuye hasta un 70 % y el consumo de alimento declina rápidamente cuando el animal es expuesto a más de 6 h de temperatura por encima de los 30 °C, por lo que se concluye que el EC afecta el consumo de alimento, sin embargo, se piensa que es más importante la disminución de la digestibilidad que el consumo de alimento, como se muestra en el cuadro 1 que siempre disminuye la eficiencia alimenticia (Leu *et al.*, 1977).

Recientemente se publicó que el EC provoca altas temperaturas en el rumen, afectando positivamente la digestibilidad de la MS y la fibra detergente neutra (FDN), mientras que influye negativamente en la digestibilidad de la materia orgánica (MO). La alteración de la digestibilidad en animales sometidos a estrés por calor es atribuida a los cambios en la actividad bacteriana y la absorción ruminal e intestinal de nutrientes, ya que el proceso de fermentación se realiza principalmente por los microorganismos ruminales (Hyder *et al.*, 2017).

La reducción del consumo de alimento en el ganado es un mecanismo para disminuir la producción de calor en ambientes cálidos, sin embargo, el aumento de calor de la alimentación es una fuente importante de producción de calor en los animales debido a la retención prolongada de alimento en el tracto gastrointestinal, como resultado, los animales experimentan una etapa de balance de energía negativa (BEN) durante el EC, por lo tanto, el peso corporal y la condición corporal disminuyen (Das *et al.*, 2016).

Metabolismo de las proteínas

Durante el EC la síntesis de leche es altamente sensible a cambios de temperatura afectándose en 35-40% en las vacas lecheras y las cerdas. El EC disminuye la síntesis de proteínas de la leche, más allá de lo que se esperaría en función de la reducción en la ingesta de alimento. En vacas lecheras el EC disminuye los aminoácidos libres de plasma (AA; 17.1%) y muestra un incremento que se refleja en la sangre, la orina y el nitrógeno ureico de la leche (17.2, 24.3 y 24.5%, respectivamente). Además, las vacas en EC tienen pequeñas concentraciones de glucosa en plasma (8%) y ácidos grasos no esterificados (NEFA) (39.8%), en comparación con los animales control. Estos datos sugieren que el EC incrementa la utilización sistémica de AA (por ejemplo, disminución del AA en plasma y aumento de la excreción de nitrógeno), un escenario que limita el suministro de AA a la glándula mamaria para la síntesis de proteínas de la leche. Además, el aumento de los requisitos de AA durante el EC podría representar una mayor necesidad de precursores gluconeogénicos, ya que se cree que el EC prioriza la utilización de glucosa como combustible a expensas de los NEFA (Gao *et al.*, 2017).

Además, las dietas altas en grasas y energía permiten mayor deposición de grasa en animales hipertérmicos, que las dietas altas en proteínas. El EC parece afectar la distribución de la energía entre la grasa y deposición de proteínas, aunque el costo de la energía bruta para depositar 1 g de proteína se calculó a 8.7 kcal / g, y el costo de la energía bruta para depositar 1 g de lípido se calculó en 12.0 kcal / g, el incremento en

el catabolismo bajo condiciones de EC es probable que produzca glucosa a través de la ruta de la gluconeogénesis (Belhadj *et al.*, 2016).

El hígado en los animales es el principal órgano involucrado en la homeostasis de la glucosa, produciendo glucosa a partir del propionato ruminal. Durante el inicio de la lactación, la gluconeogénesis y la glucogenólisis se incrementan para proporcionar glucosa para la producción de leche durante la lactancia. El aumento en la gluconeogénesis es mucho más pronunciado durante los partos de verano caluroso, que en el período de primavera fría (Gao *et al.*, 2017).

