

**Martha Lidya Salgado Siclán** maestra y doctora en fitopatología por el Colegio de Postgraduados, y licenciada en biología por la UNAM. Es profesora de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM, cuenta con reconocimiento PRODEP y una amplia experiencia en docencia e investigación en el área de Fitopatología. Actualmente es Coordinadora del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Participa en proyectos de Investigación financiados por la UAEM y Empresa Privada. Es miembro activa de la Sociedad Mexicana de Fitopatología S.A.

**William Gómez Demetrio** es ingeniero agrónomo zootecnista, maestro y doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México, donde labora como Profesor investigador de tiempo completo adscrito al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Forma parte del Cuerpo Académico Consolidado de Procesos Sociales en el Medio Rural, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt, cuenta con el reconocimiento a perfil deseable por parte de la Secretaría de Educación Pública.

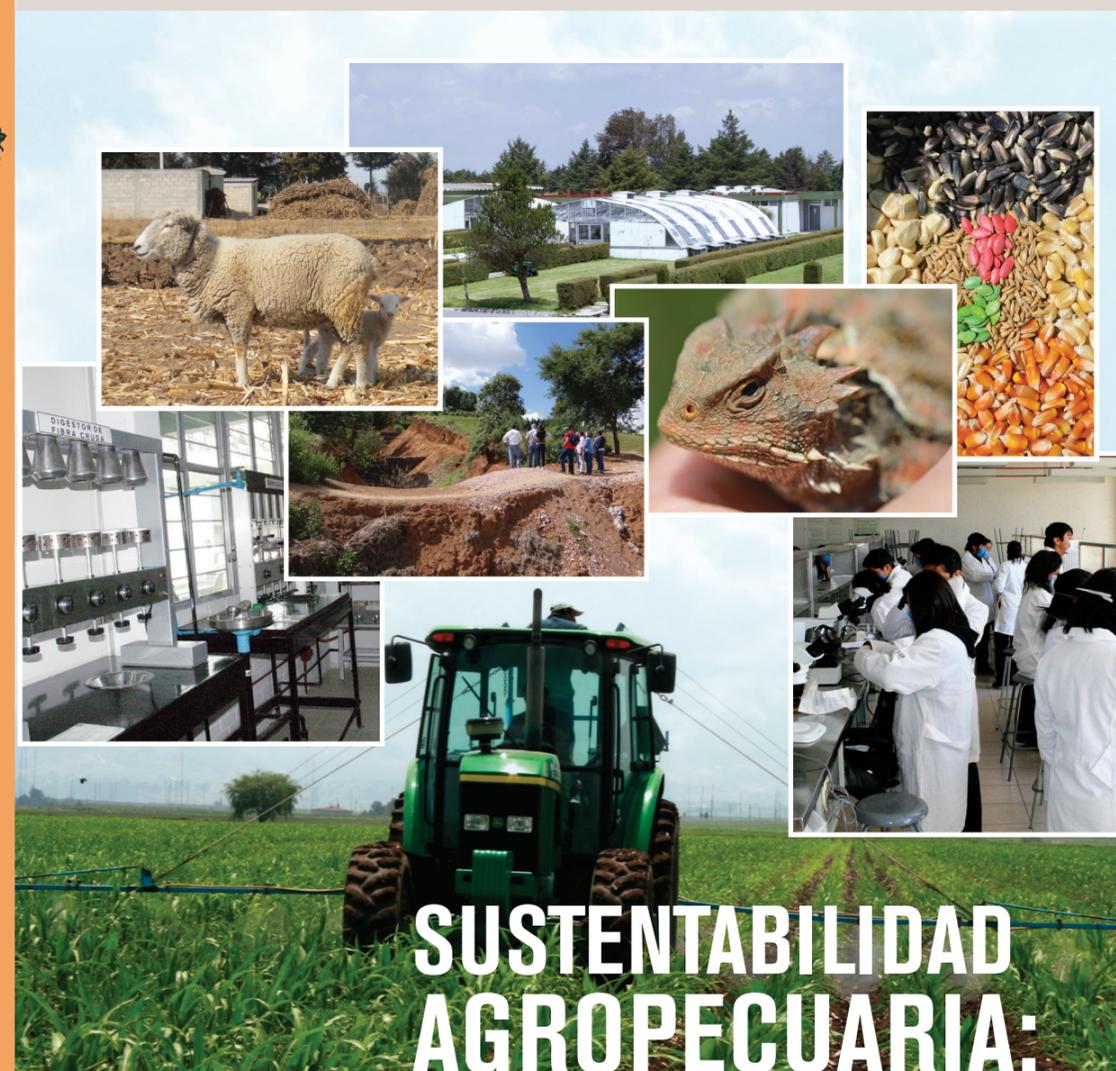
**José Enrique Jaimes Arriaga** Es ingeniero agrónomo fitotecnista por la Universidad Autónoma del Estado de México Desde 2008 es coordinador de planeación de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Es docente en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM, participa en diversos proyectos de investigación ha sido ponente en congresos nacionales e internacionales del área agropecuaria.

*Sustentabilidad agropecuaria: Experiencias de investigación para el desarrollo agropecuario, forestal y rural* aborda una serie de estrategias encaminadas a comprender y mejorar la situación del campo mexicano a través del enfoque de la sustentabilidad.

Los esfuerzos multidisciplinarios se reflejan en diferentes enfoques, metodologías y objetos de estudio, pues en esta obra participaron tres espacios académicos pertenecientes a la DES de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de México: Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Facultad de Ciencias Agrícolas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Cabe destacar la participación de 16 Cuerpos Académicos. Los trabajos presentados son producto de investigaciones, las cuales fueron desarrolladas con diferentes fuentes de financiamiento.



SUSTENTABILIDAD AGROPECUARIA EXPERIENCIAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO, FORESTAL Y RURAL



# SUSTENTABILIDAD AGROPECUARIA:

## EXPERIENCIAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO, FORESTAL Y RURAL

Luis Brunett Pérez, William Gómez Demetrio, Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo, Martha Lidya Salgado Siclán, Enrique Jaimes Arriaga (coordinadores)



**Luis Brunett Pérez** médico veterinario zootecnista por la Universidad Autónoma del Estado de México, maestro en desarrollo rural por la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco y doctor en ciencias veterinarias con especialidad en desarrollo rural sustentable por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de México, en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt, nivel 1 desde 2006. posee perfil PRODEP desde 2009. Miembro del grupo de investigación Seminario Internacional de Sustentabilidad y Socioeconomía de la Cadena Agroalimentaria de los lácteos, con la UNAM, UAM-X y la UAM-I.

**Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo** es médica veterinaria y zootecnista por la Universidad Veracruzana; maestra en ciencias: salud animal por la Universidad Autónoma del Estado de México y doctora en ciencias de la producción y de la salud animal por la Universidad Nacional Autónoma de México. Es líder del Cuerpo Académico Seguridad Alimentaria en Productos Pecuarios. Cuenta con el Reconocimiento PRODEP de forma ininterrumpida desde 2007. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt, nivel I.





## Sustentabilidad agropecuaria



# SUSTENTABILIDAD AGROPECUARIA

Experiencias  
de investigación para  
el desarrollo agropecuario,  
forestal y rural

LUIS BRUNETT PÉREZ  
WILLIAM GÓMEZ DEMETRIO  
ADRIANA DEL CARMEN GUTIÉRREZ CASTILLO  
MARTHA LIDYA SALGADO SICLÁN  
JOSÉ ENRIQUE JAIMES ARRIAGA  
(coordinadores)



---

Sustentabilidad agropecuaria; experiencias de investigación para el desarrollo agropecuario, forestal y rural / Luis Brunett Pérez ... [et al.] .—Ciudad de México : Colofón ; Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México 2017

321 p. ; 16.5 x 23 cm

ISBN: 9786078583012

1. Política pública – Aspectos ambientales 2. Política ambiental 3. Desarrollo sustentable – Aspectos políticos I. Brunett Pérez, Luis, coord. II. Gómez Demetrio, William, coord. III. Gutiérrez Castillo, Adriana del Carmen. coord. IV. Salgado Siclán, Martha Lidya, coord. V. Jaimes Arriaga, José Enrique, coord.

LC: GE170 P64

Dewey: 363.7 P64

---

Primera edición, 2017

Diseño de portada: César Susano

Los coordinadores de la obra y editorial Colofón agradecen a las siguientes personas el material fotográfico donado para la portada del libro: Tec. en Audiovisual: Juan Manuel Hernández Hernández. Adscrito al área de audio visual de la FC Agrícolas • Dr. León Gildardo Velázquez Beltrán. Adscrito a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. • Dr. Francisco Herrera Tapia. Adscrito al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales • Dr. Víctor Ávila Akerberg. Adscrito al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.

DR. © Universidad Autónoma del Estado de México  
Av. Instituto Literario 100 Oriente, Colonia Centro,  
Código Postal 50000, Toluca de Lerdo  
Estado de México  
<http://www.uaemex.mx>

Diseño y cuidado editorial:  
Colofón S.A. de C.V.  
Franz Hals 130,  
Col. Alfonso XIII,  
Delegación Álvaro Obregón, C.P. 01460  
Ciudad de México, 2017.  
[www.colofonedicionesacademicas.com](http://www.colofonedicionesacademicas.com) • [www.paraleer.com](http://www.paraleer.com)

Contacto: [colofonedicionesacademicas@gmail.com](mailto:colofonedicionesacademicas@gmail.com)

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio sin el consentimiento escrito de los titulares de los derechos.

ISBN: 978-607-8563-01-2

Impreso en México • *Printed in Mexico*

El tiraje consta de 300 ejemplares

## ÍNDICE

Agradecimientos.....	13
Presentación .....	15

### INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES

[21]

#### PRÁCTICAS SUSTENTABLES EN UN AGROECOSISTEMA TRADICIONAL DEL ESTADO DE MÉXICO

<i>José Manuel Pérez Sánchez</i> <i>Sergio Moctezuma Pérez</i> .....	23
---	----

#### SISTEMAS AGROFORESTALES DE ALTA MONTAÑA. CASO DE ESTUDIO: NEVADO DE TOLUCA

<i>Ángel Rolando Endara Agramont</i> <i>Gabino Nava Bernal</i> <i>Sergio Franco Maass</i> <i>Julieta Estrada Flores</i> .....	35
--	----

#### LA UTILIZACIÓN DE MUÉRDAGO ENANO (*Arceuthobium globosum*) COMO FORRAJE EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

<i>Guadalupe Brendali Hernández Luna,</i> <i>Ángel Rolando Endara Agramont</i> <i>Manuel González Ronquillo</i> <i>Juana Martínez Hernández</i> <i>Gilberto Vilmar Kozloski</i> <i>Julieta Gertrudis Estrada Flores</i> .....	49
--	----

USO TRADICIONAL Y ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL LAUREL SILVESTRE (*Litsea Gluacescens Kunth*) EN TLAZALA, MUNICIPIO DE ISIDRO FABELA, ESTADO DE MÉXICO. UN ESTUDIO HACIA SU MANEJO SUSTENTABLE

*Víctor Ávila Akerberg*  
*Stephania Alejandre Hernández*  
*Xochipitzahuac Arciniega Silva Sagrario*  
*Pamela Martínez Solares*  
*Erandeni Moreno Ponce*  
*Ana Karen Ramírez Zepeda* ..... 61

APROVECHAMIENTO RECREATIVO DE LOS HONGOS COMESTIBLES SILVESTRES Y SUSTENTABILIDAD. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL CENTRO DE MÉXICO Y EL NORTE DE ESPAÑA

*Humberto Thomé Ortiz*  
*Angélica Espinoza Ortega*  
*Luis Brunett Pérez*..... 75

PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS: HACIA UN INSTRUMENTO DE POLÍTICA PÚBLICA PARA LA SUSTENTABILIDAD AGROPECUARIA EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

*Tizbe Teresa Arteaga Reyes*  
*Carlos Rubén Aguilar Gómez*  
*Francisco Herrera Tapia*  
*Juan Antonio Reyes*..... 91

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

[109]

CONTRIBUCIÓN DE LOS ANIMALES DE TRABAJO A UNIDADES DE PRODUCCIÓN FAMILIAR EN COMUNIDADES CAMPESINAS DE MONTAÑA DEL NORTE DEL ESTADO DE MÉXICO

*León Gildardo Velázquez Beltrán*  
*Carlos Manuel Arriaga Jordán*  
*Arturo Luna Blasio* ..... 111

CONTRIBUCIÓN DE LOS PRODUCTOS PECUARIOS  
A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

<i>Alejandra Donají Solís Méndez</i>	
<i>Trinidad Beltrán León</i>	
<i>Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo</i> .....	123

PRESENCIA DE MICOTOXINAS EN LA LECHE. ASPECTOS  
A CONSIDERAR PARA UNA PRODUCCION SUSTENTABLE

<i>Benjamín Valladares Carranza</i>	
<i>Valente Velázquez Ordóñez</i>	
<i>César Ortega Santana</i>	
<i>Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo</i>	
<i>José Luis Zamora Espinosa</i>	
<i>Luis Salvador Pérez Sotelo</i>	
<i>Ma. Uxúa Alonso Fresán</i>	
<i>Juan Edrei Sánchez Torres</i>	
<i>Octavio Alonso Castelán Ortega</i> .....	141

USO DE JABONES DE CALCIO COMO ALTERNATIVA DE  
SUPLEMENTACIÓN EN RUMIANTES EN ÉPOCAS  
SE SEQUÍA EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

<i>Anabel Romero Dávila</i>	
<i>Camelia Alejandra Herrera Corredor</i>	
<i>Jorge Antonio Calderón Aranda</i>	
<i>Germán Buendía Rodríguez</i>	
<i>Nazario Pescador Salas</i>	
<i>Manuel González Ronquillo</i> .....	155

ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA *IN VITRO* DE LOS FITOEXTRACTOS  
DE *Eucalyptus globulus*, *Aloe vera barbadensis* Y *Citrus aurantifolia*  
EN AISLAMIENTOS DE *Staphylococcus aureus* ORSA/MRSA DE VACAS  
LECHERAS

<i>Valente Velázquez Ordoñez</i>	
<i>Andrea Ramírez Mendiola</i>	
<i>Lucía Delgadillo Ruiz</i>	
<i>Carlos Bedolla Cedeño</i>	
<i>Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo</i>	
<i>Abdel Fattah Zeidan Mohamed Salem</i>	
<i>María Elena Estrada Zúñiga</i>	
<i>José Luis Zamora Espinosa</i>	
<i>Luis Salvador Pérez Sotelo</i>	
<i>Benjamín Valladares Carranza</i> .....	169

EL USO DE PROBIÓTICOS *Saccharomyces cerevisiae* Y TÉ KOMBUCHA  
 SOBRE PARÁMETROS PRODUCTIVOS  
 Y MODULACIÓN DE POBLACIONES DE COLIFORMES  
 EN CONEJOS PARA UNA PRODUCCION ANIMAL SUSTENTABLE

*Luis Salvador Pérez Sotelo*  
*Raúl Cuauhtémoc Fajardo Muñoz*  
*Salvador Lagunas Bernabé*  
*Alejandro De la Cruz Bustamante*  
*Jessica Nury Osorio Martínez*  
*Ada Elia Díaz González Borja*  
*Valente Velázquez Ordoñez*..... 189

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

[211]

LOS CULTIVOS ASOCIADOS  
 Y LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA,  
 RADIACIÓN Y NUTRIMENTOS

*Edgar Jesús Morales Rosales*  
*José Antonio López Sandoval*  
*Carlos Gustavo Martínez Rueda* ..... 213

MANEJO SUSTENTABLE DE PLAGAS DE ALGUNOS  
 CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA  
 EN EL ESTADO DE MÉXICO

*Omar Franco Mora*  
*Álvaro Castañeda Vildózola*  
*Jesús Ricardo Sánchez Pale* ..... 231

*Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum*  
 EN LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE  
 DE *Chrysanthemum* spp. CV POLARIS WHITE

*Martín Rubí Arriaga*  
*Andrés González Huerta*  
*Víctor Olalde Portugal*  
*Delfina de Jesús Pérez López*  
*José Francisco Ramírez Dávila*  
*Francisco Gutiérrez Rodríguez* ..... 247

<p>LOS BIOPLÁSTICOS COMO RECUBRIMIENTOS SUSTENTABLES DE FRUTAS Y HORTALIZAS</p> <p><i>María Dolores Mariezcurrena Berasain</i> <i>Dora Luz Pinzón Martínez</i> <i>Ana Tarín Gutiérrez Ibáñez</i> <i>Enrique Daniel Archundia Velarde</i> <i>Tania Nohemí Ambriz Vidal</i>.....</p>	267
<p>EL ACOMPAÑAMIENTO AGROEMPRESARIAL COMO MOTOR DE DESARROLLO SUSTENTABLE. CASO DE ESTUDIO: DESTILADO DE AGAVE DE LA COMUNIDAD DE SANTA MARÍA ASUNCIÓN, ZUMPAHUACÁN, ESTADO DE MÉXICO</p> <p><i>Antonio Díaz Víquez</i> <i>Jesús Hernández Ávila</i> <i>Amalia Pérez Hernández</i> <i>Pedro Saldívar Iglesias</i> .....</p>	281
<p>SUSTENTABILIDAD SOCIOCULTURAL DE LA CESTERÍA EN TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO, 2005 Y 2015</p> <p><i>Pedro Saldívar Iglesias</i> <i>Graciela Noemí Grenón Cascales</i> <i>Anacleto González Castellanos</i> <i>Francisco Gutiérrez Rodríguez</i> <i>Antonio Díaz Víquez</i> .....</p>	303



## Agradecimientos

Los organismos académicos que integramos la Dependencia de Educación Superior (DES) de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), agradecemos a la Secretaría de Educación Pública (SEP) y a su Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) 2016-2017, los recursos otorgados para la edición y publicación de esta obra, que contribuye a la generación de conocimiento en las ciencias agropecuarias, forestales y rurales, y asimismo, fortalece el trabajo colegiado de los cuerpos académicos de la DES, en beneficio de la sociedad mexiquense y la comunidad universitaria.

### Cuerpos académicos del ICAR

Estudios agroalimentarios  
Producción animal campesina  
Procesos sociales en el medio rural  
Conservación y manejo de recursos naturales

### Cuerpos académicos de la FMVZ

Salud animal  
Producción animal  
Reproducción animal  
Biotecnología animal  
Ciencia e innovación tecnológica pecuaria  
Comportamiento, bienestar y sustentabilidad animal  
Seguridad alimentaria en productos pecuarios  
Biotecnología aplicada, enfermedades emergentes y zoonosis

### Cuerpos académicos de la FCA

Cultivos básicos y hortícolas  
Ciencia y tecnología de los alimentos  
Mejoramiento genético y sanidad vegetal  
Educación agropecuaria y desarrollo rural



## Presentación

Esta obra representa un primer producto del trabajo colegiado realizado por los Cuerpos Académicos (CA) que integran la Dependencia de Educación Superior (DES) de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), integrada por el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) y la Facultad de Ciencias Agrícolas (FCA), con la intención de compartir propuestas, experiencias y reflexiones en torno a la sustentabilidad encaminada a promover el desarrollo agropecuario, forestal y rural del Estado de México.

Se estampa la experiencia de 58 académicos e investigadores de la UAEM afiliados a 14 CA de calidad reconocidos por la Secretaría de Educación Pública (SEP) y dos con registro interno, quienes a través de los años han recopilado y analizado información científica, técnica y docente en el ámbito de la sustentabilidad. También participan estudiantes de licenciatura y posgrado de la DES, además de investigadores de otras instituciones de educación superior (IES).

La selección de temas de este libro da cuenta del trabajo multi y transdisciplinario que cada uno de los organismos que integran la DES de Ciencias Agropecuarias realiza en el desarrollo de sus funciones sustantivas y adjetivas vinculadas a la formación de recursos humanos de calidad. El libro contiene tres grandes apartados en los que se profundiza en temas de sustentabilidad a partir de las experiencias de las líneas de generación y aplicación del conocimiento desarrolladas en el interior de cada CA.

De esta forma, el primer apartado corresponde al ICAR, donde José Manuel Pérez Sánchez y Sergio Moctezuma Pérez nos presentan el capítulo “Prácticas sustentables en un agroecosistema tradicional del Estado de México”, con el cual, desde el punto de vista de la antropología, describen las actividades sustentables que cotidianamente llevan a cabo los campesinos en un agroecosistema de milpa en la región otomí de Lerma, Estado de México, evidenciando con ello cómo

las sociedades campesinas e indígenas hacen posible el desarrollo de cultivos con valor comercial, alimenticio y cultural.

Ángel Rolando Endara Agramont, Gabino Nava Bernal, Sergio Franco Maass y Julieta Gertrudis Estrada Flores, con el trabajo “Sistemas agroforestales (SAF) de Alta Montaña. Caso de estudio: Nevado de Toluca”, analizan la viabilidad de los SAF para promover la conservación del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT). Asimismo, realizan un diagnóstico que identifica las especies y asociaciones de árboles, cultivos y animales que generan beneficios ambientales, sociales y económicos en las comunidades localizadas en el interior de esta gran área de importancia medioambiental.

Guadalupe Brendalí Hernández Luna, Ángel Rolando Endara Agramont, Manuel González Ronquillo, Juana Martínez Hernández, Gilberto Vilmar Kozloski y Julieta Gertrudis Estrada Flores contribuyen con el capítulo “La utilización de muérdago enano (*Arceuthobium globosum*) como forraje en la alimentación de ruminantes” evaluando el comportamiento productivo en ovinos alimentados con diferentes niveles de inclusión de muérdago enano y generando así una alternativa adicional al uso de forrajes convencionales como el rastrojo de maíz y heno de avena en la alimentación animal, al mismo tiempo que promueven el control del nivel del daño de los árboles infestados con esta planta parásita.

Víctor Ávila Akerberg, Stephania Alejandre Hernández, Sagrario Xochipit-zahuac Arciniega Silva, Pamela Martínez Solares, Erandeni Moreno Ponce y Ana Karen Ramírez Zepeda, con el trabajo “Uso tradicional y estado de conservación del laurel silvestre (*Litsea Glaucescens Kunth*) en Tlazala, municipio de Isidro Fabela, Estado de México. Un estudio hacia su manejo sustentable”, documentan el uso tradicional y el estado de conservación del laurel (*Litsea glaucescens*), especie en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, y plantean alternativas para su manejo y conservación.

Por su parte, Humberto Thomé Ortiz, Angélica Espinoza Ortega y Luis Brunnett Pérez, en el capítulo “Aprovechamiento recreativo de los hongos comestibles silvestres y sustentabilidad. Análisis comparativo entre el centro de México y el norte de España”, identifican la contribución del micoturismo a la sustentabilidad en dos escenarios diferenciados, evidenciando su potencial para la conservación ambiental y la regulación del aprovechamiento de los recursos forestales no maderables, así como su importancia económica y social para los territorios donde se realiza esta actividad.

Para cerrar este primer apartado, Tizbe Teresa Arteaga Reyes, Carlos Rubén Aguilar Gómez, Francisco Herrera Tapia y Juan Antonio Reyes González nos presentan el trabajo “Pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH). Hacia un instrumento de política pública para la sustentabilidad agropecuaria en áreas naturales protegidas (ANP)”, donde, a partir del enfoque de gestión territorial

analizan el potencial que tienen los PSAH como instrumento de política pública para el fomento de la sustentabilidad agropecuaria en el APFFNT en el Estado de México y visibilizan la necesidad de conjuntar acciones entre diversas instituciones gubernamentales para incidir en mejores prácticas de manejo, en las actividades agrícolas y en el pastoreo, compatibles con la conservación forestal del territorio.

En el segundo apartado destinado a la FMVZ, León Gildardo Velázquez Beltrán, Carlos Manuel Arriaga Jordán y Arturo Luna Blasio, con su texto “Contribución de los animales de trabajo a unidades de producción familiar en comunidades campesinas de montaña del norte del Estado de México”, describen cómo se favorece el desarrollo sustentable a partir de la incorporación de los animales de trabajo en las actividades agropecuarias como parte de las estrategias productivas de las unidades campesinas.

Alejandra Donají Solís Méndez, Trinidad Beltrán León y Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo, en el capítulo “Contribución de los productos pecuarios a la seguridad alimentaria”, identifican el aporte de éstos a la dieta del mexicano y las condiciones necesarias para contribuir a alcanzar la seguridad alimentaria de manera sustentable. Plantean la estrecha relación entre sustentabilidad y seguridad alimentaria, revisando el consumo y la producción de alimentos en México y vislumbran hacia dónde encaminar los esfuerzos para crear las condiciones de seguridad alimentaria.

El grupo de investigadores formado por Benjamín Valladares Carranza, Valente Velázquez Ordoñez, César Ortega Santana, Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo, José Luis Zamora Espinosa, Luis Salvador Pérez Sotelo, María Uxúa Alonso Fresan, Juan Edrei Sánchez Torres y Octavio Castelán Ortega, con el trabajo “Presencia de micotoxinas en la leche. Aspectos a considerar para una producción sustentable”, analizan y exponen conjuntamente información de las condiciones circunstanciales del cambio climático sobre la calidad de la leche por contaminación de aflatoxinas y sus repercusiones directas e indirectas tanto en salud pública como en la salud animal, y recomiendan realizar controles de calidad en los procesos de producción que inician en la unidad de producción pecuaria y culminan en el consumidor final.

Anabel Romero Dávila, Camelia Alejandra Herrera Corredor, Jorge Antonio Calderón Aranda, Germán Buendía Rodríguez, Nazario Pescador Salas y Manuel González Ronquillo presentan el trabajo “Uso de jabones de calcio como alternativa de suplementación en rumiantes en épocas de sequía en zonas áridas y semiáridas” el cual propone la saponificación de aceites con contenido de ácidos grasos esenciales como una alternativa para evitar la hidrogenación de los lípidos a nivel ruminal, para ser usados como suplementos energéticos durante épocas de sequía de zonas áridas, con la finalidad de tener una producción sustentable de caprinos.

Valente Velázquez Ordoñez, Andrea Ramírez Mendiola, Lucía Delgadillo Ruiz, Carlos Bedolla Cedeño, Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo, Abdel Fattah Zeidan Mohamed Salem, María Elena Estrada Zúñiga, José Luis Zamora Espinosa, Luis Salvador Pérez Sotelo y Benjamín Valladares Carranza, con el aporte sobre “Actividad antimicrobiana *in vitro* de los fitoextractos de *Eucalyptus globulus*, *Aloe vera barbadensis* y *Citrus aurantifolia* en aislamientos de *Staphylococcus aureus*”, presentan la evaluación de dos extractos vegetales sobre la inhibición de cultivos bacterianos de *S. aureus*, cuyos resultados sugieren una potencial actividad antimicrobiana del extracto de *E. globulus* y del *C. aurantifolia* aplicable en la investigación de modelos animales para la prevención de la infección por *S. aureus* en los hatos lecheros y el desarrollo de fitocompuestos con efecto antimicrobiano que contribuyan a una producción más sustentable.

Los investigadores Luis Salvador Pérez Sotelo, Raúl Cuauhtémoc Fajardo Muñoz, Salvador Lagunas Bernabé, Alejandro de la Cruz Bustamante, Jessica Nury Osorio, Ada Elia Díaz González Borja, Valente Velázquez Ordoñez y César Ortega Santana, presentan el capítulo “El uso de probióticos *Saccharomyces cerevisiae* y té kombucha sobre parámetros productivos y modulación de poblaciones de coliformes en conejos para una producción animal sustentable”, en el que proponen el uso de estos probióticos en lugar de antibióticos y demuestran que se puede lograr una producción sustentable al regular la cantidad de coliformes y mejorar la ganancia de peso en animales para abasto.

El tercer apartado, que corresponde a la FCA, comienza con la contribución de Edgar Jesús Morales Rosales, José Antonio López Sandoval y Carlos Gustavo Martínez Rueda sobre “Los cultivos asociados y la eficiencia en el uso del agua, radiación y nutrimentos”, donde describen el beneficio y el potencial de la interacción de especies vegetales como una buena práctica en pro del sistema de producción agrícola y de la sustentabilidad.

Omar Franco Mora, Álvaro Castañeda Vildózola y Jesús Ricardo Sánchez Pale, en el trabajo “Manejo sustentable de plagas de algunos cultivos de importancia económica en el Estado de México”, estudian estrategias ecológicas de bajo impacto para el medio ambiente y de fácil acceso para los productores en el control de plagas, como el uso de hongos antagonistas nativos, insumos biorracionales y biológicos, y barreras físicas como parte del manejo integrado en diversos cultivos.