Metabolismo de lípidos

Durante el metabolismo de inanición termoneutral, las vacas dependen de la oxidación de los ácidos grasos del tejido adiposo para mantener las funciones vitales y de glucosa disponible para la síntesis de lactosa, por lo tanto, los signos típicos del metabolismo de inanición es el incremento de las concentraciones plasmáticas de NEFA y ácido β -hidroxibutírico (BHBA por sus siglas en inglés), así como la disminución de las concentraciones de glucosa en plasma (Lamp *et al.*, 2015). Sin embargo, a pesar de la disminución en el consumo de alimento durante el EC, cuando el animal está en BEN es contradictorio que la concentración de NEFA disminuya en el plasma. El hecho de que las vacas en EC reduzcan en el plasma circulante los NEFA y la lipólisis sugiere que el EC directamente afecta el metabolismo energético de los lípidos (Baumgard y Rhoads, 2013). Ronchi *et al.* (1999) plantean la hipótesis de que la disminución en la concentración de NEFA en el plasma en vacas lecheras con EC es el resultado de las altas tasas de utilización de NEFA para la generación de energía. Actualmente, los metabolitos sanguíneos como NEFA y β -HBA son marcadores sensibles de la movilización de lípidos del tejido adiposo relacionado con mayores requerimientos de energía necesarios para la producción de leche al inicio de la lactancia (Turk *et al.*, 2015).

La disminución de la respuesta por parte de los NEFA durante el EC puede ser una estrategia para aumentar las concentraciones de insulina en plasma, ya que un exceso de NEFA causa apoptosis de las células β del páncreas (Roche *et al.*, 2000). Otros estudios han demostrado que, durante el EC, los niveles basales de NEFA generalmente se reducen en cerdos, borregos y vacas, mientras que los bajos niveles de lipólisis se han observado en la vaca (Min *et al.*, 2017).

Además, el EC incrementa la lipoproteína lipasa en el tejido adiposo, lo que sugiere que este tejido de los animales hipertérmicos tiene una mayor capacidad de almacenar triacilglicérolos intestinales y hepáticos (observado en pollos de engorda, aves de corral en crecimiento y cerdos). El EC produce cambios en la composición de la canal, los perfiles de lípidos en sangre y la capacidad lipolítica. Además, el EC provoca un aumento del estrés y sus consecuencias son el incremento de hormonas catabólicas (epinefrina, cortisol y glucagón) (Baumgard y Rhoads, 2013).

Metabolismo de carbohidratos

Reportes en la literatura internacional mencionan que, en muchas especies animales, el metabolismo de los carbohidratos se altera durante el EC (Streffer, 1988); por ejemplo, el EC causa hipoglucemia en gatos y baja productividad en el humano. En atletas que hacen ejercicio a altas temperaturas promueven la creación de glucosa hepática y el efecto de la grasa aumenta la oxidación de hidratos de carbono de todo el cuerpo; además, la producción de glucosa hepática generalmente disminuye después de ingerir carbohidratos, sin embargo, los azúcares exógenos son incapaces de mitigar la glucosa hepática inducida por el EC (Hao *et al.*, 2016). El aumento de la producción de glucosa hepática se origina por el aumento de la glucogenólisis y el aumento de la gluconeogénesis. La expresión hepática del gen de la piruvato carboxilasa es una enzima limitante que controla la entrada de lactato y alanina a la vía gluconeogénica, incrementándose durante el EC en múltiples modelos animales y en roedores hipertérmicos; además, el lactato contribuye al incremento de la gluconeogénesis. Curiosamente, las concentraciones plasmáticas de lactato aumentan durante el ejercicio en situaciones de calor, en la hipertermia maligna porcina, en becerros en crecimiento estresados por calor y en células con melanoma sometidas a EC (Baumgard y Rhoads, 2013).

Estudios recientes en vacas lecheras indican que los animales en EC dejan de producir entre 200-400 g menos de lactosa por día, en comparación con sus controles en condiciones termoneutrales. Sin embargo, no está claro si el hígado produce 200-400 g menos de glucosa o si los tejidos extramamarios utilizan glucosa a un ritmo mayor (Wheelock *et al.*, 2010), por lo que se han generado dos líneas de evidencia que indican lo último: primero, las vacas estresadas por el calor eliminan la glucosa exógena más rápido después de una prueba de tolerancia a la glucosa; en segundo, utilizando isótopos, se demostró que la producción de glucosa de todo el cuerpo (presumiblemente es de origen hepático) y la respuesta de la glucosa a una prueba de epinefrina no difieren

entre los controles térmicos neutros y los de EC, aun cuando los informes sugieren que el hígado se vuelve parcialmente disfuncional durante el EC. Como se señaló anteriormente, el EC causa una expresión génica gluconeogénica hepática alterada, tal vez asociada con el suministro de precursores. Como consecuencia, parece que el hígado de los rumiantes sigue siendo funcional con respecto a la producción de glucosa hepática y que la glucosa se utiliza preferentemente para procesos distintos a la síntesis de leche durante el EC (Baumgard y Rhoads, 2013).

En otro estudio usando metabolómica para investigar las alteraciones en la ruta metabólica de carbohidratos, realizado por Tian *et al.* (2015), encontraron que el EC redujo el nivel de glucosa en sangre, pero incrementó el piruvato y el lactato, así como la actividad de la lactato deshidrogenasa. Los refuerzos de la glucólisis y la respiración anaerobia pueden mantener el cuerpo en balance de energía durante el EC. Mientras tanto, los investigadores encontraron que el EC aumentó el consumo de oxígeno miocárdico y muscular, por lo tanto, se redujo el suministro de oxígeno que finalmente condujo a la fermentación anaerobia. Los cambios en las vías metabólicas deterioran el balance energético negativo que es inducido por la disminución del consumo de MS durante el EC (Qian *et al.*, 2014).

El ciclo del ácido tricarboxílico (ATC)

Otra fuente importante de almacenamiento de glucógeno y de AA es el músculo esquelético (Koch *et al.*, 2016). El EC parece tener un efecto global sobre el metabolismo de los AA que resulta en un aumento en la movilización de la proteína muscular, aunque los mecanismos moleculares relacionados con la proteólisis aún no han sido investigados. El músculo tiene una reducida capacidad para oxidar los ácidos grasos, presumiblemente porque depende de la glucosa circulante y almacenada como glucógeno para las necesidades energéticas. La regulación de la entrada de piruvato en el ciclo de ATC parece jugar un papel importante para facilitar el flujo de lactato y de piruvato-alanina a la gluconeogénesis hepática, aunque su contribución a la homeostasis energética celular y del sistema no está clara. Una posible explicación es la adaptación homeorética que ocurre al inicio de la lactación e implica una reducción de la utilización de glucosa y un aumento del eflujo de lactato del músculo esquelético, con lo que se desacopla el ciclo de Cori para contribuir a los enormes y repentinos requerimientos de glucosa de la glándula mamaria (Kuhla *et al.*, 2011). No obstante, también se ha visto que las concentraciones plasmáticas de lactato son mayores durante el EC en el último tercio de la gestación, que en las vacas sin EC, apuntando a una disminución del ciclo de Cori en favor de ciclo de Cahill (Koch *et al.*, 2016).

Por otra parte, Streffer (1988) informó que las proporciones de lactato/piruvato y NADH/NAD⁺ aumentaron durante el EC. Estos datos indican que la entrada del piruvato en el ciclo del ATC, a través del complejo piruvato deshidrogenasa (complejo de PDH), es alterado por el EC. Esta inactivación del complejo PDH puede resultar en reacciones en cadena oxidativas generadas por las especies reactivas intracelulares (Belhadj *et al.*, 2016). El EC crónico en cerdos y rumiantes aumenta la Piruvato deshidrogenasa quinasa 4 en el músculo (PDK4), que inhibe al piruvato deshidrogenasa mediante fosforilación (Belhadj Slimen *et al.*, 2012; Koch *et al.*, 2016).