Por su parte, Martín Rubí Arriaga, Andrés González Huerta, Víctor Olalde Portugal, Delfina de Jesús Pérez López, José Francisco Ramírez Dávila y Francisco Gutiérrez Rodríguez con el capítulo “*Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum* en la producción sustentable de *Chrysanthemum spp.* cv. Polaris White” proponen, como alternativa al uso elevado de fertilizantes químicos, la aplicación de biofertilizantes microbiológicos en la producción de crisantemo, mejo-

rando su calidad y reduciendo la acumulación y la contaminación del suelo y los mantos freáticos.

En el capítulo “Los bioplásticos como recubrimientos sustentables de frutas y hortalizas”, María Dolores Mariezcurrena Berasain, Dora Luz Pinzón Martínez, Ana Tarín Gutiérrez Ibáñez, Enrique Daniel Archundia Velarde y Tania Nohe-mí Ambriz Vidal promueven la utilización de compuestos naturales para incrementar la vida útil y de anaquel de los productos hortofrutícolas, sin afectar la salud del consumidor, lo cual representa una alternativa viable al uso excesivo de los plásticos que contaminan y deterioran el ambiente.

Antonio Díaz Víquez, Jesús Hernández Ávila, Amalia Pérez Hernández y Pedro Saldívar Iglesias en “El acompañamiento agroempresarial como motor de desarrollo sustentable. Caso de estudio: destilado de agave en la comunidad de Santa María Asunción, Zumpahuacán, Estado de México”, describen las diversas actividades que desarrollan los asesores y los productores del destilado, con el fin de obtener ventajas estratégicas en la actividad económica.

Finalmente, Pedro Saldívar Iglesias, Graciela Noemí Grenón Cascales, Anacleto González Castellanos, Francisco Gutiérrez Rodríguez y Antonio Díaz Víquez presentan su texto “Sustentabilidad sociocultural de la cestería en Tenancingo, Estado de México, 2005 y 2015” con el cual documentan la importancia socioeconómica de las artesanías elaboradas a base de recursos forestales no maderables, bajo un enfoque social, cultural y con equidad de género.

Esta obra apeló a un lenguaje llano, con el propósito de que su contenido llegue a personas de las diversas disciplinas afines a las ciencias agropecuarias que se interesen por este tema. Asimismo, pretende ser una obra que coadyuve a crear en nuestros jóvenes una conciencia sustentable, que se comprometa a desarrollar sistemas de producción agropecuaria diferenciados, comprometidos con la protección de la salud del hombre y el ambiente.



# INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES



# Prácticas sustentables en un agroecosistema tradicional del Estado de México

JOSÉ MANUEL PÉREZ SÁNCHEZ<sup>1</sup>  
SERGIO MOCTEZUMA PÉREZ<sup>2</sup>

## Resumen

Los sistemas agrícolas han sido objeto de análisis por su aporte a la sustentabilidad, la alimentación y el manejo de recursos naturales. Las sociedades campesinas e indígenas han desplegado una serie de prácticas agrícolas que hacen posible el desarrollo de cultivos con valor comercial, alimenticio y cultural. Estas prácticas consisten en la preparación del suelo, la siembra, el mantenimiento de humedad, la fertilidad, el control de plagas, la cosecha, el almacenamiento, entre otras, derivadas de la experiencia y el conocimiento que los campesinos han acumulado a lo largo del tiempo. El objetivo de este capítulo es describir las prácticas sustentables que los campesinos llevan a cabo en un agroecosistema tradicional de milpa en la región otomí de Lerma, Estado de México. El trabajo se basa en la investigación cualitativa a partir de una revisión documental sobre el tema y de trabajo etnográfico que incluyó entrevistas a campesinos, descripción de milpas y registro fotográfico. Se consignaron un total de 13 prácticas agrícolas que reflejan el conocimiento y el manejo del ambiente; sólo en una de las prácticas se registró el uso de insumos externos. Se concluye que 12 de 13 prácticas agrícolas que llevan a cabo los campesinos son de tipo sustentable. Por lo anterior, la milpa otomí contribuye a la discusión de la sustentabilidad de los agroecosistemas tradicionales para la producción de alimentos.

## Introducción

En México, la agricultura es una actividad básica de las sociedades campesinas e indígenas, de la que han dependido para subsistir a lo largo del tiempo. En el caso de Mesoamérica, las sociedades antiguas desarrollaron diversos agroecosistemas de acuerdo con características ambientales, sociales y económicas particulares (González, 2011). Actualmente, en el territorio mexicano sobreviven

<sup>1</sup> Facultad de Antropología, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: jmperezs@uaemex.mx.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: smoctezumap@uaemex.mx.

diversos sistemas agrícolas; por ejemplo, las chinampas, las terrazas, los huertos, el cacaotal, el tlacolol, el huamil, pequeños sistemas de riego, entre otros, los cuales no están exentos de los impactos de la modernidad (Martínez y Gándara, 2007; Moreno *et al.*, 2013). Estos sistemas se caracterizan por su alta biodiversidad, por el uso y manejo de recursos naturales (suelo, agua, flora), por su aporte para conservar especies nativas y para captar carbono, así como por su relación con la cosmovisión de la gente, el conocimiento y las prácticas tradicionales, la tecnología agrícola, el manejo y la domesticación de especies y el aporte de productos alimenticios destinados al consumo familiar y a la venta en el mercado (Martínez y Gándara, 2007; Moreno *et al.*, 2013; Moctezuma *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista agroecológico, se ha considerado a los agroecosistemas como sitios de producción agrícola, es decir, como un modelo para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad, lo que incluye una red compleja de entradas y salidas y la interacción entre sus partes (Gliessman, 2002: 17).

Las características básicas de los agroecosistemas son las ecológicas y las socioculturales. Las ecológicas consideran la altitud, el clima, el suelo, el agua, la vegetación, el relieve, los vientos; mientras que las socioculturales constituyen la composición de las unidades domésticas, la organización familiar, la calidad y la cantidad de la fuerza de trabajo familiar disponible, la cohesión familiar, la relación con el mercado, la disponibilidad y el acceso a capital, así como la tecnología agrícola (Gliessman, 2002; González, 2003). Además de estas características, incluyen también la historia de las comunidades rurales, las políticas de agua y tierra, la tenencia de la tierra, la productividad, el crecimiento de la población rural y el trabajo no agrícola.

Las características anteriores se complementan con el llamado conocimiento ecológico tradicional (*traditional ecological knowledge* [TEK]), es decir, el cuerpo acumulativo de conocimientos, prácticas y creencias de las relaciones y las interacciones que mantienen los seres humanos con la naturaleza. Dichos conocimientos se han mantenido a través de procesos adaptativos los cuales se han transmitido culturalmente de generación en generación (Berkes, 1999). El TEK incluye cuatro aspectos: el conocimiento sobre plantas, animales y otros recursos naturales locales; el manejo de la tierra y sus recursos (comprensión de los procesos ecológicos que determinan sus prácticas, técnicas y herramientas); las instituciones sociales, las reglas y los códigos para la organización del trabajo, y los sistemas de creencias o cosmovisión (Berkes, 1999). Las características ecológicas y socioculturales y el conocimiento ecológico tradicional están articulados con otras actividades económicas como la ganadería a pequeña escala, el trabajo industrial y la migración nacional o internacional (González, 2003; Moctezuma, 2010; Pérez, 2014).

A diferencia de la agricultura tradicional, la moderna o convencional recurre a una serie de prácticas para alcanzar la maximización de la producción y de las ganancias: labranza intensiva, monocultivo, irrigación, aplicación de fertilizantes

inorgánicos, control químico de plagas y manipulación genética de los cultivos (Gliessman, 2002: 3). Estas prácticas favorecen la producción a corto plazo, y los efectos de la productividad son la degradación del suelo, el uso excesivo y la pérdida de agua, la contaminación del ambiente, la dependencia de insumos externos, la pérdida de diversidad genética, el menoscabo de la producción agrícola en las comunidades locales y la inequidad global (Gliessman, 2002: 6-11).

Una de las alternativas a la que se ha recurrido en la producción agrícola es la agricultura sostenible (Gliessman, 2002) o “agricultura alternativa” (Altieri y Nicholls, 2000), a la cual la ciencia de la agroecología aporta los conocimientos y las metodologías indispensables para desarrollar una agricultura ambientalmente adecuada, altamente productiva y económicamente viable. De acuerdo con Gliessman (2002: 13), la agroecología se define como “la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles”. Por medio de la agroecología es posible determinar si una práctica agrícola en particular, un insumo o su manejo, son sostenibles.

Las características inherentes de la agricultura sostenible, de acuerdo con Gliessman (2002: 13) son las siguientes: 1) tener un mínimo efecto negativo en el ambiente, no liberar sustancias tóxicas o dañinas a la atmósfera y al agua superficial o del subsuelo; 2) preservar y reconstruir la fertilidad del suelo, prevenir la erosión y mantener el suelo; 3) usar agua de manera que se permita la recarga de acuíferos; 4) hacer uso de los recursos al interior del agroecosistema, remplazando insumos externos, llevar a cabo una adecuada conservación y poseer amplio conocimiento ecológico; 5) valorar y conservar la diversidad biológica en paisajes silvestres y domesticados, y 6) garantizar la equidad en el acceso a las prácticas agrícolas apropiadas, al conocimiento y a la tecnología y el control local de los recursos agrícolas.

La agricultura sostenible también persigue diferentes objetivos, como la producción estable y eficiente de recursos productivos, la seguridad y la autosuficiencia alimentaria, el uso de prácticas agroecológicas o tradicionales de manejo, la preservación de la cultura local y de la pequeña propiedad, la asistencia a los más pobres a través de un proceso de autogestión, un alto nivel de participación de la comunidad en la decisión de su propio desarrollo agrícola, y la conservación y la regeneración de los recursos naturales (Altieri y Nicholls, 2002: 21-22).

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en la zona otomí de Lerma, en el Estado de México, especialmente en la comunidad de La Concepción Xochicuautla, la cual se asienta en las estribaciones de la Sierra de Las Cruces. La investigación cualitativa tiene como base este estudio, para el cual se recurrió a la revisión documental del fe-

nómeno agrícola y la sostenibilidad. El trabajo de campo consistió en recorridos en el área de estudio, específicamente en La Concepción Xochicuatla. En los recorridos de campo se tomó en cuenta el paisaje agrícola, los tipos de cultivos y la vegetación.

Se prestó especial atención a la tecnología de la producción, específicamente al calendario agrícola y a las prácticas agrícolas. De estas últimas se consideraron 13 prácticas de acuerdo con Mariaca (1997): selección de semillas, preparación del suelo, siembra, mantenimiento de humedad, conservación de fertilidad, control de competencia, control de enfermedades, plagas y depredadores, cosecha y transporte de productos, almacenamiento, ceremonias, mejoramiento de implementos, mejoramiento de semillas, prácticas particulares a determinadas especies.

## Resultados y discusión

De acuerdo con Marica (1997: 133) las prácticas agrícolas inciden sobre los fenómenos que afectan el comportamiento y el desarrollo de la planta cultivada, es decir, llevan a cabo las condiciones aptas para obtener el producto deseado. En este apartado se retoman las prácticas agrícolas que describe R. Mariaca y se relacionan con las que realizan los campesinos de La Concepción Xochicuatla, Lerma.

### *Selección de semillas*

Se refiere a los criterios que emplean los campesinos para seleccionar las semillas más adecuadas, que en este caso son, por ejemplo, tamaño, sabor, color, olor, significado religioso y plasticidad genética. De una planta “madre” o progenitora se buscan los propágulos capaces de reproducir las características de dicha planta progenitora. Las formas que más se utilizan para seleccionar semillas toman en cuenta las características de la planta madre. O del órgano de interés, como el fruto, la semilla, la flor, el tallo aéreo y la raíz.

En la milpa otomí de La Concepción Xochicuatla, los campesinos tienen determinadas preferencias para la selección de las mazorcas de las cuales obtendrán las semillas, las que, a su vez, se relacionan con determinadas características físicas de la planta y con el gusto del campesino por determinado tipo de maíz. De la cosecha anterior se seleccionan las mazorcas “más grandes”, de donde se obtienen las semillas “más brillosas y grandes”; esto es importante porque este tipo de semillas tendrán “mejor crecimiento” durante los primeros meses del ciclo agrícola. El tipo de maíz del que seleccionan las semillas es criollo, blanco y azul.

### *Preparación del suelo*

La principal función de esta práctica es hacer friable el suelo; se realiza antes de la siembra y se lleva a cabo mediante dos formas: la primera, sin remoción directa del suelo, y la segunda, con remoción del suelo. La primera se realiza con quema, coberteras vegetales, chapeo o roza de vegetación secundaria; la segunda, con tracción humana, animal y mecánica.

En el caso de Xochicuautla, la preparación del suelo se realiza en enero con la limpieza del terreno, que consiste en quitar la basura y las ramas secas de la cosecha anterior. Para preparar el suelo que se cultivará, se realiza el *barbecho*, el cual consiste en “aflojar la tierra de la superficie del terreno con yunta en forma vertical”; posteriormente se realiza la *segunda*; es decir, si el barbecho se lleva a cabo en forma vertical, la segunda se hace en forma horizontal. De esta forma hay más remoción del suelo para cultivar.

### *Siembra*

Es la actividad que consiste en proporcionar a los propágulos las condiciones necesarias de profundidad, humedad, fertilidad, densidad y distribución para su buena germinación y para el desarrollo de la plántula. La semilla y las partes vegetativas (estolones, tallos aéreos, ramas) se emplean para la siembra. Las diferentes formas de establecer la siembra son: mata, al voleo, chorrillo, secuencia, en asociaciones, entre otras. Entre los otomíes de Lerma, la siembra se inicia con el acondicionamiento de los surcos, para lo cual se utiliza el azadón, la yunta o el tractor; los campesinos dejan una distancia entre surcos de un metro. Las semillas que emplean son de maíz criollo, de las variedades blanco y azul. Para depositar las semillas en el suelo se emplea la coa o el azadón, para realizar un orificio en el que se introducen entre cinco y seis semillas de maíz a una profundidad de 10 centímetros y a una distancia de 60 centímetros. La siembra puede ser de maíz, o asociaciones de maíz y frijol, maíz y calabaza, maíz y haba, y se realiza a mediados de marzo.

### *Mantenimiento de la humedad*

Entre las prácticas para proveer y conservar la humedad para el adecuado desarrollo de la planta cultivada se encuentran: el “arroke”, que es una estrategia para contrarrestar las heladas tempranas que se presentan antes de finalizar el ciclo agrícola. También se recurre al rastreo del suelo, que consiste en romper la superficie, con lo cual se evita que el agua que ha captado el subsuelo se evapore, por lo que se puede adelantar la siembra uno o dos meses para aprovechar la humedad y asegurar los cultivos sin esperar las lluvias de mayo o junio. Estas prácticas son similares en Lerma, donde los campesinos con el *barbecho* y la *se-*

*gunda* a principios de febrero tratan de proporcionar y conservar la humedad al suelo. De esta forma se propicia una adecuada germinación de las semillas.

### *Fertilidad*

Con el fin de asegurar la fertilidad de las plantas se realizan diferentes prácticas que garantizan las condiciones nutrimentales convenientes para su adecuado desarrollo. Los campesinos recurren a varias opciones dependiendo de su capacidad económica para adquirir los productos que utilizarán y la cantidad de tierra disponible. Las prácticas que se han propuesto para asegurar la fertilidad son las siguientes: *a)* recuperación natural de la fertilidad: se refiere al periodo de descanso que se le da a la tierra en espera de una regeneración de la vegetación secundaria para que aporte materia orgánica (hojarasca) al suelo; *b)* aplicación de abonos orgánicos que incorporan nutrimentos de origen animal, abonan el suelo, mejoran su textura y estimulan la microbiota edáfica, y no causan daño al suelo; *c)* aplicación de abonos inorgánicos: se utilizan sustancias como nitrógeno, fósforo y potasio, aunque suelen causar problemas de contaminación del agua subterránea, y *d)* aplicación de promotores de fertilidad o del crecimiento: consisten en cepas de microorganismos para estimular los efectos simbióticos de fijadores de nitrógeno o micorrízicos, así como en hormonas estimuladoras de crecimiento para alguna función específica, como la floración o la fructificación.

En Lerma, la práctica para asegurar la fertilidad que realizan los campesinos es de tres tipos, de acuerdo con la clasificación del párrafo anterior: 1) los campesinos dejan que el terreno se recupere de manera natural el terreno después de la cosecha y quitan el rastrojo; el suelo entra en periodo de descanso durante el cual crece la vegetación secundaria; las raíces y las hojas de la caña de maíz se dejan pudrir y sirven como materia orgánica; 2) se aplican abonos orgánicos, principalmente estiércol de caballo o de borrego que se coloca a mano en cada mata de maíz; otra práctica consiste en trozar la hierba silvestre para cubrirla con tierra para que se descomponga, lo cual aporta materia orgánica al suelo, y 3) se aplican abonos inorgánicos como el nitrógeno (urea) y el fósforo (18-46),<sup>3</sup> que se colocan a mano en cada planta de maíz. Los campesinos combinan el fertilizante urea y 18-46 para obtener una mezcla con las dos sustancias y lo aplican a mano a las plantas.

### *Control de competencia*

Esta es una práctica a la que los campesinos le dedican tiempo y esfuerzo. Se consideran dos tipos: intraespecífica, es decir, cuando las plantas compiten entre sí, e interespecífica, generada por especies diferentes a la cultivada. El con-

<sup>3</sup> Este producto tiene 18 unidades de nitrógeno y 46 de fósforo.

trol interespecífico se lleva a cabo de tres formas: químico, por medio de la aplicación de compuestos no orgánicos en el terreno o en la vegetación; manual o mecánico, por medio del uso de las manos y el arranque de arvenses o mediante instrumentos simples o complejos movidos por energía humana, animal o fósil (en los dos casos el control se realiza por medio del corte de las estructuras aéreas [ramas y hojas] de las arvenses o la remoción total de la planta mediante su desentierre y posterior exposición), y vegetal. Este último es el menos utilizado, ya que se requiere una especie capaz de cubrir y matar a las arvenses sin dañar al cultivo. A pesar de ser la opción menos utilizada, hay casos en que se han empleado coberteras asociadas —leguminosas—; por ejemplo, nescafé, frijol terciopelo (*Stizolobium*), frijolillo (*Canavalia*), cascabelillo (*Crotalaria*), entre otros.

En Xochicuautila, los campesinos recurren a un tipo de control de competencia interespecífico, según R. Mariaca: el manual o mecánico donde los campesinos emplean el azadón para trozar los tallos de las arvenses de mortaza, nabo, sho o calabacilla. Estas plantas se cubren con tierra o se colocan a orillas del terreno. Dicha actividad se realiza uno o dos meses después de la siembra con el fin de que el maíz tenga un adecuado crecimiento.

### *Control de plagas y depredadores*

Esta práctica consiste en proteger la planta de enfermedades patógenas, de insectos y depredadores mayores como aves y mamíferos, en el momento de maduración en el caso del maíz, para lo cual se recurre a control químico, manual o agroquímico. En Xochicuautila, los campesinos recurren a diferentes tipos de control de plagas y depredadores; por ejemplo, para controlar el gusano conocido como *gallina ciega* que afecta a la semilla del maíz, la gente emplea hidróxido de calcio (cal hidratada), el cual se esparce manualmente sobre el suelo que se cultiva. En el caso de las aves, los campesinos elaboran “espantapájaros” con ramas secas sobre las cuales amarran bolsas de plástico de diferente color y estacan en los surcos o los arbustos a orillas del terreno y con el efecto del viento ahuyenta a las aves. Otra práctica consiste en extender una cinta de audiocasete a lo largo del campo de cultivo, la cual se sujeta a las plantas de maíz y con el efecto del viento ahuyenta a las aves. La presencia de conejo silvestre y ardilla se controla con armas de fuego (escopetas) que algunos campesinos poseen

### *Cosecha*

Mariaca Méndez (1994), de acuerdo con Hernández Xolocotzi, considera diferentes tipos de cosecha: durante la fase de alargamiento de la planta, durante la emergencia de la inflorescencia masculina, en la fase lechosa del jilote, en la fase masosa de la mazorca, en la fase madura y seca del grano, en la fase de rotura-

ción del surco y en el desgrane del maíz. Los campesinos de Xochicuautla recurren a tres tipos de cosecha: la primera es la fase lechosa del jilote, cuando la planta de maíz se cosecha para masticarla (caña); la segunda es la fase masosa de la mazorca, cuando se cosecha la mazorca para consumirla hervida en forma de esquites o forraje para animales domésticos; la tercera es la fase madura y seca del grano, cuando se pizca la mazorca de maíz. Los campesinos utilizan una punta de metal llamada *pizcador* para obtener la mazorca de maíz, la cual se deposita en costales de ixtle de aproximadamente 50 kilogramos.

### *Almacenamiento*

Es la práctica de conservar en buen estado el maíz durante el mayor tiempo posible. En Xochicuautla el almacenamiento se lleva a cabo en la casa del campesino. Previamente al almacenamiento, las mazorcas se colocan en el patio para ser limpiadas, quitándoles las hojas y el “cabello de elote” (estigmas), y secándolas para evitar la pudrición del grano. Una vez limpias, las mazorcas se colocan en un granero especial conocido localmente como *sincolote*, construido con madera en forma cuadrangular. En el transcurso del año se dispone de las mazorcas para desgranarlas y preparar tortillas para consumo alimenticio.

### *Ceremonias agrícolas*

Existen diferentes ceremonias —como las de petición, súplica o agradecimiento— a lo largo del año que reflejan el significado de la vida de la gente, su cosmovisión, su conocimiento y sus prácticas rituales, las cuales suelen estar ligadas a la religión y el ambiente. Una de las ceremonias que se realizan en Xochicuautla y otras comunidades vecinas tiene lugar el 2 de febrero, “La Candelaria”, durante la cual se bendicen en el templo católico las semillas que se van a sembrar. Dicha ceremonia está en proceso de practicarse sólo por algunos campesinos debido a los cambios internos y externos que influyen en la vida de las familias campesinas y de las comunidades. Sin embargo, hay otras prácticas familiares de petición, cuando hay sequía o las lluvias se retrasan, en las cuales los campesinos realizan rezos y queman incienso para pedir a Dios la lluvia, con el objetivo de que las plantas de maíz puedan tener un adecuado desarrollo.

### *Mejoramiento de implementos*

Los campesinos cuentan con una gran diversidad de implementos agrícola, algunos de los cuales han innovado. Los campesinos de Xochicuautla utilizan arado, pala, azadón, bieldo, hoja de metal para pizcar, molino para triturar rastrojo, sembradora, machete, entre otros. Cuando se deteriora una herramienta

como el azadón o la pala compran una nueva en los mercados regionales. En el caso de deterioro del timón del arado, se utiliza la madera del tejocote y se construye a base de hacha y machete; esa madera resiste más al clima. Cuando la coa se deteriora, se compra o se construye una nueva con madera de encino.

La agricultura tradicional sigue siendo importante porque a través de ella se generan diversos productos alimenticios; para lograr lo anterior los campesinos realizan diversas prácticas agrícolas, a partir de las cuales se pueden considerar los aspectos de sostenibilidad. De acuerdo con Gliessman (2002), la producción de alimentos en sistemas tradicionales utiliza formas más enfocadas a la sostenibilidad a largo plazo que a la maximización del rendimiento y las ganancias. A lo largo del tiempo la agricultura de Xochicuatla se ha practicado y no ha estado exenta de los impactos internos y externos a la comunidad. A pesar de lo anterior, las prácticas que se han descrito muestran ciertas formas de sostenibilidad.

Según Gliessman (2002), las 13 características de los agroecosistemas tradicionales que los hacen sostenibles y que se relacionan con las prácticas agrícolas descritas en la milpa de Xochicuatla son las siguientes: no dependen de insumos externos, hacen uso de recursos renovables disponibles localmente, enfatizan el reciclaje de nutrimentos, tienen efectos positivos o negativos mínimos en el ambiente, están adaptados a condiciones del ambiente local, aprovechan las variaciones microambientales, maximizan rendimientos sin sacrificar la capacidad productiva a largo plazo, mantienen la diversidad espacial y temporal, conservan la diversidad biológica y cultural, usan variedades de cultivo local e incorporan plantas y animales silvestres, usan la producción para satisfacer las necesidades locales, son relativamente independientes de factores económicos externos, y están contruidos sobre el conocimiento y la cultura de los campesinos.

De acuerdo con los resultados obtenidos y las características que Gliessman reporta en torno de los agroecosistemas, algunas características de tipo sostenible no se cumplen en su totalidad en la milpa de Xochicuatla. Los campesinos adquieren fertilizantes químicos que aplican para un adecuado crecimiento de la planta de maíz, pero, por otra parte, también recurren a fertilizantes orgánicos (estiércol), por lo cual consideramos que hay una combinación de insumos externos que se aplican en la milpa. A pesar de lo anterior, la milpa de Xochicuatla tiene gran potencial sostenible, como la biodiversidad y los policultivos.

Una de las características que se consideran en los sistemas tradicionales es la gran diversidad vegetal ya sea derivada de policultivos o por agroforestería (Altieri y Nicholls, 2000). En Xochicuatla las prácticas que realizan los campesinos no sólo se enfocan al cultivo de maíz; el policultivo es una práctica importante para la producción de alimentos, entre los cuales destacan: calabaza, haba, malva y quelite silvestre. Por ejemplo, se cultivan tres tipos de maíz: blanco, azul y cacahuacintle para autoconsumo. La milpa no sólo incluye los cultivos; también los campesinos conservan árboles frutales y maderables. En esta investiga-

ción se registró un total de siete árboles frutales (capulín, tejocote, ciruelo, durazno, manzana, chabacano y pera) y un fruto silvestre (zarzamora); entre las especies maderables están el encino, el ocote y el tepozán.

Martínez y Gándara (2007) consideran que la agricultura productiva y redituable con bases de sustentabilidad todavía es una ilusión, aunque es posible si se basa en el acervo milenario de la agricultura tradicional y bajo el enfoque de la agroecología, como lo proponen Gliessman (2002) y Altieri y Nicholls (2000). Estas características se complementan con el conocimiento ecológico tradicional que los campesinos han desarrollado, y que, en el caso de las prácticas agrícolas, reflejan el conocimiento que han acumulado durante generaciones para el cuidado, conservación y obtención de productos alimenticios.

## Conclusiones

Los agroecosistemas tradicionales están vinculados a las características del ambiente local o regional. Consideramos que un ejemplo de esta relación se da a través de las prácticas agrícolas que los campesinos llevan a cabo para un adecuado crecimiento de las plantas y una eficaz obtención de productos con fines alimenticios. Mediante las prácticas agrícolas es posible analizar una parte de la sustentabilidad de los sistemas, toda vez que han sido descritas y validadas por la literatura científica. Lo anterior permite contrastarlas con las prácticas que acontecen en la actualidad en los agroecosistemas tradicionales. No es fácil hacer una valoración general de la sostenibilidad en este tipo de agroecosistemas debido a la complejidad que está implícita en ellos.

Consideramos que los agroecosistemas tradicionales, como el expuesto, están en proceso de reconfiguración ambiental, agronómica y sociocultural, es decir, combinan prácticas de tipo sostenible con prácticas de la agricultura convencional, como la de no permitir que la tierra descansa para que recupere de manera natural los nutrientes básicos. En la agricultura convencional predominan aspectos de fertilidad del suelo, control de plagas con productos inorgánicos y conservación de germoplasma, que se relaciona con elementos sociales y culturales en proceso de ajuste interno y externo a la comunidad local.

## Bibliografía

- Altieri, M., y C. Nicholls (2000), *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*, PNUMA, México.
- Berkes, Friket (1999), *Sacred Ecology. Traditional Ecological Knowledge and Resource Management*, Taylor and Francis, EUA.