Fosforilación oxidativa

Un estudio realizado por Mujahid *et al.* (2009) demuestra que el estrés por calor aumenta la producción de ERO mitocondrial, e incrementa los niveles de malondialdehído y de la proteína desacopladora aviar (avUCP). Además, en este mismo estudio se observó que alimentar a las aves con aceite de oliva incrementa la expresión de avUCP en las mitocondrias del músculo esquelético, así como disminuye la producción de ERO, y por consecuencia el daño oxidativo. Los estudios sobre la función mitocondrial mostraron que el estrés térmico aumentó el potencial de membrana en el estado 4, que fue revertido cuando se suplementó a las aves con aceite de oliva. Estos resultados muestran que, bajo EC, la producción de ERO mitocondriales y la reducción de la producción de ERO inducida por el aceite de oliva ocurre debido a cambios en la actividad de la cadena respiratoria, así como a la expresión de avUCP en las mitocondrias del músculo esquelético (Mujahid *et al.*, 2007, 2009).

Posteriormente, en otros estudios se confirma que el EC agudo estimula la producción de ERO, afectando principalmente las mitocondrias del músculo esquelético de las aves, lo que es acompañado por un aumento del potencial de la membrana mitocondrial ($\Delta\Psi$), debido al incremento de la oxidación del sustrato en la cadena de transporte de electrones. También se ha demostrado que la expresión de la avUCP disminuye por la exposición al calor (Kikusato *et al.*, 2010, 2013).

Hiperinsulinemia

La presencia de insulina es fundamental para adaptarse al EC. Además, el EC induce cambios hipercatabólicos en el ganado, lo que sugiere un aumento en la acción de la

insulina (Sanz-Fernandez *et al.*, 2015). Estos cambios incluyen una marcada hipofagia y pérdida de peso, incrementa la insulina a nivel basal y estimula su circulación, también disminuye la movilización de tejido adiposo en los rumiantes en crecimiento y en lactación (Pearce *et al.*, 2013). En los roedores, el EC muestra incremento en los niveles basales de insulina, mayor sensibilidad a la insulina y absorción de glucosa, además de menor glucosa en plasma. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de que en vacas lecheras el EC conduce a la hipoglucemia y aumenta los niveles basales de insulina a pesar de la reducción en el consumo de nutrientes (Wheelock *et al.*, 2010).

Actualmente, para tratar este problema se han observado que las dietas complementadas con cromo, en becerros Holstein durante la época de verano, arrojan una respuesta insulínica reducida (~ 30%) a una infusión de glucosa, en comparación con los animales control, lo que sugiere una mejora en la eficiencia de la insulina. El cromo actúa como potenciador de la acción de la insulina (Vincent, 2001). Además, la ingesta de MS, la grasa de la leche y el rendimiento de proteína aumentaron, mientras que las concentraciones séricas de insulina y NEFA disminuyeron en vacas Holstein al inicio de la lactancia cuando fueron suplementadas con cromo durante el verano, nuevamente sugiriendo un aumento de la sensibilidad a la insulina. (Nikkhah *et al.*, 2011; Di Giacomo *et al.*, 2014).

Existe una creciente evidencia de que un estado de resistencia a la insulina puede comprometer la capacidad de un individuo para termorregular y esto puede ser exacerbado por factores estresantes. La suplementación con cromo potencializa la acción de la insulina y por consiguiente reduce el efecto del EC, por lo que habría que investigar el uso dietético del cromo y su efecto en el EC (Nteba *et al.*, 2015).

Estrategias para disminuir el estrés calórico

Los mamíferos se vuelven resistentes a la insulina durante la gestación y la lactancia como un proceso normal para desviar los nutrientes hacia los tejidos prioritarios, como el feto o la glándula mamaria durante la lactación. Los animales que están en engorda final, como los bovinos y ovinos, también se vuelven resistentes a la insulina (Dunshea *et al.*, 2008). No obstante, esta resistencia a la insulina está asociada a la dificultad para regular la temperatura corporal, por lo que es probable que los animales resistentes a la insulina sean menos capaces de lidiar con los eventos de EC. La estrategia termorreguladora fundamental de cualquier mamífero, incluido el ganado lechero, es mantener una temperatura interna del cuerpo más alta que la ambiental para permitir que el calor se disipe por conducción, convección, radiación y evaporación (Dunshea *et al.*, 2013).

Nutricionalmente, mantener la homeostasis o prevenir las deficiencias que resultan del EC, como la disminución del consumo de alimento, la reducción de los nutrientes disponibles para la absorción y los nutrientes absorbidos que se usan de manera menos eficiente, por lo que el animal se encuentra en BEN, pueden ser contrarrestados mediante el incremento de proteína en la dieta (Conte *et al.*, 2018). La estrategia para combatir el EC es la optimización de la proteína a nivel ruminal. La proteína mejora la producción de leche, carne y huevo en climas cálidos. El consumo de alimento y la producción de leche aumenta en vacas alimentadas con dietas que contienen 14% vs 17 o 21% de fibra detergente ácida (FDA) (Das *et al.*, 2016; Johnson, 2018).

En las cerdas, el incluir más fibra en la dieta es una estrategia para mitigar el EC (Conte *et al.*, 2018). Aumentar la fibra reduce el peso corporal en las cerdas estresadas por calor (Cottrell *et al.*, 2015). El incremento de grasa en la dieta de cerdos mejora la ganancia de peso durante la etapa de crecimiento y finalización en épocas calurosas (Renaudeau *et al.*, 2012). Las dietas ricas en proteínas generan una mayor respuesta termogénica posprandial, por lo que la disminución del contenido proteico de la dieta puede brindar una opción durante el EC (Conte *et al.*, 2018).

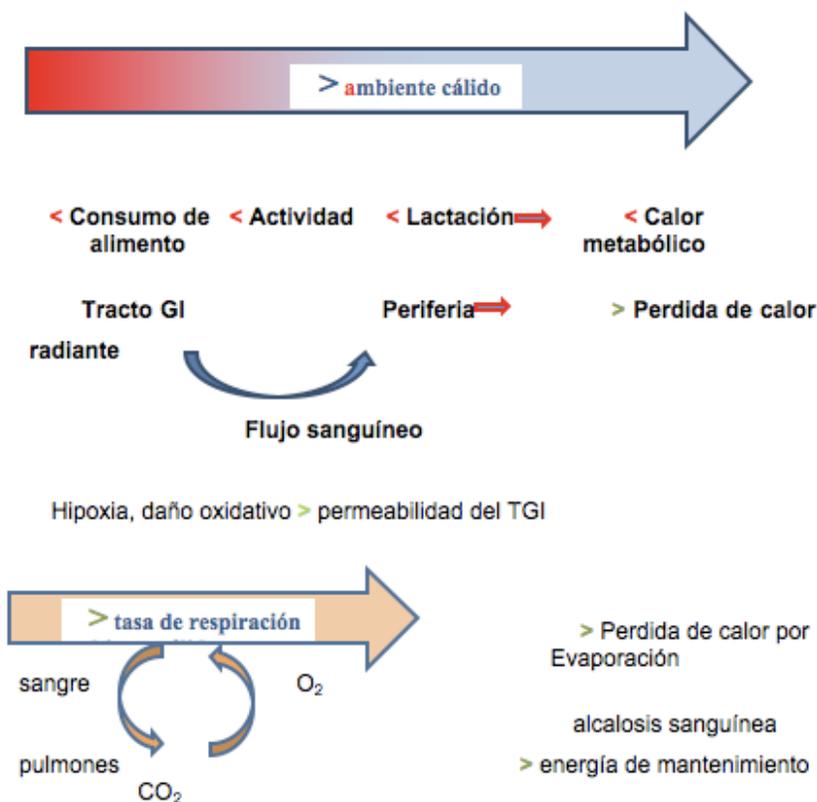
El EC causa daño oxidativo que podría minimizarse mediante la suplementación de vitaminas C 60 mg/kg de peso, E y A, y también minerales como el zinc (McDowell, 1989). El uso de vitaminas como la vitamina E y el ácido ascórbico actúan como inhibidores de la peroxidación lipídica provocada por los radicales peroxilo (Das *et al.*, 2016); también el Se y la Vitamina E están estrechamente vinculados y actúan de forma sinérgica. La vitamina E es el antioxidante más soluble en lípidos y su función metabólica es detener los pro-oxidantes "propagación", que de manera muy eficiente puede eliminar especies reactivas de oxígeno e hidroperóxidos lipídicos, convirtiéndolos en formas no reactivas (Cottrell *et al.*, 2015; Das *et al.*, 2016).