- Gliessman, Stephen R. (2002), *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*, CATIE, Costa Rica, 359 pp.
- González Jácome, A. (2003), *Cultura y agricultura: transformaciones en el agro mexicano*, Universidad Iberoamericana, México, 361 pp.
- (2011), *Historias varias. Un viaje en el tiempo con los agricultores mexicanos*, Universidad Iberoamericana, México, 531 pp.
- Mariaca Méndez, R. (1994), *¿Qué es la agricultura? Bajo una perspectiva xolotziana*, Universidad Autónoma del Estado de México/Universidad Autónoma Chapingo, México, 277 pp.
- Martínez Saldaña, T., y L. Gándara Mendoza (2007), “La agricultura sustentable: una opción de desarrollo para una dimensión social de la agricultura”, en A. González, S. del Amo y F. Gurri (coords.), *Los nuevos caminos de la agricultura: procesos de conversión y perspectivas*, Universidad Iberoamericana/Plaza y Valdés, México, pp. 147-160.
- Moreno Calles, A. I., V. M. Toledo y A. Casas (2013), “Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural”, *Botanical Science* 91: 375-398.
- Moctezuma Pérez, S. (2010), “Una aproximación al sistema agrícola de huertos desde la antropología”, *Ciencia y Sociedad* 35: 74-96.
- , S., J. M. Pérez Sánchez y M. G. Rivera Herrejón (2015), “Aportes alimenticios de los agroecosistemas tradicionales en el México rural”, en Silvia Padilla Loredo (coord.), *La crisis alimentaria y la salud en México*, Castellanos Editores/UAEM, Toluca, pp. 83-100.
- Pérez Sánchez, J. M. (2014), *Agricultura de terrazas en Tlaxcala. La Caridad Cuaxonacayo*, Gobierno del Estado de Tlaxcala, México, 139 pp.



# Sistemas agroforestales de alta montaña. Caso de estudio: Nevado de Toluca

ANGEL ROLANDO ENDARA AGRAMONT,<sup>1</sup>  
GABINO NAVA BERNAL,  
SERGIO FRANCO MAASS  
JULIETA ESTRADA FLORES

## Resumen

Los sistemas agroforestales (SAF) pueden representar una importante alternativa para mejorar las condiciones de vida de la población local al tiempo que se mejora la conservación del entorno natural en los ecosistemas de alta montaña. El Nevado de Toluca es una importante área natural protegida de México, social y ambientalmente muy compleja. Los ecosistemas de alta montaña, otrora ocupados por extensos bosques, se encuentran seriamente intervenidos en condiciones agresivas con el ambiente. Los recursos forestales, maderables y no maderables, son extraídos de forma descontrolada y las zonas de cultivo se encuentran sujetas a malas prácticas agrícolas. A efecto de analizar la viabilidad de los SAF para promover la conservación del Nevado de Toluca se realizó un diagnóstico a través del método participativo (recorridos de campo y entrevistas estructuradas enfocados en la identificación de especies de árboles, cultivos y animales, los cuales se seleccionaron de acuerdo con los beneficios ambientales, sociales y económicos). Esto permitió identificar 12 comunidades con la evidencia visual de los SAF que aprovechan la presencia de siete especies de árboles silvestres, cuatro especies de plantas útiles introducidas y ocho cultivos. También se identificaron aquellos sistemas en los que se practican las actividades pecuarias (ovinos, bovinos, caprinos, equinos). La información obtenida permitió generar una matriz de beneficios ecológicos y socioeconómicos e identificar tres sistemas bien diferenciados de SAF en función de los pisos altitudinales de la alta montaña. Los SAF identificados en la región pueden servir como base para promover la conservación de la montaña; sin embargo, es preciso mejorarlos con base en un sistema de monitoreo que incluya indicadores ambientales, sociales y económicos y que considere el conocimiento local, la capacidad agrocológica

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C. P. 50090. Tel. (722) 2965552. Correo electrónico: arendaraa@uaemex.mx.

y de carga animal del territorio, y el manejo integrado de recursos forestales, maderables y no maderables.

*Palabras clave:* sistemas agroforestales (SAF), ecosistemas de alta montaña, Nevado de Toluca.

## Introducción

Los ecosistemas de alta montaña en México se distribuyen a lo largo del sistema volcánico transmexicano, donde el efecto de la altitud y su vínculo con el clima es su característica más distintiva. En las grandes altitudes la temperatura desciende, permitiendo en algunos casos zonas de nieve perpetua en las cimas de las montañas (Tamayo, 1990).

Estos ecosistemas en México están asociados a las altas montañas y se caracterizan por la ocurrencia de fenómenos glaciares hasta los 3 000 msnm. Dichas formaciones se encuentran establecidos en las faldas de diversos edificios volcánicos: Pico de Orizaba (5 610 msnm), Popocatepetl (5 465 msnm), Iztacihuatl (5 230 msnm), Nevado de Toluca (4 690 msnm), Sierra Negra (4 585 msnm), Malinche (4 430 msnm), Cofre de Perote (4 220 msnm), Monte Tláloc (4 125 msnm), Telapón (4 065 msnm), Ajusco (3 930 msnm) y Cerro Papayo (3 640 msnm) (Montero, 2002).

Desde el punto de vista ecológico, los ecosistemas de alta montaña presentan una baja diversidad de especies arbóreas con ritmos de crecimiento vegetal lento. Las especies arbóreas dominantes más significativas son: *Pinus hartwegii*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *P. montezumae*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis* (Endara, 2010). Estas tres últimas se distribuyen en las partes bajas de los volcanes, hacia el límite inferior altitudinal de la alta montaña (3 000 msnm).

Pese a la enorme relevancia de los ecosistemas de alta montaña como reservorios de biodiversidad y como proveedores de servicios ambientales, y aunque muchos de estos ecosistemas se encuentran en territorios bajo algún régimen de protección ambiental, su estado de conservación se encuentra seriamente amenazado por la creciente presión antrópica regional. Ante la dificultad de proteger estos espacios naturales se ha planteado la posibilidad de adoptar modelos que tengan un desarrollo armónico entre los aspectos sociales, ambientales y económicos. Tal es el caso de los sistemas agroforestales (SAF), que tratan en definitiva de incrementar el ingreso neto y mejorar las condiciones de vida familiar del pequeño campesino al tiempo que protege y mejora el entorno natural (Murgueitio *et al.*, 2006). Los SAF mantienen el equilibrio en la biodiversidad y la dinámica del suelo, lo que redundará en un hábitat donde la biodiversidad puede vivir y reproducirse (Calles *et al.*, 2011).

Los SAF de la alta montaña incluyen los sistemas silvopastoriles (ssp) y los sistemas silvosgrícolas (ssa). De acuerdo con Russo (2015), los ssp pueden tener un enfoque forestal (con pastoreo en plantaciones, bosques naturales o huertos) o ser de tipo eminentemente ganadero (por ejemplo, a partir de silvopasturas o sistemas silvopastoriles intensivos). En el caso de los ecosistemas de alta montaña prevalece el enfoque mixto de pastoreo en bosques naturales con un manejo silvoagrícola controlado. En términos de practicidad las especies arbóreas presentes en el ecosistema constituirían la base de dichos sistemas agroforestales (SAF), haciendo énfasis en primera instancia en la producción de forrajes tales como: avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Para la incorporación de sistemas silvoagrícolas es necesario incorporar cultivos tales como: papa (*Solanum tuberosum*), haba (*Vicia faba*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), chícharo (*Pisum sativum*), así como algunas menos conocidos como papa de agua (*Oxalis tuberosa*).

La implementación de SAF para el manejo de tierras de ladera implica una compleja selección de especies, tanto en términos biológicos como ambientales. Desde una perspectiva ecológica, los SAF ofrecen un control de la erosión gracias a la mezcla de especies de árboles que pueden contribuir a los objetivos de la conservación. En términos socioeconómicos pueden influir de manera exitosa a través del incremento de la productividad y complementando los ingresos de los agricultores con la venta de frutas, frutas secas, leña y madera, mitigando así las deficiencias de estos recursos (Jun *et al.*, 2015).

Sin embargo, no existe una forma simple y práctica para identificar los intercambios sociales y ambientales en la selección de especies apropiadas para el establecimiento de los SAF. Resulta muy difícil generalizar los intereses en estos ecosistemas de alta montaña, por lo que se hace necesario tomar en cuenta la importancia del uso de la tierra que permita cumplir con las necesidades de las comunidades que dependen de estos ecosistemas.

Con la finalidad de analizar la viabilidad de implementar un SAF en los ecosistemas de alta montaña se planteó como objetivo central identificar los principales sistemas agroforestales de alta montaña en el Nevado de Toluca.

## Materiales y métodos

### Zona de estudio

El área de estudio es el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), cuyo límite inferior es la cota 3 000 msnm, que se encuentra entre los municipios Zinacantepec, Villa Guerrero, Texcaltitlan, Temascaltepec, Amanalco, Villa Victoria, Almoloya de Juárez, Toluca, Calimaya, Coatepec de Harinas y Tenango del Valle (figura 1) (Vargas, 1997).

El Nevado de Toluca se caracteriza por su aptitud forestal y por su baja productividad agrícola. Los climas frío y semifrío permiten el desarrollo de bosques de

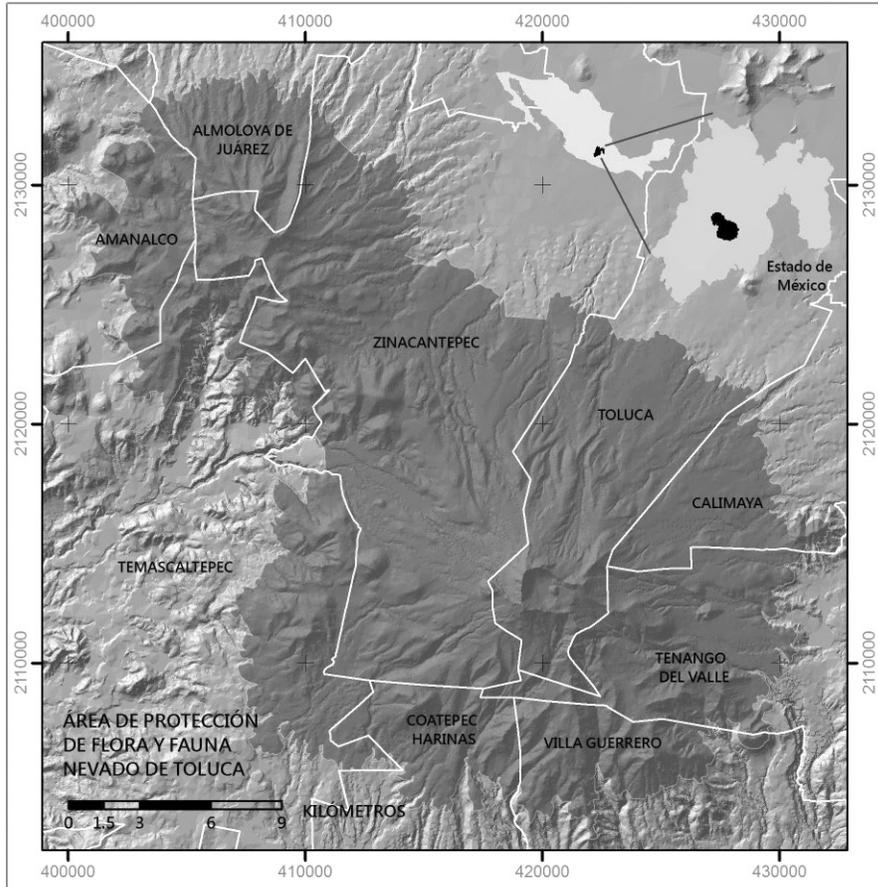


FIGURA 1. Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

coníferas, principalmente de pino y oyamel. En este contexto el crecimiento de las localidades ha guardado una fuerte dependencia con la extracción de recursos naturales y la apertura de zonas de pastoreo (Anastacio-Martínez *et al.*, 2014). El poblamiento del Nevado de Toluca se basó en el establecimiento de rancharías dedicadas al pastoreo extensivo de ganado bovino que, a lo largo de una centuria, transitaron lentamente hasta constituirse en comunidades agrícolas.

La presencia humana en el Nevado de Toluca se caracteriza por la extracción de recursos forestales no maderables, entre los que destacan la perlilla y los hongos silvestres comestibles. Cualquier intento de desarrollar SAF en esta región, por tanto, debe considerar el adecuado manejo de estos recursos.

La perlilla (*Symphoricarpos microphyllus*) es un recurso forestal no maderable que se desarrolla en bosque de oyamel a altitudes que oscilan entre 2700 y 3500 msnm y constituye una de las principales fuentes de ingresos para algunas comunidades del Nevado de Toluca (Anastacio *et al.*, 2015). Aunque su manejo en plantaciones se encuentra ampliamente estudiado (Mendoza *et al.*, 2012), su extracción está ocasionando la perturbación de los ecosistemas y conflictos sociales entre los propietarios y usuarios de los terrenos de bienes comunales.

En el Nevado de Toluca se han registrado 77 especies de hongos comestibles silvestres. Algunas de estas especies se consideran con alto potencial de cultivo, por ser saprobias y apreciadas localmente para autoconsumo, como *Psathyrella spadicea* (clavo de oyamel), *Floccularia* aff. *luteovirens* (hongo de yema), *Clitocybe squamulosa* (tejamanilero) y *Flammulina mexicana* (hongo de jara) (Franco *et al.*, 2012).

### Diagnóstico

El diagnóstico se realizó a través del método participativo (recorridos de campo y entrevistas estructuradas) y se enfocó en la identificación de especies de árboles, cultivos y animales, los cuales se seleccionaron de acuerdo con los beneficios ambientales, sociales y económicos. Para esto se realizaron recorridos de campo con informantes clave en los ejidos y las comunidades del Nevado de Toluca con evidencia de sistemas de producción asociados (cultivos, árboles y animales).

El enfoque participativo fue utilizado para entender el manejo de los recursos naturales y la adopción de los posibles SAF. Esta herramienta permitió responder a las siguientes preguntas: 1) ¿cómo los agricultores encuentran a través del ensayo, error y aprendizaje cultural soluciones prácticas en su sistema de producción?; 2) ¿cómo incorporan estos ensayos en el proceso de adaptación al medio ambiente y a su entorno?; 3) ¿cómo este conocimiento es transmitido?; 4) ¿qué tan vulnerable es una comunidad a los cambios del medio ambiente y su entorno? Con este acercamiento se pretende buscar alianzas estratégicas con los actores locales para la implementación de los SAF.

La integración de los conocimientos científicos y locales puede actuar como un medio para crear capacidades y, lo más importante, puede ser una herramienta para empoderar a la población local en el manejo de los recursos naturales y la toma de decisiones, para la definición final de los SAF.

## Resultados

### *Identificación de los principales sistemas agroforestales*

La investigación participativa permitió identificar los principales sistemas agroforestales de la alta montaña en el Nevado de Toluca; se priorizaron los sistemas más adecuados y que ya estén establecidos (cuadros 1 y 2, figuras 2 y 3). Las comunidades con la evidencia visual de los SAF fueron: Agua Blanca, La Peñuela, Tlacotepec, Calimaya, San Román, La Puerta, San Francisco Putla, Palo Seco, Buena Vista y El Varal.

### *Conocimiento local y SAF*

El análisis de los SAF identificados en campo permitió corroborar que la dinámica territorial en la alta montaña se encuentra fuertemente vinculada con una nueva ruralidad que incorpora todo un sistema de conocimiento popular (conocimiento local) que permite derivar soluciones prácticas al sistema de producción. La población local aprovecha al máximo las potencialidades del entorno geográfico y se adapta a las condiciones ambientales imperantes. Esto se expresa en un aprendizaje colectivo que compendia las experiencias positivas. Los SAF a menores altitudes (3 000-3 200 msnm) se caracterizan por los bosques densos de aile y encino con una mayor diversidad de especies (árboles frutales como el capulín y el tejocote que se propagan de manera espontánea entre la vegetación natural, y en los espacios abiertos se presenta una mayor diversidad de cultivos). En estas condiciones se favorece el pastoreo de ovejas. Los SAF de altitudes intermedias (3 200-3 500 msnm) se caracterizan por los bosques densos de coníferas, principalmente oyamel, lo que limita el pastoreo del ganado mayor. Las condiciones climáticas y de pendiente ejercen un impacto negativo en la diversidad de cultivos. Finalmente, los SAF de mayores altitudes (3 500-3 800 msnm) se caracterizan por los bosques de *Pinus hartwegii*, mucho más abiertos y con vegetación herbácea de gramíneas, lo que permite el pastoreo de ganado mayor. Las zonas de cultivo se encuentran mucho más especializadas y tienden a dominar la producción de la papa.

El análisis de los SAF permite identificar claramente los procesos de adaptación al ambiente y el entorno. Queda claro que los factores que determinan el

aprovechamiento del entorno son la altitud (con las condiciones climáticas asociadas), la pendiente y las características del ecosistema (en relación con la naturaleza del dosel arbóreo y del sotobosque asociado). El conocimiento del territorio y las prácticas agroforestales relacionadas se transmiten de forma oral entre los habitantes de las comunidades, y las prácticas agrícolas se encuentran fuertemente influenciadas por técnicos y proveedores de insumos agrícolas.

Finalmente, la investigación permitió corroborar la alta vulnerabilidad de las comunidades a los cambios ambientales del entorno. Si bien existe un conocimiento local que nutre a los SAF, los mecanismos desarrollados pueden permitir enfrentar cambios temporales o permanentes. Por ejemplo, no todos los campesinos pueden enfrentar exitosamente el retraso de las lluvias o la falta de forraje de calidad para el ganado.

#### *Algunos aspectos a considerar para el desarrollo de los SAF*

El análisis de los SAF en las distintas localidades de la zona de estudio permitió identificar que éstos no necesariamente logran cumplir con la premisa de mejorar las condiciones de vida familiar y proteger y optimizar el entorno natural. Existen deficiencias y limitaciones que es pertinentes señalar:

1. No se toma en cuenta la capacidad agroecológica del territorio. La capacidad agroecológica es fundamental para caracterizar la aptitud de las tierras, la producción potencial y el impacto ambiental que pueden tener las actividades productivas (Franco y Regil, 2010). El análisis de las características del suelo y el clima puede ser determinante no sólo para la introducción de los cultivos, sino para la promoción del repoblamiento del bosque con especies nativas (Franco y Regil, 2011).
2. No se considera la capacidad de carga animal de los ecosistemas forestales. La biomasa forrajera del ecosistema es fundamental para el manejo ganadero sustentable y varía en función del clima, el suelo y la dinámica sucesional de la vegetación (Villa-Herrera *et al.*, 2014).
3. No se da un manejo agrícola amigable con el suelo y el entorno natural. Tiende a prevalecer el sistema de monocultivos sustentado por algunos insumos tecnológicos (fertilizantes y plaguicidas químicos) cuya producción es para efectos principalmente comerciales. Esto tiene importantes impactos negativos en la calidad de los suelos agrícolas.
4. No se consideran para su aprovechamiento y protección todos los elementos del ecosistema. Los bosques del Nevado de Toluca cuentan con

CUADRO 1. Matriz de especies identificadas con los agricultores

Nombre común	Nombre científico	Comunidad	Conocimiento del agricultor*
Especies forestales (largo plazo), con la finalidad de producir árboles de navidad o madera			
Aile	<i>Alnus jorullensis</i>	Calimaya, Tlacoatepec y San Francisco Putla	Especie de rápido crecimiento, sin uso forestal aparente
Encino	<i>Quercus laurina</i>	Calimaya y Palo Seco	Ampliamente utilizada como madera, leña y carbón
Oyamel	<i>Abies religiosa</i>	La Peñuela, Buena Vista, La Puerta, Palo Seco y El Varal	Utilizada como madera de construcción, cercas y postes
Pino ayacahuite	<i>Pinus ayacahuite</i>	Calimaya y La Peñuela	Utilizado como árbol de navidad
Pino moctezuma	<i>Pinus montezumae</i>	La Puerta	Madera para mueblería
Ocote amarillo	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Agua Blanca, Palo Seco y San Francisco Putla	Madera para mueblería
Ocote	<i>Pinus hartwegii</i>	Calimaya, Tlacoatepec, Agua Blanca y El Varal	Madera para mueblería
Especies frutales (mediano plazo)			
Capulín	<i>Prunus virginiana</i>	La Peñuela, Buena Vista y Tlacoatepec	Uso doméstico
Tejocote	<i>Crataegus mexicana</i>	San Román y San Francisco Putla	Uso doméstico, venta en mercados locales
Magüey	<i>Agave sp</i>	San Román, San Francisco Putla y Calimaya	Uso doméstico, pulque
Nopal	<i>Opuntia ficus-indica</i>	San Román, San Francisco Putla y Tlacoatepec	Uso doméstico, venta a mercados locales
Cultivos y forrajes (corto plazo)			
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	Calimaya, Tlacoatepec, La Peñuela, La Puerta y San Francisco Putla	Venta en mercados locales y mayoristas
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	Calimaya, Tlacoatepec, La Peñuela, La Puerta, Buena Vista y Agua Blanca	Uso para forraje

Alfa alfa	<i>Medicago sativa</i>	Calimaya, Tlacotepec, La Peñuela, La Puerta y Agua Blanca	Uso para forraje
Avena	<i>Avena sativa</i>	Calimaya, Tlacotepec, La Peñuela, La Puerta y Agua Blanca	Uso para forraje
Haba	<i>Vicia faba</i>	Calimaya, Tlacotepec, La Peñuela, La Puerta y Agua Blanca	Consumo local
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Calimaya, Tlacotepec, La Peñuela, La Puerta y Agua Blanca	Consumo local
Chícharo	<i>Pisum sativum</i>	Calimaya, Tlacotepec, La Peñuela, La Puerta y Agua Blanca	Consumo local
Maíz	<i>Zea mays</i>	Calimaya, Tlacotepec, La Peñuela, La Puerta y Agua Blanca	Consumo local, venta en mercados locales
<p>Aspecto pecuario, para determinar si los SAF establecidos tendrán la capacidad de mantener a los borregos en la unidad familiar sin tener que pastorear. Es necesario considerar que los borregos han sido identificados de gran importancia en la economía de las unidades familiares ya que representa un ahorro a corto plazo.</p>			
Ovinos	Hampshire, Criollo, Suffolk	Agua Blanca, Calimaya, Tlacotepec	Venta en mercados locales
Bovinos	Holstein, Angus	Calimaya y Tlacotepec	Venta en mercados locales
Caprinos	Alpina, boer, criolla	Calimaya y Tlacotepec	Venta en mercados locales
Equinos	Caballos, mulas	La Peñuela y Agua Blanca	Uso doméstico

\* En este punto se define la utilidad del recurso de acuerdo con la percepción del usuario. Adaptado de Jun *et al.*, 2015.

CUADRO 2. *Matriz de beneficios ecológicos y socioeconómicos*

<i>Beneficio</i>	<i>Lugar más adecuado para el recurso</i>	<i>Especies de preferencia</i>	<i>Comunidad</i>
Producción frutícola	Huertos caseros familiares	Tejocote, capulín, se hace énfasis en estas especies originarias de México; sin embargo, puede haber la posibilidad de otras especies externas que pueden o no ubicarse fuera del límite de la APFFNT.	San Francisco Putla, San Román, La Peñuela, Calimaya, Tlacotepec
Aprovechamiento de leña	Bosques abiertos	Todas	Todas
Aprovechamiento de madera	Bosques densos	Todas	Todas
Producción agrícola	Parcelas de dotación original	Maíz, papa, avena, haba, frijol, chícharo	Todas
Producción pecuaria	Áreas de pastoreo, bosques densos y semidensos, en confinamiento	Ovinos, bovinos, caprinos y equinos	Agua Blanca, La Peñuela

Con base en las entrevistas estructuradas y los recorridos de campo se pudieron elaborar los esquemas de los principales SAF de acuerdo con un gradiente altitudinal.

Adaptado de Jun *et al.*, 2015.

importantes recursos forestales que están siendo aprovechados por las comunidades locales, particularmente hongos comestibles y vara de perlilla (Anastacio-Martínez *et al.*, 2016). Sin embargo, no existen acciones de manejo que integren estos recursos al SAF. La inoculación de especies de hongos con alto valor cultural y económico o el cultivo y manejo sustentable de la perlilla no forman parte de las prioridades de la población local.

## Conclusiones

El Nevado de Toluca es una de las áreas naturales protegidas más importantes de México. Pese a ello, los ecosistemas de alta montaña se encuentran altamente

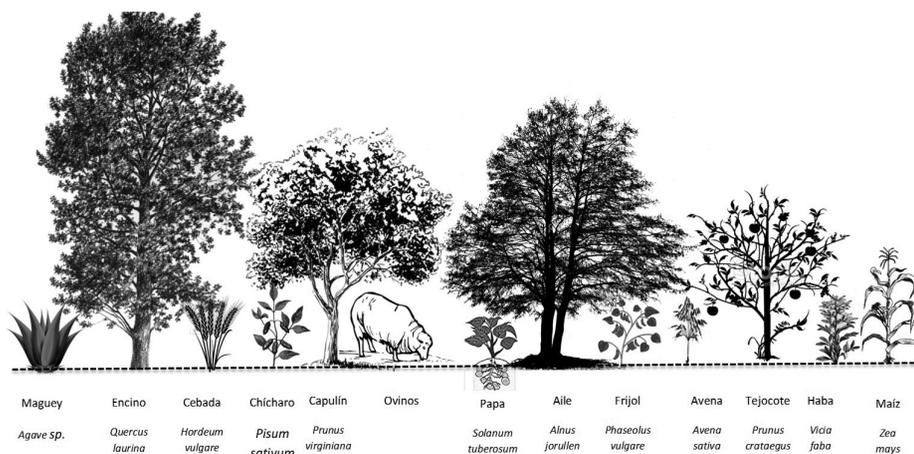


FIGURA 2. Esquema de SAF 3000-3200 msnm en el Nevado de Toluca

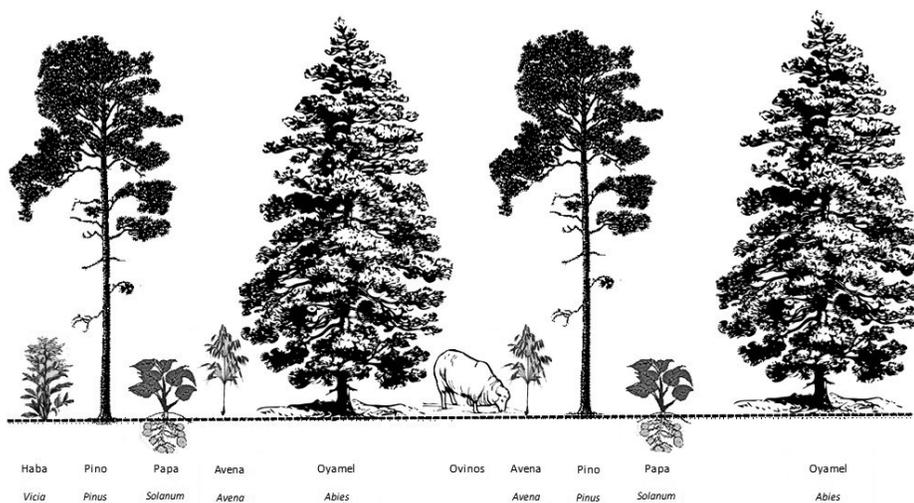


FIGURA 3. Esquema de SAF 3200-3500 msnm en el Nevado de Toluca

perturbados por la acción antrópica. Los SAF pueden representar una importante alternativa para mejorar las condiciones de vida de la población local al tiempo que se mejora la conservación del entorno natural. Se identificaron los principales sistemas agroforestales de la alta montaña determinando sus beneficios ecológicos y socioeconómicos. Estos sistemas, sin embargo, aún tienen serias

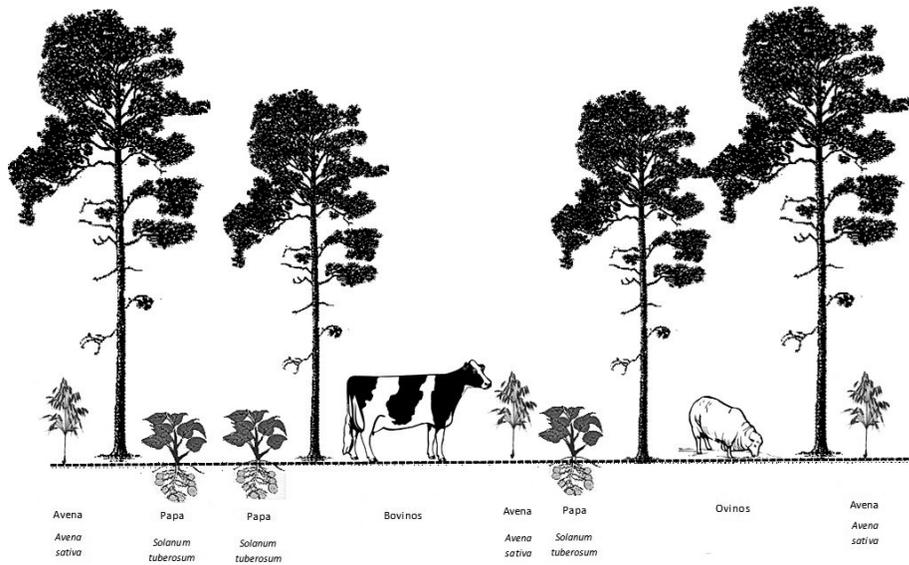


FIGURA 4. Esquema de SAF 3 500-3 800 msnm en el Nevado de Toluca

deficiencias que impiden a la población local obtener mayores beneficios y que pueden generar desequilibrios ambientales. Por lo tanto, es necesario el diseño de una matriz para la evaluación de los SAF que incluya indicadores ambientales, sociales y económicos. El éxito de los SAF debe basarse en el conocimiento local y, a partir de éste, desarrollar estrategias que consideren la capacidad agrocológica y de carga animal del territorio y el manejo integrado de recursos forestales, maderables y no maderables.