CONCLUSIÓN

Las altas temperaturas comprometen la disipación de calor en los animales, afectando el consumo de alimento y la producción de leche, huevo, carne, así como la eficiencia reproductiva y la rentabilidad. Las estrategias para mitigar el EC se enfocan en incrementar la ingesta de alimentos, a disminuir la pérdida de electrolitos y a la administración apropiada de minerales para controlar el equilibrio ácido base. La suplementación con minerales como el cromo potencializan la acción de la insulina que, bajo EC, compromete la capacidad termorreguladora y que es exacerbada por factores estresantes. Actualmente, existen infinidad de

estrategias para evitar y proteger a los animales del efecto del EC, sin embargo, es de vital importancia seguir estudiando el fenómeno de acuerdo con cada región geográfica, tipo de animal y sistema de producción para reducir estos efectos. Otra posibilidad es la selección genética animal para tener individuos que sean más resistentes al EC. Existen animales con genes capaces de regular la temperatura corporal y con resistencia celular a temperaturas elevadas, por lo que la identificación e incorporación de estos genes en razas sensibles al calor es una manera de que el EC no tenga efectos negativos en la producción animal.

Figura 1. Para aumentar la disipación térmica durante el estrés térmico y evitar el daño oxidativo, los animales reducen actividades que producen calor metabólico y aumentan la pérdida de calor radiante y evaporativo. El cambio resultante en el estado fisiológico y metabólico del animal otorga una gran importancia a la disipación del calor a expensas de los procesos beneficiosos para una producción eficiente



(Cottrell *et al.*, 2015).

BIBLIOGRAFÍA

- Archana, R. *et al.*, 2017, "Role of Heat Shock Proteins in Livestock Adaptation to Heat Stress", en *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 5(1): 00127.
- Baumgard, H. y Rhoads, P., 2013, "Effects of Heat Stress on Postabsorptive Metabolism and Energetics", en *Annu. Rev. Anim. Biosci*, 1: 7.1-7.27.
- Belhadj, B. *et al.*, 2015, "Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects", en *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100: 401-412.
- Berber, S. *et al.*, 2016, "Homeodomain-Interacting Protein Kinase (HPK-1) regulates stress responses and ageing in *C. elegans*", en *Scientific Reports*, 6(19582): 1-14.
- Bernabucci, U. A. *et al.*, 2010, "Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants", en *Animal* 4:1167-1183.
- Conte, G. *et al.*, 2018, "Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants", en *Italian Journal of Animal Sciences*, 17(3): 604-620.
- Cottrell, J. *et al.*, 2015, "Nutritional strategies to alleviate heat stress in pigs", en *Animal Production Science*, 55: 1391-1402.
- Dangi, S. *et al.*, 2012, "Expression profile of HSP genes during different seasons in goats (*Capra hircus*)", en *Trop Anim Health Prod*, 44: 1905-1912.
- Dangi, S. *et al.*, 2015, "Expression of HSPs: an adaptive mechanism during long-term heat stress in goats (*Capra hircus*)", en *Int J Biometeorol*, 59(8): 1095-106.
- Daramola, O. *et al.*, 2012, "Heat Stress Impact on Livestock Production", en Sejian, V. *et al.* (Ed.), *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Das, R. *et al.*, 2016, "Impact of heat stress on health and performance of dairy animals A review", en *Veterinary World*, 9(3): 260-268.
- Dikmen, S. *et al.*, 2008, "Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute HS", en *J Dairy Sci*, 91(9): 3395-3402.
- Dunshea, R. 2008, "Possible metabolic causes of heat shortening in cattle and potential strategies based on these mechanisms", en *Report A.MQT.029 to Meat and Livestock Australia*, Sydney.
- Dunshea, R. *et al.*, 2013, "Amelioration of thermal stress impacts in dairy cows", en *Animal Production Science*, 53(9): 965-975.
- Di Giacomo, K. *et al.*, 2014, "Potential nutritional strategies for the amelioration or prevention of high rigor temperature in cattle – a review", en *Animal Production Science*, 54: 430-443.