## Bibliografía

- Anastacio Martínez, N. D., G. Nava-Bernal y S. Franco-Maass (2014), “El desarrollo agropecuario de los pueblos de alta montaña. La Peñuela, Estado de México”, *Economía, Sociedad y Territorio* xiv:397-418.
- Anastacio Martínez, N. D., E. Valtierra P., G. Nava B. y S. Franco M. (2015), “Extracción de perlilla (*Symphoricarpos microphyllus* H. B. K.) en el Nevado de Toluca”, *Madera y Bosques* 21: 103-115.
- Anastacio Martínez, N. D., S. Franco Maass, E. Valtierra Pacheco y G. Nava Bernal (2016), “Aprovechamiento de productos forestales no maderables en los bosques de montaña alta, centro de México”, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7: 21-38.

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist) (1990), *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*, 15ª ed., Association of Official Analytical Chemist, Virginia, EUA, 1015 pp.
- Beer, J., C. Harvey, M. Ibrahim, J. M. Harmand, E. Somarriba y F. Jiménez (2003), "Servicios ambientales de los sistemas agroforestales", *Agroforestería en las Américas*, 10: 37-28.
- Calles V., H. Smeltekop y R. Villca (2011), "Sistemas agroforestales como alternativas ecológicas y productivas en áreas degradadas", *Journal of the Selva Andina Research Society* 2: 71-72.
- Challenger, A. (2003), *Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*, Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAT, México.
- Combe, J., y G. Budowski (1979), "Clasificación de las técnicas agroforestales: una revisión de literatura", en Gonzalo de las Salas (ed.), *Taller sobre sistemas agroforestales en América Latina*, Turrialba, Costa Rica, 26-30 de marzo de 1979, CATIE-UNU, pp. 17-48.
- Endara, A. A. R. (2010), "Análisis de los procesos de recuperación en el bosque templado del Parque Nacional Nevado de Toluca", tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México, 100 pp.
- Franco, M. S., C. Burrola A. y Y. Arana G. (2012), *Hongos comestibles silvestres: un recurso forestal no maderable del Nevado de Toluca*, EON, México, 342 pp.
- Franco, M. S., y H. H. Regil G. (2010), "IDRISI como herramienta para la evaluación de áreas naturales protegidas. El caso del Parque Nacional Nevado de Toluca", *Revista Geográfica de América Central* 1: 127-149.
- Franco, M. S., y H. H. Regil G. (2011), "Evaluación edafológico-climática para la introducción de frutales perennes y pastos retenedores de suelo", *Cuadernos de Investigación*, cuarta época/68, UAEM, México, 58 pp.
- García, C. Y. B. (2010), "Prospectiva financiera de los sistemas agroforestales de El Fortín, municipio de Atzalan, Veracruz", tesis de maestría en ciencias forestales, DICIFO-UACH, Chapingo, México, 199 pp.
- Jun, He, Myong H. Ho y Jianchu Xu (2015), "Participatory Selection of Tree Species for Agroforestry on Sloping Land in North Korea", *Mountain Research and Development* 35: 318-327.
- López, S. E., y S. Musálem (2007), "Sistemas agroforestales con cedro rojo, cedro nogal, y primavera, una alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en los Tuxtlas, Veracruz, México", *Revista Chapingo*, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 13: 59-66.
- Mendoza, C., M. López, D. Rodríguez, A. Velázquez y F. García (2012), "Crecimiento de la vara de perlilla (*Symphoricarpos microphyllus* H. B. K.) en

- respuesta a la fertilización y altura de corte”, *Agrociencia* 46: 719-729.
- Montero, G. (2004), *Atlas arqueológico de la alta montaña*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional Forestal, México, 179 pp.
- Moreno, C. A. I., V. M. Toledo y A. Casas (2013), “Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural”, *Botanical Sciences*, 91: 375-398.
- Murgueitio, E., P. Cuéllar, M. Ibrahim, J. Gobbi, C. A. Cuartas, J. F. Naranjo, A. Zapata, C. E. Mejía, A. F. Zuluaga y F. Casasola (2006), “Adopción de sistemas agroforestales pecuarios”, *Pastos y Forrajes*, 29: 365-381.
- Pell, A., y P. Schofield (1993), “Computerized Monitoring of Gas Production to Measure Forage Digestion In Vitro”, *Journal of Dairy Science* 76: 1063-1073.
- Polla, María C. (1998), *El estudio de los sistemas silvopastoriles y el manejo sustentable de los recursos forestales en Uruguay. 1 Congreso Latinoamericano IUFRO*, Valdivia, Chile.
- Rivas, T. D. (2005), *Sistemas agroforestales 1*, Universidad Autónoma Chapingo, 8 pp.
- Russo, R. O. (2015), “Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles”, *Pastos y Forrajes*, 38: 157-161.
- Squeo, F. A., H. Veit, G. Arancio, J. R. Gutiérrez, M. T. K. Arroyo y N. Olivares (1993), “Spatial Heterogeneity of High Mountain Vegetation in the Andean Desert Zone of Chile”, *Mountain Research and Development*, 13: 203-209.
- Tamayo, J. L. (1990), *Geografía moderna de México*, Trillas, México. 400 pp.
- Villa Herrera, A., F. Paz Pellat, M. Pérez Hernández, C. Rojas Montes, M. Rodríguez Arvizu, S. Ortiz Acosta, M. Casiano Domínguez y H. Díaz Solís (2014), “Estimación de la capacidad de carga animal en agostaderos usando un índice de vegetación de pendientes normalizadas”, *Agrociencia* 48: 599-614.

# La utilización de muérdago enano (*Arceuthobium globosum*) como forraje en la alimentación de rumiantes

GUADALUPE BRENDA L. HERNÁNDEZ LUNA,<sup>1</sup>  
ÁNGEL ROLANDO ENDARA AGRAMONT,<sup>1</sup>  
MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO,<sup>2</sup>  
JUANA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ,<sup>1</sup>  
GILBERTO VILMAR KOZLOSKI<sup>3</sup>  
JULIETA GERTRUDIS ESTRADA FLORES<sup>1\*</sup>

## Resumen

El uso de forrajes no convencionales como el muérdago enano (*Arceuthobium globosum*) es una alternativa de alimentación para ovinos en crecimiento, pues permite la sustitución de forrajes convencionales como el rastrojo de maíz y el heno de avena. Esto brinda una alternativa al manejo de esta planta parásita, ya que los productores pueden hacer uso de un recurso disponible dentro del sistema, ayudando a reducir el nivel de infestación de los árboles hospederos.

Se evaluó el comportamiento productivo en ovinos alimentados con diferentes niveles de inclusión de muérdago enano. Se utilizaron 12 ovinos criollos de seis meses de edad ( $24.6 \pm 3.4$  kg de peso vivo), los cuales fueron alimentados con un tratamiento control (T0) y dos niveles de inclusión de muérdago (T15 y T30%). En la ganancia diaria de peso (GDP) se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) a los 15 y 60 días de evaluación, donde la mayor ganancia se tuvo en T0; en el día 15 y 30 no se mostraron diferencias entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). Los resultados obtenidos sugieren que las dietas de ovinos en crecimiento pueden complementarse mediante la inclusión de muérdago enano hasta un 30 % sin comprometer el bienestar de los animales y la respuesta productiva.

*Palabras clave:* *Arceuthobium globosum*, muérdago enano, calidad nutritiva, rumiantes.

## Introducción

En el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) la incidencia de plantas parásitas (muérdagos enanos) amenaza directamente a los

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Toluca, Estado de México, México, C. P. 50000.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Camobi-97105.900, Santa Maria, Brasil. Autor de correspondencia: jgestradaf@uaemex.mx.

bosques de *Pinus hartwegii* y se calcula un total de 10 289 ha infestadas, lo que equivale a 58% de esta población (Endara-Agramont *et al.*, 2014). El muérdago enano es una planta parásita que afecta a numerosas especies de coníferas en el oeste de América del Norte y en todo el mundo (Hawksworth y Weins, 1996; Kolb, 2002). En la búsqueda por hacer frente a dicha problemática la Comisión Nacional Forestal (Conafor) y la Protectora de Bosques (Probosque) han realizado programas de control y saneamiento, tales como podas de ramas infestadas o aspersión aérea de “Muérdago *killer*”, los cuales no han conseguido los resultados esperados.

En la actualidad los estudios realizados a esta planta parásita basan sus investigaciones en temas como: distribución espacial, prevalencia, efectos sobre el arbolado, entre otros de carácter más descriptivo (Rodríguez, 1985; Geils *et al.*, 2002; Flores, 2008; Ramírez y Porcayo, 2009; Endara, 2010; Cedillo, 2012; Endara Agramont *et al.*, 2014).

Las especies del género *Arceuthobium* requieren para su desarrollo abundante luz solar; estos requerimientos varían de acuerdo con el desarrollo de la planta. La abundancia de luz solar, condición que se presenta en montes aclarados, es sumamente favorable para el desarrollo y la diseminación del parásito. Así, en áreas que han sido explotadas y donde el estrato inferior de la vegetación está formado por renuevo, el ataque parasitario de muérdago puede establecerse con mayor facilidad (Ramírez y Porcayo, 2009).

El ciclo del muérdago enano abarca dispersión, establecimiento, incubación y reproducción. La dispersión comienza cuando los frutos maduros empiezan a descargar su semilla en un vuelo balístico, el cual puede llegar a los 20 metros; las semillas se encuentran cubiertas por una sustancia mucilaginosa o pegajosa y se adhieren a cualquier superficie con la que entran en contacto. El establecimiento incluye el tiempo en que la semilla tarda en alojarse en un sitio seguro hasta que se inicia la relación parásita. Pasan varios años de incubación, mientras que el sistema endofítico se conecta debajo de la corteza de los árboles (Geils *et al.*, 2002).

Se les atribuyen por lo menos cinco efectos sobre sus hospederos: disminución de las tasas de crecimiento, mortalidad, reducción de la cantidad y la calidad de la semilla, disminución de la calidad de la madera, predisposición al ataque de insectos y enfermedades, además efectos sobre la dinámica del ecosistema (Flores, 2008; Ramírez y Porcayo, 2009).

Durante los últimos años las investigaciones en nutrición de rumiantes han puesto en auge estudios en los cuales se busca la inclusión de piensos no convencionales para la alimentación animal. En este sentido, el uso de muérdago enano (*Arceuthobium globosum*) como un componente más en la alimentación de ovinos suele ser un buen complemento forrajero en la dieta de pequeños rumiantes y tiende a ofrecer una alternativa más en el control de esta planta pará-

sita, ya que se brindaría un manejo dirigido a la conservación del bosque, donde se controla el patógeno y se obtienen alternativas de uso en el sistema de producción pecuaria rural. Por lo que esta propuesta pretende generar un aprovechamiento del muérdago enano (*Arceuthobium globosum*) que se encuentra infestando los bosques del APFFNT; lo anterior a través de su evaluación químico-nutricional y de su respuesta productiva en pequeños rumiantes.

## Materiales y métodos

### *Colecta del material vegetal*

La colecta del muérdago enano (*Arceuthobium globosum*) se realizó de enero a junio de 2013. Se obtuvo de áreas de infestación seleccionadas en los bosques de *Pinus hartwegii* del APFFNT. La colecta de muérdago enano se realizó de forma manual y se mezclaron plantas en todas sus etapas fenológicas.

### *Análisis bromatológico*

Al muérdago y a los ingredientes de las dietas se les determinó el contenido de materia seca (MS) en un horno de aire forzado (60° C, 48 h), posteriormente se molieron (molino Willey, 2 mm de Ø Arthur H. Thomas, Filadelfia). La materia orgánica (MO) se determinó por el método de la AOAC (1990). El nitrógeno total (N) se determinó por el procedimiento Kjeldahl (AOAC, 1990), para obtener la PC se multiplicó el N por 6.25. La fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) se determinó según Van Soest *et al.* (1991), usando un digestor de fibra ANKOM y adicionando  $\alpha$ -amilasa para FDN. La FDN y la FDA se expresan sin ceniza residual. El análisis de carbohidratos solubles se llevó a cabo mediante el método fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica se determinó mediante la técnica de Pell y Schofield (1993).

Los análisis de fenoles totales (FT) y taninos totales (TT) se realizaron por el método Folin-Ciocalteu (Makkar, 2003b); para los taninos no fenólicos (TNF) se utilizó *polyvinyl pyrrolidone* (PVPP). El contenido de FT y TNF fue expresado como el equivalente de ácido tánico utilizando una curva de calibración; la cantidad de TT se obtuvo por diferencia entre FT y TNF. El contenido de taninos condensados TC fue determinado mediante la técnica de Butanol-HCl/Fe<sup>3+</sup> (Makkar *et al.*, 2007).

*Animales y dietas*

El trabajo experimental se realizó en la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se utilizaron 12 ovinos de seis meses de edad ( $24.6 \pm 3.4$  kg de peso vivo), distribuidos al azar en tres tratamientos: un tratamiento testigo (T0%) y dos niveles de inclusión de muérdago enano (T15% y T30%) (cuadro 1). Las dietas

CUADRO 1. *Inclusión de los ingredientes utilizados, composición química y digestibilidad in vitro de las dietas experimentales (g/kg MS)*

<i>Ingrediente</i>	<i>Inclusión de muérdago enano</i>		
	<i>T0%</i>	<i>T15%</i>	<i>T30%</i>
Muérdago enano	0	150	300
Rastrojo de maíz	210	90	0
Heno de avena	230	200	140
Grano de maíz	340	340	335
Pasta de soya	170	170	175
Melaza	30	30	30
Minerales	20	20	20
Total	1000	1000	1000
<i>Composición química</i>			
MS	931	948	950
MO	862	882	886
PC	141	138	141
FDN	352	421	496
FAD	150	175	193
CH	68	65	75
EM (MJ/kgMS)	11	10.3	9.8
DIVMS	846	816	768
DIVMO	725	708	707

† T0 = Dieta control, T15 = Dieta con la inclusión de muérdago al 15%, T30 = Dieta con la inclusión de muérdago al 30%. MS = Materia seca, MO = Materia orgánica, PC = Proteína cruda, FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido, CH = Carbohidratos solubles, EM = Energía metabolizable, DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca, DIVMO = Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.

fueron formuladas isoproteica e isoenergéticamente teniendo un aporte de PC de 140 g/kg<sup>-1</sup> MS y 10.41 MJ de EM kg MS. La composición química y digestibilidad *in vitro* de los ingredientes se presenta en la cuadro 2.

### *Evaluación en los animales*

Se evaluó el comportamiento productivo de los animales en un lapso de 67 días, siete de adaptación a las dietas experimentales y 60 en que los animales se mantuvieron en corraletas individuales (1.20 × 1.20 m). La variable evaluada fue ganancia diaria de peso (g/kg PV<sup>0.75</sup>/día), la cual se estimó por diferencia entre el peso inicial y el peso final de cada animal, realizando mediciones cada 15 días, y el consumo de materia seca (CMS g/kg PV<sup>0.75</sup>/día).

### *Análisis estadístico*

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. El modelo estadístico para este diseño fue:  $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$ . Dónde:  $Y_{ij}$  = Variable de respuesta,  $\mu$  = Media general,  $T_i$  = Efecto tratamiento, y  $E_{ij}$  = Error experimental. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC GLM, SAS versión 9.0. Para el caso de la GDP el procedimiento utilizado fue PROC MIXED. Cuando se observaron diferencias significativas se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). Asimismo, se realizaron correlaciones simples Pearson entre los tratamientos y las variables evaluadas en ambos experimentos.

CUADRO 2. *Composición química y digestibilidad in vitro de la de la materia seca y orgánica (g/kg MS) de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales*

	MS	MO	PC	FDN	FDA	CH	DIVMS	DIVMO
Muérdago enano	909	856	70	401	275	99	626	597
Rastrojo de maíz	918	865	63	725	381	19	699	614
Heno de avena	917	848	42	616	357	97	680	622
Grano de maíz	888	866	110	239	43	19	958	719
Pasta de soya	896	830	476	229	165	71	982	597
Melaza	-	-	60	-	-	-	-	-
Minerales	-	-	-	-	-	-	-	-

† MS = Materia seca, MO = Materia orgánica, PC = Proteína cruda, FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido, CH = Carbohidratos solubles, DIVMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca, DIVMO = Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.

## Resultados y discusión

Con respecto al aporte nutricional del muérdago enano, su valor proteico es menor en comparación con lo encontrado por Madibela *et al.* (2000) y Ndagurwa y Dube (2013). Umucalilar *et al.* (2007) analizaron la composición química del muérdago (*Viscum álbum*) y encontraron valores de PC de 53 a 69 (g/kg<sup>-1</sup> MS), los cuales son similares a los del presente estudio. El bajo contenido de proteína puede deberse a lo señalado por Bannister (1989), quien menciona que los muérdagos que no imitan (morfológicamente) a sus plantas hospederas generalmente tienen bajas concentraciones de N; mientras que los que si lo hacen contienen niveles altos. Así, los muérdagos que imitan a su hospedero buscan reducir el ataque de herbívoros, y por lo tanto aquellos que no lo hacen se benefician con el hecho de que su nivel de N es bajo. En el caso del muérdago enano, éste por lo general crece en ramas y en algunas partes del tronco, por lo que no se encuentra fácilmente disponible al ataque de depredadores, lo cual da como resultado que su morfología sea distinta a la de su árbol hospedero.

El aporte de FDN del muérdago enano es inferior a los valores de la FDN de los forrajes convencionales utilizados en este estudio (cuadro 2). Ésta se muestra similar a lo reportado por Madibela *et al.* (2004) para *Tapinanthus lugardii*, *V. verrucosum* y *Viscum rotundifolium*, mientras que la FAD presenta valores similares a lo encontrado por Madibela *et al.* (2000, 2004) y Ndagurwa y Dube (2013).

Por su parte, la DIVMS encontrada en la planta parásita evaluada en este estudio resultó menor a la reportada por Umcalilar *et al.* (2007), pero superior a las digestibilidades mostradas por Madibela *et al.* (2000, 2004) y Ndagurwa y Dube (2013). MacDonald *et al.* (1999) mencionan que el factor más importante que puede afectar la digestibilidad de los alimentos es la fracción de fibra, pero que además de ésta existen algunos otros componentes, como es el caso de los taninos. Los valores de fibra que presenta el muérdago enano no son elevados comparados con los valores de los forrajes convencionales utilizados en el presente estudio, y con los reportados por Ben Salem *et al.* (2005) y Martínez Loperena *et al.* (2011) para heno de avena y rastrojo de maíz, respectivamente. Sin embargo, el contenido de taninos condensados presente en el muérdago enano (cuadro 3) sí lo es, comparado con los valores reportados por Madibela *et al.* (2002), por lo que el aporte de taninos condensados (TC) en las dietas evaluadas se debe a la utilización de muérdago enano.

La inclusión de TC en la alimentación de rumiantes ha demostrado tener efectos positivos, como la optimización en la digestión del nitrógeno, la prevención del timpanismo, la reducción de los parásitos intestinales y, fundamentalmente, la protección de proteínas presentes en las plantas de la degradación ruminal (Waghorn, 2008); así, la inclusión de este compuesto secundario en dosis

CUADRO 3. *Metabolitos secundarios (%) presentes en los ingredientes y las dietas utilizadas*

	Fenoles totales	Taninos no fenólicos	Taninos totales	Taninos condensados
<i>Ingredientes</i>				
Muérdago enano	21.9	3.1	18.8	16.2
Rastrojo	2.9	0.9	2	0.01
Avena	1.4	0.9	0.5	0.03
Maíz	1.9	0.6	1.3	0.02
Soya	1.5	0.7	0.8	0.02
<i>Dietas</i>				
T0	1.4	0.6	0.8	0.04
T15	2.4	0.6	1.7	1.5
T30	6.2	1.2	5	3.4

†T0 = Dieta control, T15=Dieta con la inclusión de muérdago al 15%, T30= Dieta con la inclusión de muérdago al 30%

adecuadas puede mejorar la producción animal. Sin embargo, la adición de TC en la alimentación animal también puede generar efectos negativos como deprimir el consumo (Makkar, 2003a; Min *et al.*, 2003; Mueller Harvey, 2006; Waghorn, 2008). El CMS no se vió afectado con la inclusión de muérdago enano, ya que el contenido de TC en T30, es de 34 g kg<sup>-1</sup> ms. Min *et al.* (2003) mencionan que en niveles superiores a 55 g CT kg<sup>-1</sup> ms, el consumo voluntario puede reducirse. Esto también indica que la inclusión de muérdago enano no presenta un sabor astringente, ya que los taninos causan una sensación de astringencia, la cual puede generar una reducción en la ingesta de alimento (Theodoridou *et al.*, 2010).

El análisis de metabolitos secundarios muestra que la concentración de taninos condensados en las dietas experimentales es aportada en su totalidad por el muérdago enano, ya que éste tiene un alto porcentaje de los mismos (cuadro 3). En la mayor inclusión (T30) la concentración de TC es de 34 g/kg<sup>-1</sup> ms.

La GDP (g/kg PV<sup>0.75</sup>/día) mostró diferencias (P < 0.05) en los primeros 15 días y a los 60 días de evaluación, cuando la mayor ganancia se tuvo en T0; en los días 15 y 30 no se mostraron diferencias entre tratamientos (P > 0.05). Aunque no se obtuvieron diferencias en la conversión alimenticia, se observó que T15 resultó mejor. El consumo (g/kg PV<sup>0.75</sup>/día) fue similar en los tratamientos (P > 0.05) para MS, MO y PC (cuadro 4). El mayor consumo de FDN y FAD se presentó en T30 (P < 0.001).

Cuadro 4. *Ganancia diaria de peso (g/kg PV<sup>0.75</sup>/día) y consumo de alimento (g/kg PV<sup>0.75</sup>/día) en ovinos alimentados con diferentes niveles de inclusión de muérdago enano*

	Dietas				P valor
	T0	T15	T30	EEM	
Peso inicial (kg <sup>0.75</sup> )	10.12 <sup>b</sup>	10.87 <sup>ab</sup>	12.14 <sup>a</sup>	0.38	0.14
Medias de GDP (g/kg PV <sup>0.75</sup> )					
Día 15	25.3 <sup>a</sup>	19.6 <sup>ab</sup>	10.9 <sup>b</sup>	2.49	0.008
Día 30	8.9	7.0	12.43	1.71	0.13
Día 45	14.0	14.0	11.2	2.04	0.55
Día 60	12.8 <sup>a</sup>	10.8 <sup>ab</sup>	10.3 <sup>b</sup>	0.62	0.04
Conversión alimenticia	5.3	4.5	5.4	0.86	0.72
Consumo (g/kg PV <sup>0.75</sup> )					
MS	88.79	91.48	96.33	3.41	0.33
MO	82.2	85.1	89.84	3.17	0.27
PC	13.4	13.3	14.2	0.5	0.36
FDN	33.5 <sup>c</sup>	40.54 <sup>b</sup>	50.3 <sup>a</sup>	1.55	0.0001
FDA	14.3 <sup>c</sup>	16.9 <sup>b</sup>	19.5 <sup>a</sup>	0.63	0.0009

Nota: Literales diferentes en la misma fila representan diferencias significativas.

EEM = Error estándar de la media, T0 = Dieta control, T15 = Dieta con la inclusión de muérdago al 15%, T30 = Dieta con la inclusión de muérdago al 30%, MS = Materia seca, MO = Materia orgánica, PC = Proteína cruda, FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido.

En el caso de la GDP, aunque ésta mostró diferencias en los días 15 y 60 de evaluación, en ninguno de los casos se mostraron pérdidas de peso por la inclusión de muérdago enano. De acuerdo con los resultados obtenidos en la cuadro 4, el efecto de la inclusión de muérdago enano en T15 no muestra diferencias con T0, y además en este tratamiento se presentó la mejor conversión alimenticia; por lo tanto, la inclusión de muérdago enano a un nivel de 15% en el cual la cantidad de TC es de 1.5% puede considerarse como el nivel más óptimo. Esta concentración de taninos condensados es similar a lo recomendado por Dey *et al.* (2008), quienes mencionan que al incluir 1.5% de TC con *Ficus infectoria* se tienen suficientes taninos para ejercer efectos notables en la GDP y conversión alimenticia, pero no tantos para que los efectos negativos puedan dominar.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos sugieren que las dietas de ovinos en crecimiento pueden complementarse mediante la inclusión de muérdago enano hasta 30%, sin verse comprometido su bienestar y su respuesta productiva.

El T15 no muestra diferencias con T0 y además muestra la mejor conversión alimenticia; por lo tanto, la inclusión de muérdago enano a un nivel de 15% en el cual la cantidad de TC es de 1.5% puede considerarse como el nivel más óptimo.

La utilización de plantas parásitas como forraje en la alimentación de pequeños rumiantes permitirá a los pequeños productores hacer uso de un recurso disponible dentro del sistema y, por otro lado, ayudará a disminuir el nivel de infestación de los árboles, brindando una alternativa sustentable para el manejo de las plantas parásitas en los bosques de alta montaña.

## Agradecimientos

Se agradece a la UAEM por el financiamiento otorgado a través del proyecto 3268/2011 CHT. Al proyecto 3950/2015 SF (UAEM) por el soporte de información. A la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por el uso de sus instalaciones. Un agradecimiento especial a Abraham Jiménez por su valiosa cooperación por el préstamo de los animales para realizar el experimento. Guadalupe Brendali Hernández Luna agradece al Conacyt por la beca otorgada.