- Feder, E. y Hofmann, E., 1999, "Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology", en *Annu Rev Physiol*, 61: 243-82.
- Gao, T. *et al.*, 2017, "The effects of heat stress on protein metabolism in lactating Holstein cows", en *Journal of Dairy Science*, 100(6): 5040-5049.
- Gupta, M. *et al.*, 2013, "Physiological, Biochemical and Molecular Responses to Thermal Stress in Goats", en *International Journal of Livestock Research*, 3(2): 27-38.
- Hansen, J. *et al.*, 2000, "Global Warming in the Twenty-First Century: en Alternative Scenario", en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(18): 9875-9880.
- Hao, Y. *et al.*, 2016, "The Effect of Heat Stress on the Metabolism of Dairy Cows: Updates & Review", en *Austin J Nutr Metab*, 3(1): 1036.
- Hyder, I. *et al.* 2017, "Alteration in Rumen Functions and Diet Digestibility During Heat Stress in Sheep", en Sejian, V. *et al.* (Ed.), *Sheep Production Adapting to Climate Change*, Singapore, Springer.
- Huang, C. *et al.*, 2015, "Heat stress impairs mitochondria functions and induces oxidative injury in broiler chickens", en *J. Anim. Sci*, 93: 2144-2153.
- Johnson, S., 2018, "Heat stress: impact on livestock well-being and productivity and mitigation strategies to alleviate the negative effects", en *Animal Production Science*, 58: 1404-1413.
- Kikusato, M. *et al.*, 2010, "Application of modular kinetic analysis to mitochondrial oxidative phosphorylation in skeletal muscle of birds exposed to acute heat stress", en *FEBS Letters*, 584: 3143-3148.
- Kikusato, M. y Toyomizu, M., 2013, "Crucial Role of Membrane Potential in Heat Stress-Induced Overproduction of Reactive Oxygen Species in Avian Skeletal Muscle Mitochondria", en *PLoS ONE*, 8(5): e64412.
- Koch, F. *et al.*, 2016, "Metabolic Response to Heat Stress in Late-Pregnant and Early Lactation Dairy Cows: Implications to Liver-Muscle Crosstalk", en *PLoS ONE* 11(8): e0160912.
- Kuhla, B. *et al.*, 2011, "Involvement of skeletal muscle protein, glycogen, and fat metabolism in the adaptation on early lactation of dairy cows", en *J Proteome Res* 10: 4252-4262
- Lamp, O. *et al.*, 2015, "Metabolic Heat Stress Adaption in Transition Cows: Differences in Macronutrient Oxidation between Late-Gestating and Early-Lactating German Holstein Dairy Cows", en *PLoS ONE*, 10(5): e0125264.
- Leu, M. *et al.*, 1977, "Comparison of confinement, shelter and no shelter for finishing yearling steers", en *J. Anim. Sci.*, 44: 7171.