## Bibliografía

- AOAC (1990), *Official Methods of Analysis*, 15ª ed., AOAC, Arlington, Virginia.
- Bannister, P. (1989), "Nitrogen Concentration and Mimicry in Some New Zealand Mistletoes", *Oecologia*, 79: 128-132.
- Ben-Salem, H., A. Nefzaoui, H. P. S. Makkar, H. Hochlef, I. Ben-Salem y L. Ben Salem (2005), "Effect of Early Experience and Adaptation Period on Voluntary Intake, Digestion, and Growth in Barbarine Lambs Given Tannin-containing (*Acacia cyanophylla* Lindl. foliage) or Tannin-free (Oaten Hay) Diets", *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 122: 59-77.
- Cedillo, A. M. (2012), "Distribución espacial y análisis de la presencia de plagas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca", tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, México, 122 pp.
- Dey, A., N. Dutta, K. Sharma y A. K. Pattanaik (2008), "Effect of Dietary Inclu-

- sion of *Ficus infectoria* Leaves as a Protectant of Proteins on the Performance of Lambs, *Small Rumin. Res.*, 75: 105-114.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton y F. Smith (1956), "Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances", *Analytical Chem.*, 28: 350-356.
- Endara, A. A. R. (2010), "Análisis de los procesos de recuperación en el bosque templado del Parque Nacional Nevado de Toluca", tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México, México, 100 pp.
- , A. M. Cedillo y E. G. Nava Bernal (2014), *Actualización del mapa de plagas y enfermedades forestales del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca*, Universidad Autónoma del Estado de México, México, en prensa.
- Flores, V. M. Y. (2008), "Evaluación del efecto que causa el muérdago enano (*Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum*) en el crecimiento de *Pinus cooperi* en Pueblo Nuevo, Durango", tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, México, 145 pp.
- Geils, B. W., T. J. Cibrián y B. Moody (2002), "Mistletoes of North American Conifers. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98" (Ogden, UT: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station).
- Hawksworth, F. G., y D. Wiens (1996), "Dwarf Mistletoes: Biology, Pathology and Systematics", *Agriculture Handbook* (United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D. C.).
- Kolb, E. (2002), "Ecophysiology of Parasitism in the Plant Kingdom", en A. López, C. Rodríguez y L. Sáenz (eds.), *Plantas parásitas de la Península Ibérica e Islas Baleares. Guide on Parasitic Plants of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands*, MundiPrensa, Madrid.
- MacDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh y C. A. Morgan (1999), *Nutrición animal*, 5ª ed., Zaragoza, Acribia.
- Madibela, O., M. Letso, B. Makoba y O. Seitshiro (2004), "Do Indigenous Browse Trees Influence Chemical Composition and In Vitro Dry Matter Digestibility of Parasitic Plants?", *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 115: 357-369.
- Madibela, O., M. Letso, W. S. Boitumelo, M. Masedi y K. Alton (2002), "Chemical Composition of Four Parasitic Plants Harvested Over a Period of 6 Months from Two Sites in Botswana", *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 95: 159-167.
- Madibela, O., W. S. Boitumelo y M. Letso (2000), "Chemical Composition and In Vitro Dry Matter Digestibility of Four Parasitic Plants (*Tapinanthus lugardii*, *Erianthenum ngamicum*, *Viscum rotundifolium* and *Viscum verrucosum*) in Botswana", *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 84: 97-106.
- Makkar, H. P. S. (2003a), "Effects and Fate of Tannins in Ruminant Animals,

- Adaptation to Tannins, and Strategies to Overcome Detrimental Effects of Feeding Tannin-rich Feeds”, *Small Rumin. Res.*, 49: 241-256.
- Makkar, H. P. S. (2003b), *Chemical, Protein Precipitation and Bioassays for Tannins, Tannin Levels and Activity in Unconventional Feeds, and Effects and Fate of Tannins. Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage*, Kluwer Academic Publishers, Países Bajos.
- Makkar, H. P. S., P. Siddhuraju y C. Becker (2007), *Plant Secondary Metabolites. Methods in Molecular Biology* TM, Human Press, Institute for Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Stuttgart, Alemania.
- Martínez Loperena, R., O. A. Castelán Ortega, M. González Ronquillo y J. G. Estrada Flores (2011), “Nutritive Value, *In Vitro* Fermentation and Secondary Metabolites of Weeds and Maize Straw Used for Feeding Dairy Cattle”, *Tropical and Subtrop. Agroecosyst.*, 14: 525-536.
- Min, B. R., T. N. Barry, G. T. Attwood y W. C. McNabb (2003), “The Effect of Condensed Tannins on the Nutrition and Health of Ruminants Fed Fresh Temperate Forages: A Review”, *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 106: 3-19.
- Mueller Harvey, I. (2006), “Unravelling the Conundrum of Cannins in Animal Nutrition and Health”, *Journal of the Sci. of Food and Agric.*, 86: 2010-2037.
- Ndagurwa, H. G. T., y J. S. Dube (2013), “Nutritive Value and Digestibility of Mistletoes and Woody Species Browsed by Goats in a Semi-arid Savanna, Southwest Zimbabwe”, *Livestock Sci.*, 151: 163-170.
- Pell, A. N., y P. Schofield (1993), “Computerized Monitoring of Gas Production to Measure Forage Digestion *In Vitro*”, *J. of Dairy Sci.*, 76: 1063-1073.
- Ramírez, D. J. F., y C. E. Porcayo (2009), “Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el método del SADIE”, *Madera y Bosques*, 15: 93-111.
- Rodríguez, A. A. (1985), “Infestación del muérdago enano (*Arceuthobium vaginatum* [Willd.] Presl. ssp. *vaginatum*) en el repoblado de *Pinus hatwegii* Lindl. del Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México”, Instituto Nacional de Ecología, México.
- Theodoridou, K., J. Aufrère, D. Andueza, J. Pourrat, A. Le Morvan, E. Stringano, I. Mueller Harvey y R. Baumont (2010), “Effects of Condensed Tannins in Fresh Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on *In Vivo* and *In Situ* Digestion in Sheep”, *Anim. Feed Sci. Tech.*, 160: 23-38.
- Umucalilar, H. D., N. Gülşen, B. Coşkun, A. Hayirli y H. Dural (2007), Nutrient Composition of Mistletoe (*Viscum album*) and its Nutritive Value for Ruminant Animals”, *Agroforestry Systems*, 71: 77-87.
- Van, Soest, P. J., J. B. Robertson y B. A. Lewis (1991), “Methods for Dietary Fiber,

Neutral Detergent Fiber and Non-starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition”, *J. of Dairy Sci.*, 74: 3583-3597.

Waghorn, G. (2008), “Beneficial and Detrimental Effects of Dietary Condensed Tannins for Sustainable Sheep and Goats Production – Progress and Challenges”, *Anim. Feed Sci. Tech.*, 147: 116-139.

# Uso tradicional y estado de conservación del laurel silvestre (*Litsea Glaucescens Kunth*) en Tlazala, municipio de Isidro Fabela, Estado de México. Un estudio hacia su manejo sustentable

VÍCTOR ÁVILA AKERBERG,<sup>1,2</sup>  
STEPHANIA ALEJANDRE HERNÁNDEZ,<sup>2</sup>  
SAGRARIO XOCHIPITZAHUAC ARCINIEGA SILVA,<sup>2</sup>  
PAMELA MARTÍNEZ SOLARES,<sup>2</sup>  
ERANDENI MORENO PONCE<sup>2</sup>  
ANA KAREN RAMÍREZ ZEPEDA<sup>2</sup>

## Resumen

El presente trabajo se realizó en el municipio de Isidro Fabela, Estado de México, con la finalidad de obtener información acerca del uso tradicional y el estado de conservación actual del laurel (*Litsea glaucescens*), una especie en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010. Para esto se realizaron cuestionarios a los habitantes de la región, con lo que se encontró que el principal uso es con fines alimenticios, seguido del uso religioso. Algunos de los encuestados reconocen una disminución del laurel en la región, pero no distinguen su riesgo de extinción. Por esta razón se plantean alternativas para su manejo adecuado, haciendo énfasis en la necesidad de la educación ambiental y la participación social para llevar a cabo actividades orientadas al buen uso y cuidado del laurel. Adicionalmente, con los datos obtenidos de los cuestionarios realizados se pudo notar una relación entre la disminución del laurel y los distintos usos de la especie que podrían estar provocando su sobreexplotación. De manera general, el crecimiento demográfico ha sido un factor importante que ha contribuido a la pérdida de la biodiversidad en México, por lo que las alternativas sustentables son muy requeridas en la actualidad.

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C. P. 50090, Tel. 52(722)2965552. Correo electrónico: vicaviak@gmail.com.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias, UNAM, Circuito Exterior, s. n., Coyoacán, Ciudad Universitaria, C. P. 045510, Ciudad de México, Tel. 52(55)56224992. Correo electrónico: stephania@ciencias.unam.mx

## Introducción

El municipio de Isidro Fabela forma parte de la subcuenca de la presa de Guadalupe (CPG) dentro del Estado de México y al noroeste de la Ciudad de México, junto con los municipios de Jilotzingo, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza y Cuautitlán Izcalli, principalmente. En general, la gran Cuenca de México cuenta con una gran diversidad de especies, dentro de las cuales el grupo más abundante son las plantas, con un aproximado de 2 305 especies; particularmente, la subcuenca de la presa de Guadalupe posee más de 650 especies de plantas, de las cuales alrededor de 200 son de importancia utilitaria (Ávila-Akerberg y González-Martínez, 2016).

La ubicación del Estado de México es determinante para la composición de su diversidad biológica. Al contar con climas, topografías y relieves heterogéneos, posee cualidades particulares que permiten el desarrollo de una amplia biodiversidad, en un territorio que apenas representa 1% de la superficie nacional. Su localización dentro de la provincia de los lagos y volcanes del Anáhuac le ha permitido contar con amplios contrastes altitudinales en su territorio, desde las zonas cercanas a los 300 msnm, donde se desarrolla la selva baja caducifolia, hasta planicies ubicadas entre los 2 250 y 2 600 msnm, que corresponden a la cuenca de México y a la cuenca del río Lerma, donde predominan los bosques templados, los matorrales xerófilos, los humedales y los pastizales de altura (Ceballos *et al.*, 2009).

En su conjunto, todos estos elementos han jugado un papel determinante en la generación de importantes procesos naturales y servicios ambientales, los cuales representan en gran medida un sustento para el desarrollo socioeconómico del estado y, en general, del Valle de México. Actualmente, gran parte de los servicios ecosistémicos y de los ecosistemas que los generan se ven afectados por manejos no adecuados de los mismos y por un acelerado crecimiento urbano. De esta manera, los distintos ecosistemas que se desarrollan a lo largo de la CPG son altamente susceptibles a sufrir algún tipo de alteración y fragmentación como producto de actividades humanas.

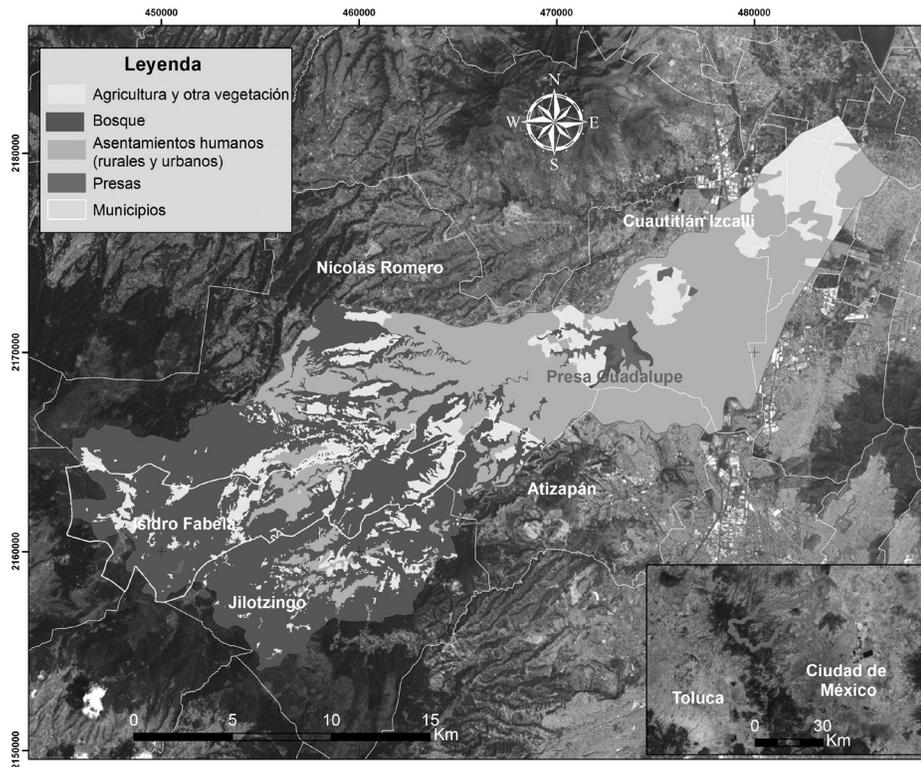
Al ser una región que resguarda aproximadamente 28% de la flora total de la Cuenca de México, es necesario generar esfuerzos por conocer y documentar dicha diversidad, su estado actual y su interacción con diversos factores sociales y económicos.

*Litsea glaucescens* es una planta considerada nativa de México, pero que posee una amplia distribución en el país, con poblaciones que se ubican en la mayoría de las zonas montañosas, excepto en las penínsulas de Yucatán y Baja California (Jiménez-Pérez y Lorea-Hernández, 2009). A lo largo de su zona de distribución, esta especie recibe varios nombres comunes: laurel, laurel silvestre, laurelillo, laurel de olor, laurel de campo, laurel delgado, “ecapatli”, “cuauhxi-

huitl” (en náhuatl), “wixi tika’a”, “tu Káa”, “yucú ñesachoetiaá” (mixteco) y “sanshiño” (mazahua) (Dávila-Figueroa *et al.*, 2016). El laurel puede ser considerado un árbol o una planta arbustiva de 3 a 12 m de alto, posee hojas que van de alternas a opuestas, sus láminas pueden ser penninervadas y rara vez triplinervadas, y pueden presentar o no pubescencias. Tiende a desarrollarse entre los 800 y los 2830 msnm, en cañadas o lugares muy accidentados, cercanos a cuerpos de agua o a orillas de arroyos, dentro de bosques de encino, pino-encino y bosques mesófilos de montaña (Luna-Vega, 2003).

Según Tejeda *et al.* (2000) y Luna-Vega (2003), el laurel es el recurso forestal no maderable más importante de los bosques de encino o pino-encino de México. Este recurso ha sido explotado durante mucho tiempo para diferentes fines que van desde los religiosos y medicinales, hasta los alimenticios; consecuentemente, esto ha ocasionado su sobreexplotación prácticamente en todos los lugares en los que se distribuye. De la planta, las hojas y las ramas son las más utili-

FIGURA 1. Mapa de localización de la cuenca presa de Guadalupe. Se muestra el límite del municipio de Isidro Fabela y otros municipios, así como la vegetación y uso de suelo



zadas; la colecta de manera intermitente de éstas causa no sólo una reducción de la superficie fotosintética de la planta, sino también una disminución de su capacidad de dispersión. Lo anterior, aunado a factores como la deforestación, la destrucción de los bosques donde habita, para fines agrícolas y ganaderos, y la inexistencia de un plan para su manejo, así como un reglamento para su aprovechamiento (Luna-Vega, 2003), ha resultado en la desaparición de poblaciones naturales, por lo que actualmente se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010, dentro de la categoría P: en peligro de extinción.

Por estas razones, el objetivo de este trabajo es conocer el manejo tradicional y el estado de conservación actual del laurel (*Litsea glaucescens*) en México y en particular en el municipio de Isidro de Fabela, Estado de México, así como plantear posibles estrategias para su manejo sustentable.

## Materiales y métodos

Se recopiló información provista por algunos habitantes de Tlazala, cabecera del municipio de Isidro Fabela, con el fin de obtener más datos acerca de la utilidad y los recursos que obtienen como comunidad y como individuos de esta planta, así como la manera en que los obtienen y los cuidados que tienen al hacerlo. Con base en el análisis de toda la información recopilada se ideó una propuesta para lograr una explotación adecuada y sostenible de los recursos no maderables que se obtienen de dicha planta.

Como parte del trabajo de campo, se realizaron 22 cuestionarios, dirigidos a la población adulta y a adultos mayores de Tlazala (14 mujeres, ocho hombres); los participantes fueron elegidos aleatoriamente. Las preguntas incluidas fueron las siguientes:

1. ¿Conoce el laurel?
2. ¿De qué otra manera lo conoce?
3. ¿Lo utiliza o lo ha utilizado?
4. ¿Para qué lo ha utilizado?
5. ¿Cómo consigue la planta y dónde?
  - a) Si la compra: ¿cuánto cuesta y dónde la compra?
  - b) Si la vende: ¿a qué precio la vende?, ¿la vende sola o junto con otras plantas? y ¿qué tanto se vende?
  - c) Si la colecta de manera directa, ¿a dónde va o dónde la colecta?, ¿cómo la corta?, ¿qué tan seguido la colecta?, ¿paga para poder colec-

tarla?, ¿cada cuánto se da en su medio?, ¿en qué cantidad percibe que está presente de manera silvestre o natural?

d) Si lo cultiva: ¿cómo la cultiva?, ¿dónde?, ¿cuánto dinero invierte?, ¿la cultiva para uso personal o para venta?

6. ¿Sabe de la situación actual de la planta?

7. ¿Conoce los factores que afectan a la planta?

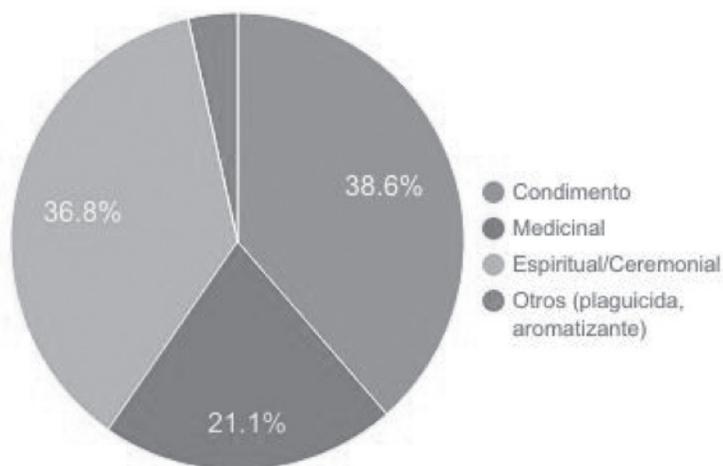
## Resultados

Los resultados que se presentan a continuación son planteados en el contexto del principal objetivo del presente trabajo; concretamente, con el fin de lograr un acercamiento inicial a los distintos usos tradicionales que se le han dado al laurel dentro de la región de interés, además del conocimiento actual de los habitantes sobre la condición actual de este recurso biótico.

A continuación se presenta una síntesis de las respuestas obtenidas y recopiladas, así como una serie de gráficas que muestran gran parte de la información resultante. No obstante el limitado tamaño de la muestra trabajada, la información obtenida a partir del instrumento utilizado permitió identificar una tendencia en las respuestas respecto de los usos del laurel, su manera de obtención y su conocimiento; así, de acuerdo con los resultados, se notó que en la localidad de Tlazala, municipio de Isidro Fabela, la importancia del laurel está orientada en mayor proporción a fines alimenticios, al ser utilizado como condimento en distintos platillos de la cocina cotidiana. En segundo lugar, se encuentra el uso ornamental de la planta, la cual se utiliza en las ceremonias religiosas efectuadas durante el Domingo de Ramos, en Semana Santa, además de que se cree que al quemar una rama de laurel bendito se ahuyenta a las tormentas próximas. En tercer lugar, se encuentran los usos medicinales, los cuales, con base en las respuestas obtenidas, van desde la preparación de infusiones para tratar malestares relacionados con problemas en las vías respiratorias, como la tos, así como malestares estomacales, hasta la aplicación en baños para mitigar malestares posparto. Igualmente, las ramas pueden ser quemadas para disminuir el estrés. En último lugar, se encuentran otros usos, como aromatizantes y potenciales plaguicidas naturales.

Respecto de la segunda gráfica, se puede ver que la mayoría de las personas entrevistadas obtienen al laurel mediante su compra en mercados y tiendas, en las cuales el precio oscila entre siete y 15 pesos, aunque se reconoce que en los últimos años hubo un aumento relativo en su precio, ya que antes llegó a costar cinco pesos el manojo, el cual normalmente consta de distintas hierbas de olor, como tomillo, romero y hierbabuena. En el caso de las personas que lo venden,

FIGURA 2. Usos que dan los entrevistados al laurel



se observó que lo obtienen de diversos sitios; por ejemplo, de Toluca, de la Central de Abastos de la Ciudad de México, de la Colonia Laureles en el municipio de Isidro Fabela y de la localidad Transfiguración en el municipio de Nicolás Romero. En segundo lugar, los cuestionarios arrojaron que 31.8% de las personas con las que se trabajó, poseen un ejemplar en sus propiedades en la mayoría de los casos se mencionó que no requiere cuidados intensivos, ya que los árboles son regados esporádicamente y la cantidad de agua destinada para su riego es relativamente baja; únicamente una persona comentó que abona su árbol con estiércol de animales. Los ejemplares que tienen en sus casas están destinados a uso personal y para regalarlo. Por último, a 9.1% de las personas se lo regalan.

En la figura 4 se muestra que la mayoría de las personas participantes desconoce la situación actual de la planta (50%). Después, en orden decreciente, 22.7% ha notado una disminución de su abundancia en su medio natural; por el contrario, 18.2% de las personas desconocía que el laurel se distribuía en la región. Finalmente, sólo 9.1% del total estaba consciente del estado actual de conservación de esta planta.

Cabe resaltar que algunas de las personas de la región mencionaron que en un periodo de 20 a 30 años atrás, días antes de que la celebración de Domingo de Ramos, en Semana Santa, tuviera lugar, era común no sólo la extracción de laurel, sino también su venta, así como la comercialización de los respectivos arreglos ornamentales contruidos a partir del laurel, por parte de personas pertenecientes al municipio de Temoaya, ubicado al este del municipio de Isidro

FIGURA 3. Formas de obtención del laurel por los entrevistados

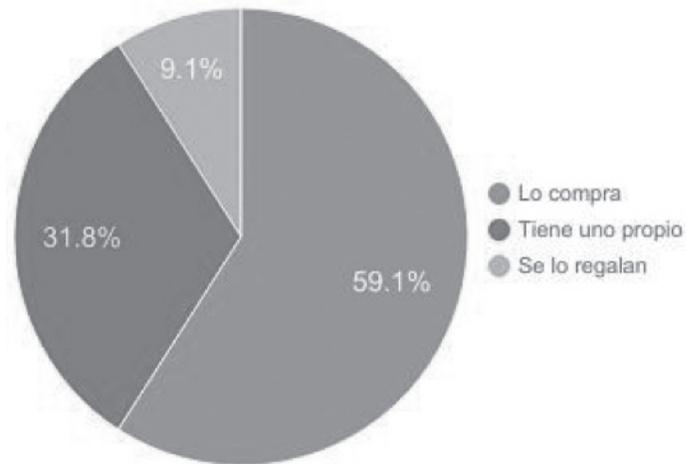
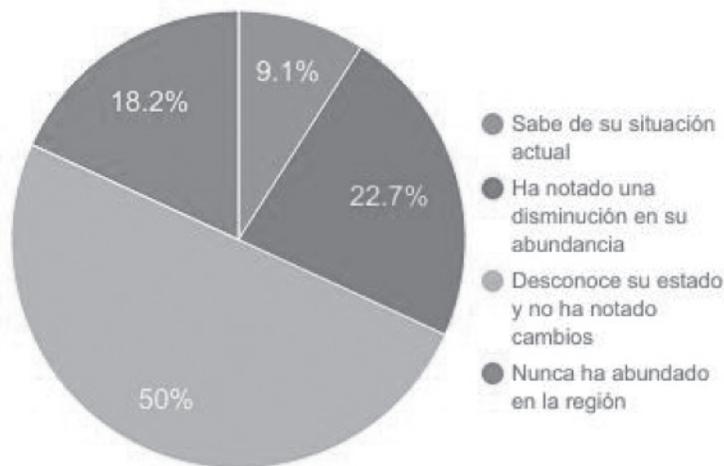


FIGURA 4. Conocimiento de los entrevistados sobre el estado de conservación actual del laurel y su categoría de riesgo



Fabela y de la localidad de interés; sin embargo, esta es una actividad que actualmente ya no se lleva a cabo.

De la misma manera, aquellas personas que afirmaron ser capaces de reconocer el laurel en su medio natural, mencionaron que dentro de las porciones de bosque que circundan la localidad de Tlazala se ha observado una disminución considerable en el número de individuos de laurel silvestre, así como que éstos se restringen a zonas específicas dentro de los ecosistemas forestales en

cuestión, tales como laderas y lugares accidentados; generalmente asociados a cuerpos de agua y, en algunos casos, a manchones de encino.

## Discusión

Como se mencionó previamente, por sus usos tradicionales y por su elevado potencial de aprovechamiento, el laurel silvestre es una de las especies forestales no maderables de mayor importancia en México (Tejeda *et al.*, 2000). Esto se ve reflejado en dos grandes aspectos: el primero es que la mayor parte de sus usos está relacionada con algún fin alimenticio, y el segundo es que representa un recurso con un elevado valor cultural-religioso, al estar involucrado en una de las celebraciones religiosas más importantes para la población católica a nivel nacional, sólo después del Día de la Virgen de Guadalupe: el Domingo de Ramos en Semana Santa. Si bien gran parte de los usos actuales del laurel no se han asociado de manera directa a un conocimiento tradicional indígena (Montañez Armenta *et al.*, 2011), tienen una importancia cultural fundamental en cuanto a las actividades religiosas de la fe católica en todo el país. Según cifras arrojadas por censos realizados por el INEGI en 2010, el 89.3% de la población mexicana profesa la religión católica, de tal manera que esto hace que la demanda de un recurso que parece fundamental para la perpetuación de una tradición religiosa fuertemente arraigada entre la población sea sumamente elevada. Lo anterior, aunado a muchos otros factores, ha ocasionado que esta planta se vea sometida a un uso intensivo no regulado. Es sabido que las ramas y las hojas son las partes de interés; así, su aprovechamiento, en la mayoría de los casos, se realiza en terrenos o predios donde la vigilancia o la restricción para el acceso y para su extracción son mínimas, es decir, lugares donde realmente no existen planes de aprovechamiento sostenibles, que promuevan su manejo de forma organizada.

En cuanto al conocimiento acerca del estado actual del laurel en su medio natural, como se mencionó previamente, se ha observado que en la región de interés ha habido una disminución significativa en el número de individuos de las poblaciones de laurel silvestre, esto debido a un conjunto de distintos factores, de los cuales, ciertamente, la extracción no regulada del laurel de su medio natural ha sido uno de los más relevantes. En un estudio realizado por Dávila Figueroa *et al.* (2011), y según información provista de manera directa por comuneros locales en el municipio vecino de Jilotzingo, se ha observado que los tejidos preferidos por las personas que realizan la extracción son los extremos apicales de las ramas, en los cuales se desarrollan los meristemos florales de esta especie, lo que no sólo evita que haya un mayor crecimiento vegetal (disminuyendo así la posibilidad de llegar a la fase adulta reproductiva) de la planta, sino que también limita en gran medida la producción de flores y, por ende, la capa-

cidad reproductiva y de dispersión de la misma. Lo anterior podría tener algún tipo de relación con el hecho de que en varios estudios y trabajos anteriores (Dávila-Figueroa, 2011; Dávila Figueroa *et al.*, 2011) se ha visto que la proporción de plantas macho es mayor que la proporción de plantas femeninas; igualmente, uno de los pobladores del municipio de Isidro Fabela mencionó que las plantas hembra son las únicas capaces de dar origen a un nuevo individuo, mientras que las plantas macho no poseen esa capacidad; de esta manera, si en los pocos trabajos que existen acerca de la estructura y el estado de las poblaciones naturales de laurel silvestre en México, se ha observado que la densidad de plantas masculinas es mayor a la de plantas femeninas, se podría establecer una relación entre el manejo inadecuado y su extracción desmedida, y la disminución de sus poblaciones en los medios naturales: si existe una mayor cantidad de plantas masculinas que de plantas femeninas, los procesos reproductivos se ven limitados, ocasionando que la producción de semillas y la dispersión de individuos, así como el aumento de la densidad en las poblaciones, sean mínimos. Esto evidencia su estatus como especie en peligro de extinción, el hecho de que esté incluida dentro de una norma oficial y que, por lo tanto, haya políticas legales que condicionen su explotación, por considerarla una actividad ilegal, no detienen ni disminuyen las actividades que a lo largo de muchos años han representado el principal factor de riesgo para las poblaciones de esta planta.

Gran parte (59%) de los cuestionarios arrojaron que en el sitio de interés la mayoría de las personas obtienen el laurel en tiendas o mercados locales o de ejemplares plantados dentro de sus propiedades. Son escasas las personas que se dedican a su recolección de manera directa en las áreas forestales periféricas a la región; incluso aquellas personas que se dedican a su venta no lo adquieren localmente, sino que tienden a surtirse de mercados o centrales de abasto ubicadas fuera de la región, como Toluca y la Central de Abastos de la Ciudad de México. Esto puede estar relacionado con el hecho de que aún hay un número considerable de personas que desconoce que el laurel silvestre se distribuye y se desarrolla en la región en la cual habitan, así como con el hecho de que en los fragmentos de bosque que rodean el municipio de Isidro Fabela y en otros más en el seno de municipios vecinos, como el de Jilotzingo, las poblaciones naturales de esta planta se encuentran muy reducidas o incluso ausentes en su totalidad, lo cual es producto de un conjunto de factores como la explotación que ha sido persistente durante muchos años, el incremento de los incendios forestales, el cambio de uso del suelo, principalmente con fines agrícolas, el acelerado crecimiento del sector urbano y la pérdida de hábitat. Se observó que en Tlazala existen más ejemplares plantados en predios particulares que en su medio natural. Considerando los resultados del instrumento utilizado, se observa que existe un desconocimiento generalizado del estado actual del laurel, tanto local como regionalmente. Asimismo, muchas personas reconocieron que no eran

capaces de distinguir un ejemplar de laurel en su medio, por lo que el interés y el conocimiento de la población de Isidro Fabela sobre esta planta es cada vez menor, probablemente debido a que con el tiempo son menos las personas que se dedican al campo y conocen los recursos bióticos propios del bosque.

Debido a la situación actual de *L. glaucescens* (SEMARNAT, 2006), que hasta cierto punto puede considerarse crítica y alarmante, y a la importancia que posee como recurso forestal no maderable para el país en general, por todos los usos que se le dan, consideramos que es de urgencia sumar esfuerzos no sólo para desarrollar y generar estrategias que permitan que exista un aprovechamiento adecuado y sostenible de este recurso, sino que también haya rigurosidad en la aplicación de las restricciones legales y en los planes para su manejo y su adecuada vigilancia, lo cual, al tratarse de una especie en peligro de extinción, se convierte en una labor necesaria y obligatoria. Igualmente, es urgente que el conocimiento acerca de las poblaciones naturales de laurel silvestre en México y en las regiones de interés sea cada vez mayor. A pesar de que hay antecedentes de proyectos para el replantamiento de las áreas de distribución históricas del laurel (Montañez Armenta, 2006), generalmente los procesos implicados se ven limitados por la falta de información de las condiciones ecológicas que determinan la supervivencia de esta planta en el medio natural, además de que se carece de elementos diagnósticos suficientes sobre el estado actual de sus poblaciones. Las estrategias de conservación *in situ* de los recursos forestales siempre deben tener como base el uso sustentable de los mismos, pero ésta se vuelve una tarea imposible si se carece de información sobre las condiciones poblacionales de las diferentes especies que constituyen a las comunidades forestales, porque de esta manera no es posible definir prioridades de conservación y de utilización de los recursos.

### *Opciones para su conservación y aprovechamiento sustentable*

La opción que se plantea para que el laurel tenga un uso sustentable es, precisamente, fomentar su reforestación en primera instancia. Para obtener las plantas es necesario que la comunidad solicite a Probosque u a otra dependencia forestal del país un lote de plantas para su reforestación, las cuales otorgan de manera gratuita.

Además de solicitar el lote es fundamental que las personas que adquieran las plantas cuenten con la información necesaria sobre los cuidados básicos, de manera que la planta pueda continuar con su ciclo de vida sin ningún problema en vida silvestre.

Al realizar esta actividad integrando la información teórica y práctica sobre el cuidado del laurel se garantizará su crecimiento en población de manera que podría ayudar a recategorizarla de acuerdo con la NOM-059.

De manera adicional, el personal de Probosque está capacitado para brindar información sobre la siembra de ciertas especies, por lo que la comunidad puede solicitar la capacitación para llevarla a cabo de manera autónoma.

Otra opción que podría resultar útil, y que ahora es posible, es la regeneración *in vitro* del laurel silvestre a través de embriogénesis somática indirecta partiendo de embriones cigóticos maduros. En primera instancia parecería un proceso complicado, pero según el trabajo realizado este sistema de regeneración puede ser una herramienta importante para el manejo racional de esta especie, además de que es susceptible de ser escalado para generar una gran cantidad de plantas (Dávila Figueroa *et al.*, 2016).

Todo esto debe ir acompañado de un proceso de educación ambiental en el que se muestre a la gente los usos del laurel, su categoría de riesgo y las opciones para su propagación.

## Conclusiones

- En el municipio de Isidro Fabela gran parte de la importancia del laurel radica en su uso con fines alimenticios, pues es utilizado como condimento y como hierba de olor en platillos de la cocina cotidiana. En segundo lugar, se observó que posee un elevado valor cultural y religioso, porque es ampliamente utilizado en Semana Santa para una importante festividad religiosa (Domingo de Ramos).
- Con la información recopilada es posible establecer una relación directa entre los usos y el manejo poco adecuado (la extracción y la explotación de esta planta de su medio con fines utilitarios) que se le ha dado al laurel a lo largo de muchos años. De esta manera, una consecuencia inminente de dicha relación es el estado actual de riesgo en el que se encuentra la planta.
- Una baja proporción de las personas entrevistadas está al tanto de la situación actual de *L. glaucescens* en cuanto a su categoría de riesgo.
- Al ser el laurel silvestre uno de los recursos forestales no maderables más importantes de México, el desarrollo de planes para su conservación y manejo sostenible que involucren y promuevan la participación de los grupos sociales que hacen uso de este recurso y que están en contacto directo con los sistemas naturales en los que se desarrolla, así como de estrategias para la recuperación de sus poblaciones en el medio natural, es de gran relevancia, por lo que deberían ser implementados en la brevedad.

- Podríamos relacionar el crecimiento demográfico, exponencial y descontrolado, con el riesgo continuo en el que se encuentra la diversidad biológica y ecológica en México, por lo que se vuelve de carácter urgente sumar esfuerzos para conocerla cada vez más, desarrollar estrategias para el uso adecuado y sostenible de los recursos que se derivan de ella, así como reconocer y comprender cuáles son los factores que afectan a una determinada población o especie, cuáles son las comunidades y los grupos sociales que están involucrados directamente en el tema y cómo es el tipo de interacción entre éstos y la especie o ecosistema de interés.

## Bibliografía

- Ávila-Akerberg, V., y T. González Martínez (2016), “Participación social y educación ambiental para la conservación. Un estudio de caso con niños y jóvenes de una zona rural periurbana”, *Teoría y Praxis*, 19: 119-136.
- Ceballos, G., R. List, G. Garduño, R. López Cano, M. J. Muñozcano Quintanar, E. Collado y J. E. San Román (comps.) (2009), *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado*, Biblioteca Mexiquense del Bicentenario, México, 527 pp.
- Comisión de Cuenca Presa de Guadalupe (2017), “Presentación de la organización”. Recuperado de <http://www.monroban.org/es/annuaire/details/43>.
- Dávila Figueroa, C. A. (2011), “Estudio ecológico y biotecnológico del laurel (*Litsea glaucescens*) en Aguascalientes, México”, tesis de doctorado, Centro de Ciencias Básicas-Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes.
- , F. J. Flores Tena, F. Morales Domínguez, R. Clark Tapia y E. Pérez Molphe Balch (2011), “Estatus poblacional y niveles de aprovechamiento del laurel silvestre (*Litsea Glaucescens Kunth*) en Aguascalientes”, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4): 47-59.
- , F. J. Morales Domínguez, M. L. de la Rosa Carrillo y E. Pérez-Molphe Balch (2016), “Regeneración *in vitro* del laurel silvestre (*Litsea Glaucescens Kunth*) a través de embriogénesis somática”, *Rev. Fitotec. Mex.*, 39(2): 123-131.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), “Censo poblacional de 2010”. Recuperado el 13 de abril de 2017 de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/religion/>.
- Jiménez Pérez N. C., y F. G. Lorea-Hernández (2009), “Identity and Delimitation of the American Species of *Litsea* Lam. (*Lauraceae*): A Morphological Approach”, *Plant Systematics and Evolution*, 283: 19-32.
- Luna Vega, I. (2003), “*Litsea glaucescens*. Taxones del bosque mesófilo de mon-

- taña de la Sierra Madre Oriental incluidos en la Norma Oficial Mexicana”, Herbario FCME-Bases de Datos SNIB-CONABIO, Proyecto W025.
- Montañez Armenta, M. P., E. Valtierra Pacheco, S. M. Medina Torres (2011), “Aprovechamiento tradicional de una especie protegida (*Litsea glaucescens*) en Sierra del Laurel, Aguascalientes, México”, *Ra Ximhai. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 7(2): 155-172.
- SEMARNAT-NOM-059 (2010), “Norma Oficial Mexicana 059. Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo”.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2006), “*Litsea Glaucescens* Kunth, 1817”. Recuperado de <http://www.SEMARNAT.gob.mx/pfnm/LitseaGlaucescens.html>.
- Tejeda, G., M. Zamora y R. Sánchez (2000), “Nonwood Forest Products in Mexico: Current Status and Perspectives”, en *North American Forestry Commission. Proceedings of the Forest Products Study Group Workshop*, Forest Products Society-USDA Forest Service, Mérida, Yucatán, México, pp. 35-50.



# Aprovechamiento recreativo de los hongos comestibles silvestres y sustentabilidad. Análisis comparativo entre el centro de México y el norte de España

HUMBERTO THOMÉ-ORTIZ,  
ANGÉLICA ESPINOZA ORTEGA  
LUIS BRUNETT PÉREZ\*

## Resumen

Con la consolidación de las sociedades industriales avanzadas, los ecosistemas han experimentado un deterioro, asociado con el paradigma extractivista de los recursos naturales. En el caso de los bosques templados se han desarrollado modelos de gestión forestal que implican transitar de una visión exclusiva de aprovechamiento de los recursos maderables a la diversificación hacia otros recursos forestales no maderables como los hongos. Entre las nuevas actividades desarrolladas en los bosques se encuentra el turismo, dentro del cual el micoturismo es una modalidad intermedia entre la naturaleza y la cultura, basada en la contemplación, recolección y consumo de los hongos en su hábitat natural. Se realiza una aproximación exploratoria y de tipo cualitativo a dos estudios de caso que, a través de un análisis comparativo, buscan identificar los criterios de sustentabilidad del micoturismo en dos escenarios diferenciados. Los resultados muestran que esta nueva actividad tiene cierto potencial para la conservación ambiental en términos de la regulación del aprovechamiento de los recursos micológicos; igualmente se asume que es una actividad económica complementaria que puede incrementar entre siete y nueve veces el valor convencional de la recolección autóctona de hongos. Por otra parte, se observa que la inserción del turismo puede generar nuevas tensiones sociales dentro del territorio. Se concluye que el micoturismo puede incentivar la sustentabilidad de los ecosistemas forestales en la medida en que cuente con un soporte institucional para su regulación, una base organizativa para su gestión y responsabilidad social para su desarrollo.

*Palabras clave:* micoturismo, desarrollo sustentable, servicios ecosistémicos.

\* Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México.

## Introducción

Derivado de los procesos de reestructuración productiva, el ámbito rural ha sido uno de los más afectados desde la perspectiva económica, pero también ha experimentado importantes transformaciones de índole sociocultural (Barcena *et al.*, 2012). Muchos de estos cambios tienen que ver con procesos de revalorización de los recursos naturales y culturales del campo, asociados con el creciente proceso de globalización (Beck, 1998). La mayoría de estas transformaciones ha afectado negativamente las actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

El caso particular de los bosques ilustra una clara problemática relacionada con factores como la tala inmoderada, el cambio climático y la urbanización (Chapela, 2012). En otro sentido, la conservación y recuperación de los bosques se muestra como una actividad poco atractiva para las comunidades, puesto que no permite una remuneración económica significativa para generar condiciones de vida aceptables. Muchas áreas forestales alrededor del mundo reportan altos índices de marginación socioeconómica. Más de la mitad de su población vive en condiciones de pobreza extrema y la migración es la opción para quienes no consiguen sobrevivir de las actividades agroforestales (Chapela, 2012).

El aprovechamiento forestal de recursos maderables ha sido la principal actividad en zonas boscosas, debido a que permite generar una serie de insumos para su autoconsumo y comercialización. Sin embargo, el enfoque del bosque como fuente de recursos maderables incide negativamente en la pérdida de masa forestal y pasa por alto la importancia económica y cultural de otros recursos forestales no maderables como los hongos comestibles silvestres (HCS) (Boa, 2005)

De acuerdo con lo anterior, puede afirmarse que la gestión forestal de los bosques es un aspecto de importancia central para la sociedad, debido a la gran diversidad de servicios ambientales que estos ecosistemas prestan desde el punto de vista del aprovisionamiento de bienes de consumo, la regulación de los ciclos naturales y sus impactos en el bienestar social y cultural de los grupos humanos. Paradójicamente, puede observarse que son los bosques los principales escenarios naturales afectados por procesos de fragmentación, derivados de la presión antrópica sobre sus recursos.

En los últimos años se ha observado una tendencia en las políticas públicas hacia la diversificación productiva forestal, en convergencia con acciones específicas orientadas hacia la conservación y la restauración. Una de estas formas de diversificación es el turismo, pero aún no se conocen con precisión sus impactos en los ámbitos social, ambiental y económico. Por ello es de suma importancia explorar los efectos del aprovechamiento turístico de los bosques en diferentes contextos socioculturales con el fin de tener un panorama más claro de la reestructuración productiva del espacio rural.

La mayoría de los estudios confiere una importancia central al papel del turismo en el abatimiento del estado crítico de la economía rural, así como a la necesidad de la sociedad urbana de contacto con la naturaleza (Thomé-Ortiz, 2010). Eso significa que el enfoque del turismo en espacios forestales presenta un sesgo como estrategia de diversificación productiva y reactivación económica del campo, pero ha dedicado una escasa atención a examinar en qué medida se desarrolla bajo preceptos sustentables. Desde nuestra perspectiva, lo anterior no es un aspecto irrelevante pues expresa el talante economicista y la lógica de crecimiento del turismo convencional aplicado al contexto rural, el cual se observa como un escenario para motivar un producto turístico homogéneo y escasamente creativo, basado en un modelo de alojamiento y actividades complementarias, fácil de encontrar en diferentes territorios forestales.

El proyecto de reconversión productiva de los espacios forestales que subyace a las políticas de aprovechamiento recreativo de los bosques afecta particularmente a las zonas indígenas, pues al ser un modelo homogéneo atenta contra la singularidad que caracteriza a estas comunidades. Al respecto debe considerarse que los bosques son ocupados, en su mayoría, por grupos étnicos (Boege, 2012).

Se entiende por desarrollo sustentable aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, desde una perspectiva de equidad social (ONU, 1987). Se trata de una actividad que puede ser continuada en el futuro, con un triple componente: económico, social y ambiental (Towsend, 2008), que en términos turísticos puede expresarse de la siguiente forma:

- a) Dimensión económica, de acuerdo a su capacidad para generar ingresos económicos con pocos impactos ambientales.
- b) Dimensión medioambiental, a través de su capacidad para conservar y mejorar la cantidad y la calidad de los recursos naturales, siendo esta dimensión un aspecto restrictivo a la lógica de crecimiento.
- c) Dimensión social, basada en la equidad intergeneracional e intrageneracional.

La gestión sostenible del turismo en espacios forestales supone guardar el equilibrio en la relación, no pocas veces ambivalente, que existe entre la economía, el ambiente y la sociedad (Pulido y Yaiza, 2012).

Lo anterior expresa la necesidad de equilibrar la ponderación de los servicios ambientales que proveen los espacios naturales, pues los servicios de regulación, aprovisionamiento y recreativos (Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report, 2005) son igualmente importantes para una sociedad que no sólo

requiere insumos materiales, sino también contenidos simbólicos que ayuden a definir el sentido de su existencia.

De acuerdo con ello se busca entender si el turismo micológico, en diferentes contextos, se muestra como una actividad sustentable, que busca un equilibrio entre los intereses sociales, económicos y ecológicos, o, dicho de otra forma, cómo la integración de las actividades económicas y recreativas incide en la conservación de los recursos naturales y culturales (Molina, 1998), en este caso los relacionados con los HCS.

La mayoría de las iniciativas turísticas en los espacios forestales se basa en el despliegue de infraestructura y equipamiento, puesto que son aspectos que permiten un ejercicio eficiente del gasto público y aportan una mayor visibilidad política. Sin embargo, soslayan el problema central de incorporar nuevas actividades productivas que las comunidades no pueden absorber por falta de capacidades, recursos materiales y humanos (Renard y Thomé Ortiz, 2010; Thomé Ortiz *et al.*, 2014; Thomé Ortiz, 2015a).

Una cuestión sustantiva en la transición de los territorios forestales a territorios multifuncionales es el desarrollo de nuevas capacidades colectivas (Quispe, 2006), específicamente las habilidades requeridas por la actividad turística. Dentro de estas actividades se observa un potencial especial en el turismo micológico, al ser las zonas forestales culturalmente micofágicas, micofílicas y con una gran diversidad de HCS.

El posicionamiento de la actividad micoturística en diversas zonas del planeta se basa en el interés creciente por la cultura micológica (Lázaro, 2008). El micoturismo es una modalidad de turismo rural en la que convergen naturaleza y cultura. Su propuesta recreativa se basa en la recolección, degustación y aprendizaje sobre los HCS. Casos como el español demuestran que esta actividad puede constituir una herramienta para el desarrollo rural, un mecanismo de regulación de los recursos forestales no maderables y una estrategia de ordenamiento territorial (Thomé Ortiz, 2015b).

A lo anterior hay que sumar que existe un creciente interés por los alimentos silvestres y sus paisajes asociados. En Japón se ha documentado la utilización sustentable de las plantas comestibles silvestres (Chen y Qiu, 2012; Dweba y Merans, 2011). En Europa destaca la vinculación entre senderismo y alimentos silvestres a través de la formación de una red de parques micoturísticos (Lázaro, 2008). Mientras que en México son crecientes las iniciativas como Micoturismo México en el Volcán de Tequila; Micológica en la Sierra Norte de Oaxaca o las Ferias del Hongo de Cuajimuloyas, Senguio, Acaxoxhitlán, Lagunas de Zempoala y Cuajimalpa (Thomé Ortiz, 2015a).

La comparación sobre el aprovechamiento recreativo de los HCS en dos escenarios diferenciados permite establecer los retos y las oportunidades que subyacen a dos diferentes modelos de gestión turística forestal, con lo cual se pueden

aportar elementos para la comprensión del turismo rural en general y del turismo micológico en particular. En el caso de España destacan las siguientes especies a lo largo del año: *Calocybe gambosa*, *Boletus edulis*, *Boletus aereus*, *Boletus aesti*, *Boletus Pinophilus*, *Lactarius sp* y *Hygrophorus sp*. Mientras que en el caso de México se colectan especies como: *Amanita grupo caesarea*, *Hebeloma aff. Mesophaeum*, *Clitocybe gibba*, *Boletus appendiculatus*, *Helvella crispa*, *Helvella lacuosa* y *Morchella esculenta*.

El supuesto de investigación de este capítulo es que los modelos de gestión micoturística sustentable deben contener componentes de orden social, económico, político y ambiental, entre los cuales debe primar un equilibrio. No obstante, cada contexto en el que el turismo micológico es desarrollado implica diferentes mecanismos de gestión de la actividad que están supeditados a las características naturales, culturales y etnológicas del territorio. De acuerdo con ello, el objetivo de este capítulo es identificar y comparar, desde la perspectiva de la sustentabilidad, los mecanismos de aprovechamiento recreativo de los HCS en dos contextos diferentes en los que se practica el micoturismo. Para ello el trabajo se estructura de la siguiente forma: seguido de este apartado introductorio se presenta una nota metodológica; posteriormente, se abordan los modelos micoturístico español y mexicano para ser analizados a la luz del concepto de sustentabilidad. Dichos modelos y sus implicaciones son comparados con los estudios sobre micoturismo en otras partes del mundo. Finalmente se presenta el apartado de conclusiones.

## Materiales y métodos

A partir de una investigación bibliográfica y de referentes empíricos se desarrollaron dos estudios de caso particulares (Stake, 2000) sobre el aprovechamiento recreativo de los HCS. El primer caso se refiere a la provincia de Soria, en España, que es un espacio pionero en el desarrollo del micoturismo y donde opera el proyecto MYAS (Micología y Aprovechamiento Sostenible en 11 municipios de la provincia de Soria), que es una iniciativa centrada en la puesta en valor y conservación de las especies micológicas de importancia socioeconómica. El segundo caso aborda el estudio del proyecto Micoturismo México, que se desarrolla en el Volcán de Tequila, México, y es el primer intento por articular una oferta micoturística integral en el país.

Para la delimitación de los modelos se eligieron dos unidades de observación en las que existiera un aprovechamiento micológico diversificado con inclusión de actividades turísticas. Ambas zonas presentan bosques templados, con condiciones de humedad favorables para la fructificación de especies micológicas. Las dos unidades muestran suelos húmedos, con alta concentración de materia

orgánica y ricos en musgo. Se trata de comunidades que presentan una cultura micofágica respaldada con una base de conocimiento ecológico tradicional sobre la identificación, ubicación y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres. Un factor altamente contrastante se refiere a que en un caso existe un fuerte componente de regulación estatal (España) mientras que en el otro se observa el imperativo de usos y costumbres para tener acceso a los recursos forestales (México).

En cada caso se buscó analizar los componentes de la propuesta de turismo micológico, poniendo énfasis en sus componentes político, social, ambiental, económico y cultural.

Una vez identificados los elementos de cada propuesta se generó un modelo de aprovechamiento recreativo de HCS para cada caso. Ambos modelos fueron sometidos a un análisis comparativo con la finalidad de destacar sus similitudes y las diferencias, así como las implicaciones que ello tiene para la gestión forestal sustentable de los recursos micológicos.

Se trata de una investigación exploratoria, de carácter cualitativo, que presenta los resultados obtenidos a través del método narrativo. La interpretación de los datos obtenidos se desarrolló bajo las tradiciones de la antropología cultural y la sociología rural, con la finalidad de entender la emergencia del turismo sobre patrimonios bioculturales específicos, como los HCS, a partir de la lógica de reestructuración productiva del campo y como una vía de desarrollo endógeno sustentable.

## Resultados y discusión

### *El modelo micoturístico español*

España fue el primer país en desarrollar una propuesta micoturística integral en el mundo. Lo anterior se debe a que el manejo y aprovechamiento de los HCS se enmarcan dentro de las políticas de desarrollo rural de la Unión Europea, por lo que cuenta con vastos recursos económicos, institucionales y humanos provenientes de la Iniciativa Comunitaria LEADER (Liaison Entre Actions de Développement de l'Économie Rurale) y el proyecto MYAS. Dichos programas constituyen una visión holística sobre el aprovechamiento y la conservación de los recursos micológicos, siendo la cuestión turística un componente específico de dicha propuesta. En este modelo destaca el papel central de la regulación sobre los HCS, con lo que se persigue obtener beneficios económicos, la reproducción de la cultura micológica y la conservación de los HCS (Lázaro, 2008).

El modelo se basa en una propuesta integral de aprovechamiento de los RFNM, el cual se opone al paradigma clásico de protección, a través de políticas restric-

tivas sobre el aprovechamiento de los bosques. En el caso de los hongos, existe evidencia sobre la importancia de su aprovechamiento constante, a través de buenas prácticas de recolección, lo cual no constituye una amenaza para la continuidad del recurso sino que, por el contrario, estimula su reproducción en el largo plazo (Egli *et al.*, 2006).

Ciertamente, el modelo español tiene un sesgo economicista orientado al mercado. Ello implica que se centra en una política de incentivos para la creación de empresas de transformación de hongos, la creación de modelos micoturísticos comerciales integrados fuertemente al sector, la especialización en restaurantes micogastronómicos y el establecimiento de tiendas gourmet, entre sus principales actividades. Por ejemplo, el proyecto LEADER denominado Micología y Calidad agrupa a más de un centenar de establecimientos micológicos y representa una oferta micoturística única a nivel global. A partir de 2008 el Estado español ha impulsado estos proyectos de innovación territorial que buscan incorporar a los HCS dentro de modelos de gestión forestal integral. Ello tiene mucho que ver con la necesidad de incrementar la rentabilidad de los bosques a través de procesos de reglamentación para el desarrollo integral del sector (Micosylva, 2013).

Un aspecto fundamental del modelo es la generación de datos en flujo continuo que den una idea clara del estado de los bosques y de los recursos micológicos. Para ello se ha diseñado un Sistema de Información Micológica (SIM) denominado Micodeata, el cual tiene el objetivo de generar datos dinámicos para la localización y estimación de los recursos micológicos. El SIM ilustra la interacción entre el gobierno, la iniciativa privada y la academia, a partir de un modelo de triple hélice, toda vez que la información generada es responsabilidad del Instituto Europeo de Micología (Micosylva, 2013).

El modelo español puede sintetizarse en cuatro componentes esenciales: *i)* un soporte financiero institucional basado en el apoyo del Estado a través de diversos programas; *ii)* un marco regulatorio que incide en una normatividad clara sobre el aprovechamiento y la gestión de los HCS; *iii)* un SIM que aporta datos dinámicos sobre el recurso micológico, y *iv)* la existencia de un mercado nutrido por las nuevas tendencias del consumo turístico y alimentario.

El SIM mencionado contempla las especies de hongos con mayor relevancia socioeconómica y cultural, así como la identificación de aspectos como la abundancia, temporalidad, ecología y distribución. Entre sus principales usos se encuentra la estimulación de una cultura micológica y el fomento a las tareas de investigación dirigidas a la conservación y el mantenimiento de los recursos micológicos (Lázaro, 2008).

### *El modelo micoturístico mexicano*

El desarrollo de la actividad micoturística en México responde a un conjunto de situaciones críticas que afectan a las comunidades forestales (Thomé-Ortiz, 2016), en su mayoría pertenecientes a grupos étnicos altamente marginados. Esta actividad se ha desarrollado a partir de dos diferentes perspectivas: los destinos micoturísticos y las ferias alimentarias especializadas en hongos.

En general, estas iniciativas se han desarrollado desde la academia con un limitado soporte institucional y mínimos recursos financieros, tal como lo ilustra el circuito de Yoricostio, Michoacán, que se gestó con el apoyo de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el ayuntamiento de Morelia (Gómez y Zamora, 2012). Por su parte, el papel del capital social de los grupos organizados de recolectores de hongos ha sido un aspecto clave para su puesta en práctica.

La iniciativa Micoturismo México surgió de algunos estudios científicos sobre la micodiversidad del municipio de Tequila, en el estado de Jalisco. Lo anterior señala que el modelo mexicano carece de sistemas de información micológica y únicamente se basa en la existencia de inventarios micológicos básicos (Franco y Burrola, 2010). Igualmente, se percibe que este tipo de información no siempre se encuentra articulada con la sociedad, aspecto que conduce al aprovechamiento de los recursos micológicos por parte de pequeñas empresas que emergen de la iniciativa de actores ajenos a las comunidades recolectoras.

Sin duda, este tipo de proyectos sirve como plataforma de exhibición para los productos locales, cuya finalidad es mejorar la economía, a través de la comercialización de alimentos producidos localmente. En diferentes lugares de México ha surgido el interés por realizar ferias temáticas alrededor de los HCS, que sirven como eventos para la identificación del territorio y permiten acercarse a la cultura local de un modo vivencial (Armesto y Gómez, 2004). Sin embargo, la falta de una política de Estado referente a la micosilvicultura, su ordenamiento y su regulación, suelen incidir en una inadecuada gestión de los recursos micológicos.

El modelo mexicano refleja algunas cuestiones que pueden resumirse de la siguiente manera: *i*) un soporte financiero autogestivo generado con recursos de las propias comunidades y de pequeñas empresas o de recursos de investigación provenientes de proyectos específicos; *ii*) el “desdibujamiento” del Estado a partir de la falta de programas para el desarrollo del sector micológico y la carencia de marcos normativos para la regulación de los HCS; *iii*) la generación de sistemas de información micológica basados en el conocimiento taxonómico y los saberes ecológicos tradicionales, y *iv*) un mercado micoturístico incipiente que crece de manera lenta.

## Una aproximación económica, social y ambiental a dos modelos micoturísticos

### *Implicaciones económicas de los modelos*

De acuerdo con Lázaro (2008), el micoturismo tiene el potencial de aumentar entre siete y nueve veces el potencial económico de las comunidades recolectoras en comparación con la contribución de estos productos para el autoconsumo familiar y la comercialización tradicional. En el caso del modelo español esto ha logrado consolidarse gracias al soporte financiero e institucional que el Estado ha brindado para generar un proceso de especialización territorial para el aprovechamiento de HCS en la provincia de Soria, España.

En otros países como Sudáfrica, la Academia Sudafricana de Hongos Gourmet ilustra las vinculaciones con la iniciativa privada, como una vía para capacitar a proveedores de recursos micológicos, con base en un enfoque biotecnológico, empresarial y económico. Esta iniciativa cuenta con el apoyo financiero del Fondo Mundial para la Naturaleza de Sudáfrica. En el caso de Canadá, su vasta riqueza micológica y el interés de un grupo de especialistas son los elementos que explican la emergencia del micoturismo. Se han documentado diferentes iniciativas para el aprovechamiento recreativo de los HCS que incluyen la transformación agroindustrial, emprendimientos turísticos y propuestas de educación ambiental. El micoturismo tiene una orientación económica basada en el precepto de incidir favorablemente en las economías locales, por lo que se le concibe como una política de desarrollo (Mycosylva, 2013). La intervención del Estado es moderada y se limita a aspectos de regulación, ordenamiento, capacitación y promoción.

El caso de México devela un escenario más incierto, debido a que su soporte financiero es limitado y su capital social se reduce al acotado ámbito de acción de los actores académicos (Villaseñor *et al.*, 2016). Esto significa que un factor que explica la sustentabilidad económica de las iniciativas micoturísticas en los modelos analizados es el papel del Estado y de otros actores hegemónicos en el soporte financiero e institucional de las propuestas.