- Liu, Z. *et al.*, 2017, "Heat Stress in Dairy Cattle Alters Lipid Composition of Milk", en *Scientific Reports*, 7(961): 1-10.
- Mahmood, K. *et al.*, 2014, "Synergistic Effects of Toxic Elements on Heat Shock Proteins", en *BioMed Research International*, 4: 1-17.
- McDowell, R. (Ed.), 1989, "Vitamins in Animal Nutrition: Comparative Aspects to Human Nutrition", en *Academic Press, London*, 10-52: 93-131.
- Min, L. *et al.*, 2017, "Metabolic responses and "omics" technologies for elucidating the effects of heat stress in dairy cows", en *International Journal of Biometeorology*, 61(6): 1149-1158.
- Morimoto, I. *et al.*, 1990, "The stress response, function of the proteins, and perspectives", en Morimoto, I. (Ed.), *Stress proteins in biology and medicine*, Cold Spring Harbor, NY, Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Mujahid, A. *et al.*, 2007, "Mitochondrial oxidative damage in chicken skeletal muscle induced by heat stress", en *Jpn. Poult. Sci.*, 44: 439-445.
- Mujahid, A. *et al.*, 2009, "Olive oil-supplemented diet alleviates acute heat stress-induced mitochondrial ROS production in chicken skeletal muscle", en *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 297: R690-R698, 2009.
- Nikkhah, A. *et al.*, 2011, "Chromium improves production and alters metabolism of early lactation cows in summer", en *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95: 81-89.
- NRC (National Research Council), 1981, *Nutrient Requirements of Goats*, National Academy Press, Washington, DC.
- Nteeba, J. *et al.*, 2015, "Heat Stress Alters Ovarian Insulin-Mediated Phosphatidylinositol-3 Kinase and Steroidogenic Signaling in Gilt Ovaries", en *Biology of Reproduction*, 92(6): 1-8.
- Pandey, N. *et al.*, 2012, "Extreme ambiances vis-a-vis endogenous antioxidants of Marwari goat from arid tracts in India", en *ELBA Bioflux*, 4: 29-33.
- Pearce, C. *et al.*, 2013, "The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs", en *J. Anim. Sci.*, 91: 2108-2118.
- Polsky, L. y Keyserlingk, A., 2017, "Effects of heat stress on dairy cattle welfare", en *J. Dairy Sci.*, 100(11): 8645-8657.
- Qian, L. 2004, "Mitochondrial mechanism of heat stress-induced injury in rat cardiomyocyte", en *Cell Stress and Chaperones*, 9(3): 281-293.
- Renaudeau, D. *et al.*, 2012, "Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production", en *Animal*, 6(5): 707-728.

- Rhoads, L. *et al.*, 2009, "Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin", en *Journal of Dairy Science*, 92(5): 1986-1997.
- Roche, E. *et al.*, 2000, "Nutrient toxicity in pancreatic beta-cell dysfunction", en *J Physiol Biochem*, 56(2): 119-128.
- Ronchi, B. *et al.*, 1999, "Distinct and common effects of heat stress and restricted feeding on metabolic status of Holstein heifers", en *Zootecnica e Nutrizione Animale (Italy)*, 25: 11-20.
- Sakatani, M. 2014, "Effects of summer heat stress on domestic animals", en *Japanese Journal of Large Animal Clinics*, 5: 238-246.
- Sanz, M. *et al.*, 2015, "Heat stress increases insulin sensitivity in pigs" en *Physiological Reports*, 3(8): e12478.
- Sejian, V. *et al.*, 2010, "Adaptive capability as indicated by endocrine and biochemical responses of Malpura ewes subjected to combined stresses (thermal and nutritional) under semi-arid tropical environment" en *Int J Biometeorol*, 54(6): 653-661.
- Sengar, S. *et al.*, 2018, "Differential expression of microRNAs associated with thermal stress in Frieswal (Bos taurus x Bos indicus) crossbred dairy cattle", en *Cell Stress Chaperones*, 23(1): 155-170. doi: 10.1007/s12192-017-0833-6.
- St-Pierre, R. *et al.*, 2003, "Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries", en *J Dairy Sci*, 86 (E. Suppl.): E52-E77.
- Streffer, C. 1988, "Aspects of metabolic change after hyperthermia", en *Recent Results Cancer Res*, 107: 7-16.
- Tian, H. *et al.*, 2015, "Identification of Diagnostic Biomarkers and Metabolic Pathway Shifts of Heat-Stressed Lactating Dairy Cows", en *J Proteomics*, 125: 17-28.
- Turk, R. *et al.*, 2015, "The Effect of Seasonal Thermal Stress on Lipid Mobilisation, Antioxidant Status and Reproductive Performance in Dairy Cows", en *Reprod Dom Anim*, 50: 595-603.
- Vincent, B., 2001, "The bioinorganic chemistry of chromium (III)", en *Polyhedron*, 20: 1-26.
- Wheelock, B. *et al.*, 2010, "Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows", en *J. Dairy Sci*, 93: 644-655.

Guía para autores¹

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.

¹ 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 mayo de 2019