### *Implicaciones ambientales de los modelos*

Una de las preocupaciones centrales de los modelos de gestión forestal, particularmente de aquellos que se pronuncian a favor del aprovechamiento de los recursos endógenos, es la cuestión de la conservación de los recursos naturales. Desde esta perspectiva, el modelo español muestra dos aspectos fundamentales: los mecanismos de regulación y el desarrollo de sistemas de información micológica. Al respecto existen otras iniciativas, como el caso de Portugal donde la

actividad micoturística se ha desarrollado a partir de estudios y aproximaciones técnicas basadas en un conocimiento preciso de los recursos micológicos, su ubicación y su dimensión ecológica (De Castro, 2009). Por su parte, el caso escocés es un ejemplo del interés académico sobre las particularidades ecológicas del territorio, a través de lo cual se determinó su idoneidad para conocer la diversidad fúngica de sus bosques. Este tipo de aprovechamiento tiene un sesgo hacia el turismo social, la educación ambiental y la preservación de los bosques. La actividad micoturística tiene un fuerte componente científico que aporta legitimidad a las prácticas recreativas. Lo mismo puede mencionarse en el caso de Francia, donde los parques de la *Dordogne* y de *Midi Pyrénéés* están insertos en un programa formal a partir de su incorporación en la Red de Parques Mycosilva de donde reciben soporte financiero, institucional y de capacitación. Sin embargo, el modelo francés difiere en tanto que da mayor prioridad a la educación ambiental que al componente de desarrollo económico, lo cual ha desembocado en una oferta micoturística centrada en la conservación y con un alcance regional (Micosylva, 2013). En el caso de México, el sector académico ha realizado la mayor parte de intentos por difundir la importancia de los recursos micológicos a través del turismo, así como para incentivar la buenas prácticas de recolección; no obstante, la ausencia de un marco regulatorio debilita las posibilidades de acción sobre un eventual ordenamiento del territorio basado en los HCS.

### *Implicaciones sociales de los modelos*

El micoturismo español presenta un fuerte sesgo de mercado que vuelve difusos los límites entre la gestión forestal sustentable y una relectura capitalista de nuevos productos forestales susceptibles de aprovechamiento. Un aspecto fuertemente soslayado en este modelo es la cuestión social, toda vez que el aprovechamiento de los HCS está vinculado al conocimiento ecológico tradicional de los moradores originales de los bosques, siendo relegado en favor de un tejido empresarial y comercial compuesto, en su mayoría, por neorrurales.<sup>1</sup> Casos como el de Italia ilustran el papel fundamental que el asociativismo juega alrededor del aprovechamiento recreativo del HCS. Existen asociaciones, aficionadas y especializadas, cuyo objetivo es generar conocimiento sobre los hongos del mediterráneo. A pesar de que no existe una oferta micoturística claramente estructurada, al igual que en el caso francés, se ha manifestado el interés por integrar algunos de estos bosques a la Red de Parques Micológicos del Instituto Europeo

<sup>1</sup> Son los actores del neorruralismo un fenómeno que consiste en la migración de las ciudades hacia el campo, cuyos orígenes se encuentran en los movimientos contraculturales de la década de los años sesenta del siglo xx.

CUADRO 1. Dimensiones y relaciones de la sustentabilidad en el micoturismo. Los casos de México y España

<i>Variable</i>	<i>México</i>	<i>España</i>	<i>Indicador de sustentabilidad</i>
<i>Fuentes de financiamiento</i>	Autofinanciamiento	Recursos públicos del Estado	Económico
<i>Mecanismos de regulación</i>	Uso y costumbres	Leyes y reglamentos	Ambiental
<i>Fuentes de información</i>	Saber etnomicológico Taxonomía y fenología	Sistemas de información geográfica Taxonomía y fenología	Ambiental
<i>Mercado</i>	Incipiente	Maduro	Económico
<i>Marcador de identidad</i>	Comunidades rurales y grupos indígenas	Neorrurales	Social
<i>Hábitats productores</i>	Bosques de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	Bosques de <i>Abies Religiosa</i> , <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	Ambiental
<i>Número de especies aprovechadas</i>	Se aprovechan 36 especies de interés culinario	Se aprovechan 21 especies de interés culinario	Económico
<i>Principal época de recolección</i>	Junio-septiembre	Agosto-julio	Ambiental
<i>Usos de los hongos</i>	Uso alimentario en fresco y mínimamente en seco	Uso alimentario diversificado en fresco, conservas, seco y congelado	Económico

Fuente: elaboración propia.

de Micología (Micosylva 2013). Sin embargo, el papel marginal del Estado, a través de programas específicos, hace necesario crear marcos apropiados para la regulación y el ordenamiento de la actividad micoturística.

En Kalloni, Macedonia, los HCS constituyen un marcador de identidad territorial asociado con los conocimientos tradicionales ecológicos, la relación con la naturaleza y la cultura local. De acuerdo con ello, el micoturismo en Macedo-

nia representa una forma de turismo de nostalgia, a través de la cual los visitantes provenientes de las ciudades periféricas se reconectan con sus orígenes. En este caso, a pesar de que los desplazamientos turísticos motivados por los hongos generan una derrama económica, no se trata de un producto turístico orientado al mercado sino de una práctica colectiva presente en la memoria cultural de sus practicantes (Knight, 2014).

En México los HCS son parte un patrimonio biocultural presente en las comunidades indígenas que habitan los bosques, motivo por el cual es imprescindible establecer los límites del micoturismo como mecanismo de comercialización de un recurso local de carácter público y esencialmente gregario. Muchos de los conocimientos que se tienen sobre los hongos provienen de estudios etnomicológicos, motivo por el cual el resguardo de los conocimientos tradicionales debe ser un tema central en toda iniciativa micoturística.

Sin duda, la inserción del turismo en los espacios rurales pone sobre la mesa la necesidad de abrir un debate ético (Pulido y Yaiza, 2012) dentro del cual es necesario integrar de manera horizontal la participación de las comunidades a partir de un enfoque participativo (Gutiérrez, 2010). Es por ello que la planificación del turismo micológico debe basarse en las necesidades y expectativas construidas por los propios actores locales, quienes además son los depositarios de los conocimientos locales sobre los HCS.

## Conclusiones

La gestión y el aprovechamiento turístico sustentable de los recursos micológicos requiere insertar la actividad dentro de un modelo de desarrollo territorial. Para que verdaderamente se trate de un modelo sustentable requiere por lo menos cumplir tres condiciones: *i*) que genere impactos positivos en los diferentes sectores económicos de la comunidad; *ii*) que genere beneficios en la estructura social, tanto en el ámbito social como en el cultural, y *iii*) que sea una herramienta más para la conservación de los recursos forestales.

Los modelos analizados muestran que la gestión del micoturismo sustentable debe estar cimentada en las siguientes acciones:

- i*) Generación de un Sistema de Información Micológica, nutrido a partir de datos etnomicológicos, que permita reconocer el número de especies comestibles, su ubicación, su temporalidad y sus características. Se trata de información dinámica que puede ser actualizada por datos proporcionados por los recolectores de la comunidad
- ii*) Una estrategia de gestión micoturística consistente en la planificación turística participativa, la zonificación de los senderos micológicos y la

regulación de la recolección recreativa de HCS, a partir de permisos y límites permisibles para la sustracción de hongos del territorio (Thomé Ortiz, 2015b).

- iii) Un dispositivo de comunicación que permita difundir la cultura micológica, la gastronomía local y la importancia ecológica de los HCS, a partir de la vinculación entre el turismo y la educación ambiental (Beraldo, 2009).

Dicho modelo de micoturismo sustentable se plantea como una herramienta conciliadora entre las funciones económicas, ambientales y socioculturales que aportan los espacios forestales. Con ello se abona a la discusión sobre el aprovechamiento integral de los recursos forestales no maderables, al mismo tiempo que se puede crear una propuesta de desarrollo sustentable para otras zonas forestales con características similares a las de los modelos presentados.

## Agradecimientos

Agradecemos el apoyo del proyecto de investigación “Los hongos comestibles silvestres y sus escenarios turísticos. Laboratorio Social de Micoturismo”, financiado por el programa de Investigación Científica, Innovación y Desarrollo UAEM 2014, y del proyecto de investigación “Evaluación de la dimensión recreativa de los hongos comestibles silvestres, su interés socioeconómico y sus perspectivas de desarrollo rural”, financiado por Conacyt-SEP Ciencia Básica 2014.

## Bibliografía

- Armesto, X., y B. Gómez (2004), “Productos alimentarios de calidad, turismo y desarrollo local”, *Cuadernos Geográficos* 84 (1): 83-94.
- Bárcena, A., A. Prado, M. Cimali, J. Fuentes, M. Hopenhayn y D. Tielman (2012), *Cambio estructural para la igualdad. Una visión integrada del desarrollo*, CEPAL, Santiago.
- Beck, U. (1998), *¿Qué es la globalización?: falacias del globalismo, respuestas a la globalización*, Paidós, Madrid.
- Beraldo, F. (2009), “Educación ambiental y turismo. Una formación holística, interdisciplinaria y de futuros investigadores”, *Estudios y Perspectivas del Turismo* 18: 92-106.
- Boa, E. (2005), *Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población*, FAO, Roma.

- Boege, E. (2012), "La importancia de los territorios de los pueblos indígenas y la cubierta forestal", en F. Chapela, (coord.), *Estado de los bosques de México*, CCMSS, México, pp. 28-68.
- Castro, S. de (2009), "Micoturismo: enquadramento estratégico em áreas protegidas", tesis doctoral, Universidad de Técnica de Lisboa, Portugal, 81 pp.
- Chapela, F. (2012), *El Estado de los bosques en México*, CCMSS, México.
- Chen, B., y Z. Qiu (2012), Consumers' Attitudes Towards Edible Wild Plants: A Case Study of Noto Peninsula, Ishikawa Prefecture, Japan", *International Journal of Forestry Research* (2012): 1-16.
- Dweba, T., y M. Mearns (2011), "Conserving Indigenous Knowledge as a Key to the Current and Future Use of Traditional Vegetables", *International Journal of Information Management* 31 (6): 564-571.
- Egli, S., M. Peter, C. Buser, W. Stahel y F. Ayer (2006), "Mushroom Picking Does Not Impair Future Harvests. Results of a Long Term Study in Switzerland", *Biological Conservation* 129 (2): 271-276.
- Franco, S., y C. Burrola (2010), *Los hongos comestibles silvestres del Nevado de Toluca*, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, 147 pp.
- Gómez, P., y E. Zamora (2012), "Los hongos silvestres comestibles en Yoricos-tio, México", en J. Sánchez y B. Mata (coords.), *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*, Ecosur Inecol, México, pp. 29-38.
- Gutiérrez, O. (2010), "Desarrollo de la metodología Innovación Rural Participativa en la zona andina central de Colombia", *Agronomía Colombiana* 28 (3): 525-533.
- Knight, D. (2014), "Mushrooms, Knowledge Exchange and Polytemporality in Kalloni, Greek Macedonia", *Food, Culture and Society* 17 (2):183-201.
- Lázaro, A. (2008), "El aprovechamiento micológico como vía de desarrollo rural en España: las facetas comercial y recreativa", *Anales de Geografía* 28 (2): 111-136.
- Micosylva (2013), Proyecto Micosylva del Instituto Europeo de Micología. Consultado el 23 de marzo de 2015. Disponible en <http://www.micosylva.com/content/proyecto-micosylva-1>.
- Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, 137 pp.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1987), "Our Common Future. Reporte de la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo", ONU, Noruega, 318 pp.
- Pulido, J., y L. Yaiza (2012), "La necesidad de modelos turísticos sostenibles en espacios rurales y naturales", en M. Rivera y L. Rodríguez (coords.), *Turismo responsable, sostenibilidad y desarrollo local comunitario*, Universidad de Córdoba, España, pp. 99-116.

- Quispe, A. (2006), “La necesidad de formación de capacidades para la gestión del desarrollo rural territorial”, *Región y Sociedad* 36: 177-194
- Renard, M. C., y H. Thomé Ortiz (2010), “La ruta de la sal prehispánica. Patrimonio alimentario, cultural y turismo rural en Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México”, en *Proceedings of the 116<sup>th</sup> EAAE Seminar Spatial Dynamics in Afri-Food Systems: Implications for Sustainability and Consumer Welfare*, 27-30 de octubre, Parma, Italia, pp. 1-15.
- Stake, R. (2000), “Case Studies en N. Denzin y Y. Lincoln (coords.), *Handbook of Qualitative Research*, Sage Publications, Londres, pp. 435-454.
- Thomé Ortiz, H. (2010), “Turismo en áreas rurales. Hacia un enfoque de espacios compatibles entre el campo y la ciudad”, *Artículos y Ensayos de Sociología Rural* 9: 65-78.
- , (2015a), “Turismo agroalimentario y nuevos metabolismos de productos locales”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6 (6): 1373- 1386.
- , (2015b), “Turismo micológico, una nueva mirada al bosque”, *Ciencia y Desarrollo* 41 (277): 1-6.
- Thomé Ortiz, H., M. C. Renard, G. Nava y A. de Souza (2014), “La ruta del nopal (*opuntia* spp.), turismo y reestructuración productiva en el suelo rural de la ciudad de México”, *Rosa dos Ventos* 6(3): 390-408.
- Thomé Ortiz, H., A. Jiménez y I. Vizcarra (2016), “Turismo micológico y etnococimiento, escenarios de desarrollo endógeno en espacios forestales”, en R. Pérez, E. Espinosa y O. Terán (coords.), Universidad Autónoma del Estado de México, México, pp.107-132.
- Towsend, C. (2008), *Ecological Applications: Towards a Sustainable World*, Blackwell Publications, Oxford, 346 pp.
- Villaseñor, L., M. Cedano y L. Padilla (2016), “Micoturismo con bases etnomicológicas”, *Memorias del X Congreso Mexicano de Etnobiología*, 19-23 de septiembre, Mérida, Yucatán, México.



# Pago por servicios ambientales hidrológicos: hacia un instrumento de política pública para la sustentabilidad agropecuaria en áreas naturales protegidas

TIZBE TERESA ARTEAGA REYES,<sup>1</sup>  
CARLOS RUBÉN AGUILAR GÓMEZ,<sup>1</sup>  
FRANCISCO HERRERA TAPIA<sup>1</sup>  
JUAN ANTONIO REYES<sup>2</sup>

## Resumen

En México, las políticas sectoriales han limitado la consecución de objetivos múltiples en territorios como las áreas naturales protegidas (ANP), donde se visualizan conflictos de intereses; por ejemplo, entre la conservación de la biodiversidad y la agricultura. En cambio, las políticas mixtas o multisectoriales y sus instrumentos ofrecen una alternativa para la compatibilidad de objetivos que permiten reducir los compromisos entre las diferentes actividades en un territorio específico. En este contexto, las compensaciones económicas, como los pagos por servicios ambientales hidrológicos (PSAH), se han establecido en diversos países, incluyendo México, como un instrumento de política orientado a la conservación. Sin embargo, en los territorios donde se han implementado convergen diversas actividades humanas que comprometen la conservación. El objetivo de este estudio cualitativo es argumentar el potencial de los PSAH como un instrumento de política pública que fomenta la sustentabilidad agropecuaria en ANP bajo un enfoque de gestión territorial. Se considera el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) en el Estado de México, México. La metodología se basa en una revisión exhaustiva de literatura, observación directa y recorridos de campo en el APFFNT, complementada con la experiencia multidisciplinaria de los autores. El enfoque de gestión territorial permite analizar la convergencia de actividades de conservación y agropecuarias en territorios con un marco jurídico de uso de recursos y gestión específicos, como lo es el APFFNT. Se

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090, Toluca, Estado de México, México. Fax. +52 722 2965552. Correos electrónicos: tizbe@hotmail.com, tzontle@hotmail.com y fherrerat@uaemex.mx.

<sup>2</sup> GFA Consulting Group, calle de Viena, núm. 71, interior 301, colonia Del Carmen, delegación Coyoacán, 04100, Ciudad de México, México. Fax +52 55 55547799. Correo electrónico JuanAntonio.Reyes@gfa-group.de.

concluye que los PSAH podrían transitar hacia un instrumento de política que fomenta la sustentabilidad agropecuaria en ANP bajo un enfoque de gestión territorial, conjuntando acciones de diversas instituciones gubernamentales para incidir en mejores prácticas de manejo en las actividades agrícolas y el pastoreo, compatibles con la conservación forestal del territorio. El pago a los participantes del programa PSAH estatal dentro del APFFNT tiene ese potencial.

*Palabras clave:* áreas naturales protegidas, conservación, gestión territorial, política pública, PSAH, sustentabilidad agropecuaria.

## Introducción

En un contexto global, las naciones afrontan grandes y diversos retos para alcanzar el desarrollo sustentable. Esto requiere acciones multiescala y multinivel con instrumentos e instituciones capaces de vincularse en esquemas de manejo (Cash *et al.*, 2006). A nivel local, por ejemplo, las ANP han sido mecanismos que, inicialmente orientados a la conservación de la biodiversidad, ahora se reconocen como espacios donde convergen intereses, típicamente opuestos, como la conservación de la biodiversidad y la producción agropecuaria, por lo que requieren enfoques de atención y acciones hacia un aprovechamiento sustentable (Mathevet *et al.*, 2016). En el caso de las ANP en territorios montañosos del centro de México, esto implica el aprovechamiento de recursos forestales, maderables y no maderables, que en combinación con actividades agropecuarias promueven el desarrollo comunitario y el bienestar social.

Generalmente, los ecólogos han analizado las interrelaciones entre el medio ambiente y las actividades agropecuarias para identificar sitios de riesgo, generando propuestas que tienden a prohibir las prácticas agropecuarias para proteger especies en peligro de extinción; por lo tanto, los agricultores y los ganaderos afrontan nuevas temáticas en el manejo de la biodiversidad para un desarrollo sustentable (Lasseur, 2005). Esto obedece a que, entre otros factores, los sistemas agrícolas en terrenos de alto valor natural mantienen la intensidad agrícola esencialmente estable pero con probables impactos negativos en la biodiversidad, enfatizando la necesidad de una mejor integración de políticas horizontales y esquemas agroambientales para alcanzar una protección efectiva, como ocurre en el sur de Portugal (Flores *et al.*, 2014). En las praderas o pastizales montañosos del mediterráneo francés dentro de ANP se ha demostrado que mediante cambios en las prácticas de manejo agropecuarias se puede preservar la biodiversidad de dichos ecosistemas y se previene el desarrollo de bosques en las praderas (Lasseur, 2005). Riedel *et al.* (2007) resaltan que en agroecosistemas con estrategias agropecuarias de manejo intensivo y con un menor uso de los recursos de pastoreo, las políticas rurales de desarrollo con propósitos de con-

servación deberían enfocarse en sistemas agropecuarios con estrategias de manejo ambientalmente adecuadas, para un parque protegido en los Pirineos Centrales de España.

En el contexto mexicano, las políticas sectoriales han limitado la consecución de objetivos múltiples en territorios como las ANP, que permitan incidir en mejores prácticas de manejo agrícolas y de pastoreo, y que complementen la conservación forestal en un territorio específico; es decir, no respaldan la “multifuncionalidad territorial”. Una iniciativa interinstitucional reciente, la Estrategia Conjunta para el Desarrollo Forestal Sustentable en ANP, se diseñó para promover y facilitar que en las ANP se realice un manejo forestal eficiente y efectivo, dirigido tanto a las funciones ecológicas como al aprovechamiento sustentable de los bosques, en categorías y zonas/subzonas de ANP que lo permiten, e involucrando activamente a las comunidades y a los propietarios locales, con beneficios significativos para las economías locales (SEMARNAT *et al.*, 2016). Otra iniciativa regional es el foro “Ganadería sustentable en territorios de montaña”, donde se mostraron ejemplos y oportunidades para compatibilizar actividades pecuarias y objetivos de conservación en ANP de distintas partes del país (Reyes *et al.*, 2017).

En el presente documento se analizan las compensaciones económicas realizadas por los programas de PSAH en México, particularmente en una ANP montañosa del centro del país, como un instrumento de política orientado a la conservación. El objetivo es argumentar el potencial de los PSAH como un instrumento de política pública que fomenta la sustentabilidad agropecuaria en ANP bajo un enfoque de gestión territorial.

## Metodología

Este estudio cualitativo argumentativo se basa en una revisión exhaustiva de literatura, observación directa y recorridos de campo en APFFNT, complementada con la experiencia multidisciplinaria de los autores y el debate entre éstos. La revisión de literatura incluye artículos científicos, documentos institucionales, libros, tesis y memorias, entre otros. La observación directa proviene de 90 recorridos de campo durante el periodo 2012-2017 que, junto con el conocimiento sobre el APFFNT y otras ANP de México, se combinan con la experiencia acumulada de 48 años de los autores. Este estudio se formuló en torno de dos preguntas orientadoras: ¿son los pagos por servicios ambientales (PSA) una alternativa para fomentar la sustentabilidad agropecuaria en ANP?, ¿las políticas públicas, federales o estatales, a través de un enfoque de gestión territorial, permiten que los PSA sean una alternativa para fomentar la sustentabilidad agropecuaria en ANP?

Entre los PSA se eligió el PSAH del Estado de México, implementado por la Protectora de Bosques del Estado de México (Probosque). A pesar de las similitudes entre éste y el modelo federal, para este estudio se quería reflexionar en torno de la pregunta: ¿podría potenciar el programa de PSAH una política pública de sustentabilidad agropecuaria en ANP, específicamente en el APFFNT? Se eligió esta ANP por su relevancia en términos de provisión de agua para las zonas metropolitanas de la Ciudad de México y el Valle de Toluca, situación que hace imperante la conservación de sus bosques, así como desarrollar un mejor manejo y aprovechamiento de los recursos forestales (maderables y no maderables). Esto implica cambios en las prácticas agropecuarias para que se desarrollen de manera sostenible y lograr una convergencia entre intereses típicamente opuestos: conservación de la biodiversidad y producción agropecuaria. El enfoque analítico de este estudio es el de gestión territorial, dado el potencial que ofrece para lograr dicha convergencia, especialmente por su principio de multifuncionalidad.

### *El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca*

Esta ANP federal se localiza en el Estado de México, a partir del límite inferior de los 3 000 metros de altitud. Cubre una superficie aproximada de 53 590 ha y comprende el volcán Xinantécatl o Nevado de Toluca, el cuarto más alto del país (4 680 metros). Fue establecida mediante decreto presidencial como Parque Nacional en 1936 con el objetivo de destinarla a la conservación perenne de su flora y fauna. En 2013 cambió de categoría a área de protección de flora y fauna. Sus ecosistemas son prioritarios para el desarrollo de las poblaciones locales y de la zona de influencia; generan servicios ambientales de escala regional. Los escurrimientos de sus laderas aportan a dos de las cuencas hidrológicas más importantes del país: ríos Lerma y Balsas. El ANP es estratégica para el abasto de agua al Sistema Cutzamala hacia la zona metropolitana de Toluca y parte del Valle de México en la Ciudad de México, lo que hace imperante la conservación de los ecosistemas forestales, desde el zacatonal alpino hasta los bosques de coníferas y los bosques templados de hojas anchas. Se reconoce que el APFFNT es relevante a nivel nacional pues representa ecosistemas importantes y en riesgo y es hábitat de especies importantes. Al mismo tiempo, este territorio tiene —y ha tenido— actividades humanas como agricultura, acuacultura, pastoreo, extracción de material pétreo, actividades recreativas y aprovechamiento forestal maderable y no maderable (hongos, musgos, plantas medicinales, perillillas —*Symphoricarpos microphyllus*—, entre otros). Las actividades agrícolas y ganaderas, con 701 unidades de producción, representan aproximadamente 15% de la superficie total, destacando la explotación de equinos, ovinos, bovinos y porcinos de traspatio, así como el cultivo de papa (temporal y riego), maíz grano y avena

forrajera (Conanp, 2013; DOF, 2016). Ante ello, “es necesario promover esquemas de manejo en los que se privilegie la conservación y se promueva un aprovechamiento de los recursos naturales bajo esquemas de sustentabilidad” (DOF, 2016: 2), considerando los diferentes regímenes de la tenencia de la tierra (ejidal, bienes comunales y propiedad privada).

### *El enfoque de gestión territorial en ANP*

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) define a las ANP como “las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas...” (DOF, 2007: 2). Existen seis categorías: Reserva de la Biosfera (RB), Parque Nacional (PN), Monumento Natural, Área de Protección de los Recursos Naturales, Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) y Santuario. En total suman 181 ANP, con una superficie marina de 69 458 708 ha y 20 983 230 ha terrestres; 22 y 11% del total nacional, respectivamente (Conanp, 2016).

El concepto, diseño y gestión de las ANP ha variado a lo largo de su historia, pasando de la protección de biodiversidad a un modelo multiobjetivos que incorpora aspectos de desarrollo económico, reducción de la pobreza, mitigación y adaptación al cambio climático y, recientemente, provisión de servicios ambientales (West *et al.*, 2006). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) señalan que las iniciativas localizadas son valiosas para el crecimiento de largo plazo porque posibilitan la inclusión de la población rural. Además, la influencia del Estado en el proceso de acumulación de capital debe favorecer inversiones que faciliten la integración territorial, coordinando iniciativas que permitan actividades locales para superar las trampas de pobreza (CEPAL, 2016).

### *Hacia un instrumento de política pública en los servicios ambientales*

Dos componentes se requieren para lograr el tránsito de una política sectorial a una que incorpora y reconoce la territorialidad y el orden público de los procesos sociales relacionados con la prestación de servicios ambientales y la solución de problemas ambientales complejos: *i*) el carácter participativo y multiactor en los procesos de elaboración, gestión y seguimiento de las políticas públicas y *ii*) la multiescala y el multinivel, en el que se manifiesta la funcionalidad y la dinámica de los territorios asociados al comanejo (Cash *et al.*, 2006).

Esta directriz de política pública de proximidad territorial reconoce en la participación de las comunidades que habitan las ANP una condición *sine qua non* para el correcto funcionamiento de las intervenciones gubernamentales. Toda política pública asume un proceso decisional al cual se le exige necesariamente la resolución de problemas sociales, en este caso de tipo ambiental, ante lo cual las propuestas de programas operativos deben conjuntar estrategias y metodologías intersectoriales que valoren la importancia de los procesos participativos locales en la construcción de esquemas de gestión ambiental eficaces (Baca *et al.*, 2016).

Desde esta perspectiva, la noción de intersectorialidad (Cunill-Grau, 2014) remite a la integración de diversos sectores, principalmente —aunque no sólo— gubernamentales, con vistas a resolver problemas sociales complejos cuya característica fundamental es su multicausalidad. Implica, además, relaciones de colaboración, claramente no jerárquicas e incluso no contractuales.

De esta manera, los servicios ambientales vinculados al suelo, el agua y el bosque son un patrimonio que debe conservarse social e institucionalmente ante las presiones y las amenazas que generan, entre otros: la contaminación, las especies exóticas, la extracción descontrolada de recursos forestales, el cambio de uso de suelo, la utilización incorrecta de agroquímicos y el sobrepastoreo. En términos de producción de alimentos y materias primas, de desarrollo local y mantenimiento de beneficios sociales, se trata de un problema de interés público, que debería ser sujeto de políticas, mecanismos e instituciones adecuados para su atención (Pisanty *et al.*, 2016).

La regulación de las políticas públicas a través de programas puede crear mecanismos que van desde la restricción de ciertos proyectos ambientalmente nocivos hasta la creación de mecanismos compensatorios y estrategias institucionales para mitigar las adversidades ligadas al cambio climático o a la intervención humana detonadora de problemas ambientales. Sin embargo, estas acciones deberían incorporar a la población como la principal guardián del patrimonio natural, creando espacios locales de concertación y articulación intersectorial para una corresponsabilidad ambiental. Por ejemplo, en el caso de los servicios hidrológicos, la visión territorial mediante el análisis de cuencas favorece positivamente la prevención y la creación de estrategias de conservación y aprovechamiento óptimo del vital líquido (López, 2014). No obstante, ninguna estrategia de apoyo será suficiente sin la participación armónica del Estado y la comunidad, ya que las políticas públicas expresan de manera concreta las formas institucionalizadas que rigen la interacción gubernativa entre la sociedad y el Estado (Medellín, 2004). Además, el Estado debe tutelar y ser el garante de los derechos de su población, y ser la entidad rectora de su desarrollo. El derecho a un medio ambiente limpio y a una calidad de vida digna es parte ineludible en los contenidos de política pública, y por ello, en escenarios de deterioro ambiental y cambio climático, la política como instrumento de planeación debe tener un alto senti-

do de lo público. Esto requiere la formulación de programas con un enfoque sustentable, participativo y territorial; es decir, integral, incorporando aspectos de poder, recursos, roles (actores) y cambio.

### *Los PSAH como instrumento de política pública en México*

El tema de los servicios ambientales se maneja principalmente en la esfera de las instituciones y de expertos relacionados con energía, medio ambiente, recursos naturales y biodiversidad, bajo los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que es el instrumento jurídico central de los esfuerzos mundiales para combatir el calentamiento global provocado por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). En este marco destacan iniciativas de diversa índole, como los proyectos de creación y consolidación de corredores biológicos y de ANP, el manejo de cuencas, el aprovechamiento sostenible de los bosques, la reforestación y la restauración, los programas de energía renovable, el ecoturismo, y la creación y la consolidación de mercados para los servicios ambientales o “ecomarkets”, así como el PSA (Espinoza *et al.*, 1999; Perevochtchikova, 2016).

Los esquemas de PSA en el medio rural podrían contribuir al mejoramiento de la calidad de vida en dos aspectos: *i*) el fomento de nuevas formas de organización social para la conservación, uso y valoración de los recursos naturales y *ii*) el mejoramiento de la capacidad de la biosfera para absorber los efectos de las actividades humanas, como los GEI (Espinoza *et al.*, 1999).

En México, generalmente las políticas públicas responden a compromisos internacionales que derivan de reuniones entre países que buscan un objetivo común. En escasas ocasiones se construyen desde la base social para adquirir el carácter de política pública; no obstante, muchas de las actuales políticas del gobierno requieren el involucramiento de más actores en su ejecución. Para lograr sus objetivos, las políticas públicas mexicanas buscan cumplir con los acuerdos internacionales utilizando distintos instrumentos; uno de ellos en forma de PSA. Los PSA operan mediante pagos condicionados a dueños y poseedores de ecosistemas que generan servicios ambientales para que aseguren su provisión a través del tiempo (Perevochtchikova, 2016). Implícitamente tienen en su estructura y su funcionamiento un enfoque de desarrollo sustentable, pues buscan la conservación de ecosistemas naturales mediante un pago o compensación económica, que a su vez puede impactar en el desarrollo local de los beneficiarios. Asimismo, los PSA se conjuntan con otras medidas de política, como la compra de tierras, mando y control, ANP, ordenación forestal sostenible, y conservación integrada y desarrollo (Wunder y Wertz-Kanounnikoff, 2010).

En México, los PSAH iniciaron desde el gobierno federal en 2003 a través de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), con el objetivo de permitir la recarga

de mantos acuíferos, reduciendo procesos de degradación ambiental, principalmente la deforestación (Perevochtchikova, 2016). Su sustento legal se relaciona con leyes y programas de distinta naturaleza (Perevochtchikova y Vázquez, 2010), lo que permite la consecución de varios objetivos. El programa ha cubierto más de dos millones de hectáreas con distintos tipos de bosques, tanto templados como tropicales, y sus resultados en reducir el riesgo de deforestación han sido positivos, aunque en el doble objetivo ambiental-social (integrado al diseño del programa) los resultados no han sido tan favorables (Muñoz-Piña *et al.*, 2008; Sims *et al.*, 2014; Ezzine-de-Blas *et al.*, 2016).

A lo largo de su historia, el programa de PSA federal ha sufrido distintas modificaciones en su diseño y aplicación (Sims *et al.*, 2014), y ha llegado a tener tres modalidades: pagos por servicios ambientales hidrológicos y/o biodiversidad, pagos concurrentes, y pagos diferenciados, de acuerdo con el tipo de ecosistema, priorizando bosques mesófilos de montaña (DOF, 2015). El PSAH ocupa un nicho especial entre una amplia cartera de programas pues al incluir bosques bien conservados complementa otras acciones, como reforestación, plantación y desarrollo forestal (Muñoz-Piña *et al.*, 2008).

Además del programa PSAH de Conafor, en el Estado de México opera el programa PSAH de Probosque desde 2007, cuyo objetivo es asegurar y mantener la recarga de mantos acuíferos a través del pago a dueños y poseedores de terrenos forestales. Ambos programas operan de manera similar: los beneficiarios ingresan una solicitud a la institución federal (Conafor) o estatal (Probosque), que es evaluada para recibir el apoyo económico con base en una cantidad establecida por hectárea (de 280 a 1 100 pesos/ha en Conafor y generalizada de 1 500 pesos/ha en Probosque), siempre y cuando se realicen obras de conservación tales como brechas cortafuegos, presas de gavión, cercado de predios, entre otras (DOF, 2015; GEM, 2015). Ambos programas se han consolidado a través de los años, incrementando el número de beneficiarios y el total de pagos económicos. Esto se asocia al creciente interés de las comunidades por participar; además de su cobertura, su infraestructura institucional, la experiencia de su aplicación y la familiarización de los beneficiarios con dicho instrumento.

Entre Conafor y Probosque se firmó un convenio para que ambos programas de PSAH operen a partir de 2016 como fondos concurrentes. Las Reglas de Operación (RdO) del programa estatal especifican que “podrán fijarse distintas cantidades de pago por hectárea, siempre y cuando el pago conjunto no exceda 1 500 pesos/ha” (GEM, 2016). Así, la aplicación del convenio en el APFFNT implica que ambos programas paguen a los beneficiarios por conservar la misma superficie forestal. De acuerdo con las RdO del programa federal, el pago en bosques templados es 350 pesos/ha, así que el programa estatal paga 1 150 pesos/ha alcanzando el monto máximo permitido por las RdO estatales (1 500 pesos/ha).

Las ANP federales son territorios naturales decretados bajo alguna de las seis

categorías, siendo los PN los más numerosos y las RB las que ocupan la mayor superficie (Conanp, 2016). En algunas ANP hay propietarios que encuentran limitaciones para el desarrollo de actividades como la agricultura y la ganadería (Contreras y Rodríguez, 2004). Esto obedece, en parte, a que la tenencia de la tierra de las ANP es 60% propiedad social, 20% propiedad pública, 12% privada y 8% aún no se especifica (González *et al.*, 2014). Además, de acuerdo con la categoría, zonificación y subzonificación, 82% de la superficie terrestre en ANP permite las actividades productivas (SEMARNAT *et al.*, 2016). El resultado es que en distintas ANP coexisten —legalmente— la conservación y las actividades productivas.

Los PSA dentro de las ANP representan una oportunidad para las poblaciones que se desarrollan dentro de éstas a través de la conservación y la gestión de sus recursos naturales (FAO, 2009), especialmente en aquellas que por su estatus de conservación generan que las prácticas productivas se vean limitadas y se tienda a condicionar el desarrollo económico de las mismas (Riemann *et al.*, 2011). En este contexto, la Conanp ha logrado atraer recursos del PSAH para promover un desarrollo regional sustentable, beneficiando a los habitantes de las ANP y consolidando en estas comunidades el valor de la conservación para el sostenimiento y la continuidad de los servicios ambientales (Conanp, 2014). El potencial de los PSA en el Estado de México se refleja en las 116 800 ha que en el periodo 2003-2014 se han apoyado, siendo uno de los 10 estados con mayor cobertura del programa (Rodríguez Robayo y Merino Pérez, 2017).

#### *El PSAH en el APFFNT*

En el APFFNT confluyen distintos programas con objetivos sociales, ambientales y agropecuarios que no necesariamente son compatibles entre sí. Los programas sociales se enfocan prácticamente a alimentación, desarrollo humano, disminución de la pobreza, educación, capital social, entre otros; mientras que los programas agropecuarios se enfocan a la productividad de las actividades agrícolas y pecuarias y a la actualización de nuevas tecnologías (Secretaría de Economía, 2013). En contraste, los programas ambientales buscan la conservación de diferentes recursos naturales que se ven amenazados por las actividades humanas. Esto ocasiona un conflicto de intereses, donde cada programa establecido por distintas dependencias persigue sus objetivos sin considerar las acciones fuera de su competencia (Boni *et al.*, 2014).

Uno de los programas aplicados en el APFFNT es el PSAH, el cual busca la conservación de los ecosistemas forestales y propicia algunas condiciones necesarias que favorecen una oportunidad de desarrollo en las comunidades, logrando integrar las tres esferas que promueve el desarrollo sustentable: económica, social y ambiental, ya que permiten comprender y aplicar el valor social de las

elecciones para el uso de la tierra y proporciona una conexión tangible entre prácticas sostenibles, servicios ambientales y beneficios económicos (Montagnini y Finney, 2011).

El PSAH como instrumento de política para la sustentabilidad agropecuaria en ANP tiene la potencialidad de ayudar a mantener e incrementar la cobertura forestal en territorios de montaña, disminuir la fragmentación forestal, reducir la erosión de suelos, mantener la biodiversidad y garantizar la recarga de los mantos acuíferos. Ello mediante la realización de actividades sostenibles acordes a la zonificación del Programa de Manejo de las ANP: maximizando la protección y la conservación en la zona núcleo y optimizando el desarrollo agropecuario en las zonas de amortiguamiento.

El PSAH federal en el APFFNT empezó a operar en 2004 pagando a los propietarios 6 481 500 pesos anuales, en tanto que el PSAH estatal lo hizo en 2007 con 4 089 000. Inicialmente el programa federal aportaba una cantidad mayor de recursos. Sin embargo, para 2014 el programa federal disminuyó a 1 499 787; mientras que el estatal hizo transferencias por 17 491 500 (total de 18 991 287 a los propietarios forestales).

Según la percepción de los beneficiarios y las observaciones de campo, el PSAH es considerado uno de los más importantes para el desarrollo de su comunidad, ya que representa un ingreso económico importante para sus familias y tiene impactos positivos en el APFFNT: promueve el trabajo comunitario y la organización en las comunidades, generando infraestructura necesaria para éstas como la construcción de caminos, auditorios, baños en las escuelas, entre otras. Esto debido a que dentro de las condiciones establecidas para otorgar los pagos o las compensaciones se determina que un porcentaje del pago total, variable según cada caso, debe destinarse a obras para la comunidad.

## Sustentabilidad agropecuaria en ANP

Las alternativas productivas novedosas orientadas a garantizar la provisión de los servicios ambientales dentro de programas y proyectos de desarrollo sostenible en el medio rural de América Latina y el Caribe (ALC) constituyen una posibilidad de generación de empleo e ingreso, amigable con el ambiente e incluyente que se sitúa en una “corriente central” de uso sostenible de los recursos naturales. Esto se aplica generalmente en espacios habitados —o de uso— por campesinos, productores agropecuarios, propietarios de bosques, comunidades indígenas y otras etnias (Espinoza *et al.*, 1999). No obstante, una estrategia de desarrollo rural sustentable en ALC no puede estar aislada del contexto global.

Recientemente, en el marco de la Agenda 2030 y los ODS, se “reconocen la igualdad y la sostenibilidad como los principios rectores, compartidos y univer-

sales, en los que se debe basar una nueva batería de estrategias y políticas globales, regionales y nacionales” (CEPAL, 2016: 9). Esta concepción integradora de actores y sectores/componentes del desarrollo permite que los programas y proyectos puedan formularse e implementarse balanceando las ganancias y las pérdidas de actividades otrora contradictorias. Éste podría ser el caso del sector agropecuario y la conservación de la biodiversidad en ANP que en el marco de los ODS requiere que las actividades agropecuarias sean dinámicas, resilientes y productivas (Kanter *et al.*, 2016); en tanto que para las ANP implica la vinculación de la conservación con la provisión de beneficios para las poblaciones humanas, generando al mismo tiempo beneficios ecológicos y, por ejemplo, económicos (Lu *et al.*, 2007).

En México, la búsqueda de este doble beneficio es esencial, ya que diferentes territorios fueron decretados como ANP, donde los propietarios o usuarios de los terrenos comprendidos dentro del polígono “continúan ocupando sus predios, pero encuentran limitaciones para el desarrollo de las actividades que en su opinión deberían realizarse, como es la tala del arbolado, con la finalidad de destinar las tierras al cultivo o pastoreo” (Contreras y Rodríguez, 2004: 152). Además, “dada la importancia del lugar de nacimiento de una persona en sus perspectivas de desarrollo, la dimensión territorial debe estar incorporada en las agendas o estrategias nacionales” (CEPAL, 2016: 132). Cuando se considera que hay 1 879 núcleos agrarios con una porción de sus zonas de uso común en las ANP federales (Bezaury-Creel y Gutiérrez, 2009), y que casi 1.7 millones de personas habitan en localidades, fundamentalmente rurales, dentro de las ANP (Bunge y Reyes, 2015), es claro que la compatibilidad entre producción y conservación debe estar integrada a la gestión de dichos territorios.

Pese a que con el cambio de ocupación del suelo de forestal a agropecuario se generan impactos adversos en el ambiente, la provisión de bienes y servicios no se limita únicamente a los ecosistemas forestales; también las tierras agrícolas y las praderas proporcionan bienes y servicios, destacando, por ejemplo, los alimentos que se obtienen de los cultivos y el ganado (WRI, 2000). Esto brinda la posibilidad de promover territorios como proveedores de servicios ambientales diversos que compatibilizan la conservación y las actividades agropecuarias.

### *Sustentabilidad agropecuaria y PSAH*

En el ámbito internacional, se reconoce que los esquemas de PSA bien aplicados promueven el alivio a la pobreza y este sector de la población a menudo vive en áreas rurales que se encuentran cerca de zonas naturales (Pattanayak *et al.*, 2010). No obstante, si existe influencia humana en dichas zonas se pueden generar servicios ambientales y por esta razón se ha empezado a analizar posibles mercados para ser aplicados en estas áreas (Power, 2010). Si los PSA además de

conjugar la conservación mediante pagos o compensaciones también logran aliviar la pobreza y se identifican potenciales servicios ambientales por parte de la actividad agrícola, entonces una nueva visión amplificada e integral de los PSAH en México podría incluir las actividades agropecuarias, convirtiéndose en un programa que busca un objetivo más ambicioso dentro de un territorio, que incluye la sustentabilidad agropecuaria. Modelos de este tipo se han desarrollado en Colombia, Costa Rica y Nicaragua (Ibrahim *et al.*, 2007).

Los PSAH se conciben como un instrumento de política pública con posibilidad de fomentar la sustentabilidad agropecuaria en ANP. Además, los PSAH tienen el potencial de coadyuvar a resolver los conflictos de intereses que genera la contraposición de objetivos de conservación y desarrollo agropecuario. En México los PSAH son un programa gubernamental que registra características normativas, administrativas, técnicas y humanas, a pesar de algunas limitantes. Asimismo, los PSAH permitirían conjuntar las acciones al menos de dos instituciones gubernamentales del Estado de México: Probosque y Secretaría de Desarrollo Agropecuario (Sedagro), con la finalidad de incidir en mejores prácticas de manejo de las actividades agrícolas y el pastoreo, que se complementen con la conservación forestal en el mismo territorio. Los PSAH además podrían conjuntar las tres esferas de la sustentabilidad: *i)* la económica, mediante un incentivo que puede invertirse en actividades productivas; *ii)* la social, con la generación de acuerdos y reglas en torno al manejo comunitario del bosque, y *iii)* la ambiental, con beneficios para terceros (extraterritoriales) en forma de servicios ambientales, adicionales a los efectos positivos en el bienestar de la gente local (territoriales).

Otras potencialidades de los PSAH (respecto de nuevos instrumentos de política pública) son: menores costos de transacción, una estructura institucional robusta que da soporte al instrumento, procesos de fortalecimiento de capacidades (*capacity building*) establecidos; experiencia operativa, y mecanismos de seguimiento y control en la implementación de acciones y el pago de la retribución.

Hasta el momento se ha hablado del potencial económico, social y ambiental de los PSAH; pero, gubernamentalmente, al ser un programa que lleva en operación más de una década, se resalta que cuenta con experiencia y capacidades desarrolladas en su aplicación; es un programa con un respaldo legal, bien constituido con amparo y estructura institucional; con un amplio espectro de aplicación, y que cuenta con mecanismos de control. Socialmente, las comunidades están familiarizadas con el funcionamiento del PSAH actual, que es innovador y genera en los beneficiarios una percepción y una aceptación positivas. Estas características favorecen el esquema actual, frente a la posibilidad de un nuevo esquema sin bases, lo que podría generar altos costos de transacción y un marco legal *ad hoc* (véase cuadro 1).

CUADRO 1. *Potencialidades de los PSAH como un instrumento “maduro” para la sustentabilidad agropecuaria*

<i>Componentes de desarrollo</i>	<i>Potencialidades del PSAH</i>	<i>Limitantes para el desarrollo de un instrumento nuevo</i>
<i>Esfera económica</i>	Fuentes de financiamiento diversificadas.	Altos costos de transacción (curva de aprendizaje).
<i>Esfera social</i>	Familiarización de la sociedad. Socialmente innovador con aceptación y percepción positivas.	Costos de difusión.
<i>Esfera ambiental</i>	Conservación y generación de servicios ambientales.	Reposicionamiento del énfasis ambiental.
<i>Aspectos gubernamentales</i>	Estructura y respaldo institucional. Constante evolución para mejorar. Experiencia y amplio espectro de aplicación. Sustento legal. Capacidad de aplicación y control. Coordinación y compatibilidad de objetivos con otros programas.	Aprendizaje institucional. Altos costos de transacción (costos de arranque del esquema) y de capacitación del personal. Ajustes al marco legal (normativo y operativo). Inversión en estudios previos de diseño.

FUENTE: elaboración propia a partir de información de Perevochtchikova y Vázquez (2010), Rodríguez y Ávila (2013), y Sims *et al.* (2014).

## Reflexiones finales

Las políticas públicas —federales o estatales— son diseñadas y aplicadas para alcanzar algún fin u objetivo; dichos objetivos pueden ser sociales, ambientales, agrícolas, pecuarios, entre otros. Sin embargo, cuando estas políticas se aplican a un territorio puede existir un conflicto de interés debido a la variedad de obje-

tivos y la falta de mecanismos de concurrencia y articulación intersectorial. Se puede decir que los territorios están en conflicto porque hay intereses generados por “marcos discursivos” diferenciados (Boni *et al.*, 2014). En teoría, las políticas del gobierno deberían ayudar a reducir los conflictos, pero cuando éstas se diseñan altamente sectorizadas, entonces pueden ocasionar lo contrario. De ahí la propuesta de transitar hacia políticas públicas con visión territorial, sustentable y participativas.

En México, como en otros países, el acceso a la tierra para la producción de alimentos y materias primas agropecuarias puede generar una competencia con otros usos, y cuando el ordenamiento territorial y los modelos de producción no consideran los efectos de ésta sobre los servicios ambientales se generan costos que pueden afectar bienes públicos. Ante esto se hace indispensable proponer esquemas de producción-conservación, como el enfoque de servicios ambientales en el sector agropecuario (Kroeger y Casey, 2007) o la solidaridad ecológica (Mathevet *et al.*, 2016), modelos que hacen explícitas las relaciones entre ambiente y sociedad.

La existencia de los PSAH dentro de las ANP permite ver los esfuerzos de las políticas públicas para cumplir con sus objetivos, tomando en cuenta a la población que se desarrolla dentro de dichos territorios.

El APFFNT, a partir del cambio de categoría se vislumbra como un territorio en el que, explícitamente y en la gestión requerida, confluyen distintas actividades interrelacionadas como agricultura, ganadería, conservación y aprovechamiento de recursos forestales, maderables y no maderables. Una opción viable para conseguir la sustentabilidad agropecuaria en esta ANP podría generarse a través de la coordinación interinstitucional que permita alinear los objetivos de las políticas —federales o estatales— a través de un instrumento maduro como el PSAH estatal.

Considerando que las ANP están recientemente revaloradas como territorios para el desarrollo y la provisión de servicios ambientales, éstas pueden ser laboratorios que muestren experiencias y lecciones para la consecución de los ODS en México, mediante la utilización de herramientas de política pública específicas, como puede ser el PSAH. Éste, debido a su estructura y diseño, puede ser utilizado como instrumento de política realmente con inclusión pública para alcanzar la sustentabilidad agropecuaria.

## Bibliografía

- Baca, N., F. Herrera y R. Salas (2016), *Procesos participativos, desarrollo y género en México*, Mnemosyne, Buenos Aires, Argentina, 248 pp.
- Bezaury-Creel, J., y D. Gutiérrez (2009), *Áreas naturales protegidas y desarrollo*

- social en México. Capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio*, vol. 2, Conabio, México, 150 pp.
- Boni, A., C. Garibay y M. K. McCall (2014), “Sustainable Mining, Indigenous Rights and Conservation: Conflict and Discourse in Wirikuta/Catorce. San Luis Potosí, Mexico”, *GeoJournal* 80(5): 759-780.
- Bunge, V., y J. A. Reyes (2015), “Características sociales de las áreas naturales protegidas federales y su relación con la conservación ambiental”, en O. D. A. Ayala y M. L. Osorio R. (coords.), *Crisis civilizatoria en el México rural*, Asociación Mexicana de Estudios Rurales (AMER), México, pp. 23-40.
- Cash, D. W., W. N. Adger, F. Berkes, P. Garden, L. Lebel, P. Olsson, L. Pritchard y O. Young (2006), “Scales and Cross-scale Dynamics: Governance and Information in a Multilevel World”, *Ecology and Society* 11 (2): 8-18.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2016), *Horizontes 2030: la igualdad en el centro del desarrollo sostenible* (LC/G.2660 (SES.36/3), Santiago, Chile, 174 pp.
- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2013), “Borrador del programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca”, 203 pp.
- (2014), “Programa de pago de servicios ambientales en áreas naturales protegidas”.
- (2016), “México, hacia el cumplimiento de la meta 11 de Aichi del Convenio de Diversidad Biológica”, nota de prensa, 14 de diciembre de 2016, México, 2 pp.
- Contreras, D. W., y L. B. Rodríguez (2004), “Las áreas naturales protegidas en el marco del ordenamiento territorial y los servicios ambientales”, *Actas L. de V*, 27: 149-163.
- Cunill Grau, N. (2014), “La intersectorialidad en las nuevas políticas sociales: un acercamiento analítico-conceptual”, *Gestión y Política Pública* 23 (1): 5-46.
- DOF (*Diario Oficial de la Federación*) (2007), “Decreto por el que se expide la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente”, 28 de enero de 1988 (última modificación: 5 de julio de 2007).
- (2015), “Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2015”, 28 de diciembre de 2014.
- (2016), “Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con categoría de Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca”, 21 de octubre de 2016, SEMARNAT.
- Espinoza, N., J. Gatica y J. Smyle (1999), *El pago de servicios ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural*, Unidad Regional de Asistencia Técnica (RUTA), San José, Costa Rica, 108 pp.
- Ezzine-de-Blas, D., C. Dutilly, J. A. Lara Pulido, G. Le Velly y A. Guevara Sangi-

- nés (2016), “Payments for Environmental Services in a Policymix: Spatial and Temporal Articulation in Mexico”, *Plos One* 11 (4): e0152514, 15 pp.
- FAO (Food Agriculture Organization) (2009), “Pago por servicios ambientales en áreas protegidas en América Latina. Programa FAO/OAPN. Fortalecimiento del manejo sostenible de los recursos naturales en las áreas Protegidas de América Latina”, 117 pp.
- Flores, R. P., J. Lima S., M. Nuno B., J. Santana, L. Reino, P. Beja y F. Moreira (2014), “Modelling Farming System Dynamics in High Nature Value Farmland under Policy Change”, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 183: 138-144.
- GEM (Gobierno del Estado de México) (2015), “Reglas de operación del programa de pago por servicios ambientales”, *Gaceta de Gobierno*, 27 de enero de 2015.
- (2016), “Reglas de operación del programa de pago por servicios ambientales”, *Gaceta de Gobierno*, 11 de marzo de 2016.
- González, O. H. A., P. Cortés Calva, L. I. Íñiguez D. y A. Ortega-Rubio (2014), “Las áreas naturales protegidas de México”, *Investigación y Ciencia* 60: 7-15.
- Ibrahim, M., J. Gobbi, F. Casasola, M. Chacón, N. Ríos, D. Tobar, C. Villanueva y C. Sepúlveda (2007), “Enfoques alternativos de pagos por servicios ambientales: experiencia del proyecto Silvopastoril”, en G. Platais y S. Pagiola (eds.), *Ecomarkets: Costa Rica's Experience with Payments for Environmental Services*, Banco Mundial, Washington, pp. 185-204.
- Kanter, D. R., M. Musumba, S. L. R. Wood, C. Palm, J. Antle, P. Balvanera, V. H. Dale, P. Havlik, K. L. Kline, R. J. Scholes, P. Thornton, P. Tittonell y S. Andelman (2016), “Evaluating Agricultural Trade-offs in the Age of Sustainable Development. Agricultural Systems” (en prensa).
- Kroeger, T., y F. Casey (2007), “An Assessment of Market-based Approaches to Providing Ecosystem Services on Agricultural Lands”, *Ecological Economics* 64: 321-332.
- Lasseur, J. (2005), “Sheep Farming Systems and Nature Management of Rangeland in French Mediterranean Mountain Areas”, *Livestock Production Science* 96: 87-95.
- López, W. (2014), “Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales”, *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* XIII (2): 39-45.
- Lu, H., D. Campbell, J. Chen, P. Qin y H. Ren (2007), “Conservation and Economic Viability of Nature Reserves: An Emergy Evaluation of the Yan-cheng Biosphere Reserve”, *Biological Conservation* 139: 415-438.
- Mathevet, R., J. D. Thompson, C. Folke y F. S. Chapin (2016), “Protected Areas and their Surrounding Territory: Socioecological Systems in the Con-

- text of Ecological Solidarity”, *Ecological Applications* 26n(1): 5-16.
- Medellín, P. (2004), *La política de las políticas públicas: propuesta teórica y metodológica para el estudio de las políticas públicas en países de frágil institucionalidad*, CEPAL, Chile, 56 pp.
- Montagnini, F., y C. Finney (2011), “Payments for Environmental Services in Latin America as a Tool for Restoration and Rural Development”, *Ambio* 40 (3): 285-297.
- Muñoz Piña, C., A. Guevara, J. M. Torres y J. Braña (2008), “Paying for the Hydrological Services of Mexico’s Forests: Analysis, Negotiations and Results”, *Ecological Economics* 65 (4): 725-736.
- Pattanayak, S. K., S. Wunder y J. P. Ferraro (2010), “Show Me the Money: Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries?”, *Review of Environmental Economics and Policy* 4 (2): 254-274.
- Perevochtchikova, M. (2016), *Estudios de los efectos del programa de pago por servicios ambientales, experiencia en Ajusco, México*, El Colegio de México, México, 252 pp.
- , y A. Vázquez B. (2010), “Programa de pago por servicios ambientales hidrológicos en México y el suelo de conservación del Distrito Federal. X Reunión Nacional de Investigación Demográfica en México. Escenarios Demográficos y Política de Población en el Siglo XXI”, pp. 1-15.
- Pisanty, I., E. Urquiza Haas y A. Vargas Mena y Amezcua (2016), “Instrumentos de conservación *in situ* en México: logros y retos”, en *Capital natural de México*, vol. 4, *Capacidades humanas e institucionales*, Conabio, México, pp. 245-302.
- Power, A. G. (2010), “Ecosystem Services and Agriculture: Tradeoffs and Synergies”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 2959-2971.
- Reyes, G. J. A., J. C. Escobedo A. e I. Buitrago (eds.) (2017), “Memorias del Primer Foro de Ganadería Sustentable en Territorios de Montaña. Retos y oportunidades de los sistemas silvopastoriles en áreas protegidas. Toluca, Estado de México, México. Junio y julio 2016”, ICAR-Universidad Autónoma del Estado de México/SEMARNAT-Conanp/GFA Consulting Group/IUCN y GIZ, pp. 1-95.
- Riedel, J. L., I. Casasús y A. Bernués (2007), “Sheep Farming Intensification and Utilization of Natural Resources in a Mediterranean Pastoral Agro-ecosystem”, *Livestock Science* 111: 153-163.
- Riemann, H., R. V. Santes-Álvarez y A. Pombo (2011), “El papel de las áreas naturales protegidas en el desarrollo local: el caso de la península de Baja California”, *Gestión y Política Pública* 20 (1): 141-172.
- Rodríguez Robayo, K. J., y S. Ávila F. (2013), “Instrumentos económicos voluntarios para la conservación. Una mirada a su surgimiento y evolución en México”, *Revista Sociedad y Economía* 25: 75-106.

- Rodríguez Robayo, K. J., y L. Merino Pérez (2017), “Contextualizing Context in the Analysis of Payments for Ecosystem Services”, *Ecosystem Services* 23: 259-267.
- Secretaría de Economía (2013), “Diagnóstico del Programa de Fomento a la Economía Social”.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), Conafor (Comisión Nacional Forestal), Conabio (Comisión Nacional para la Biodiversidad) y Profepa (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente) (2016), *Estrategia conjunta para el desarrollo forestal sustentable en áreas naturales protegidas. Versión 1.0*, Ciudad de México, México, 93 pp.
- Sims, K., J. Alix García, E. Shapiro Garza, L. Fine, V. Radeloff, G. Aronson, S. Castillo, C. Ramírez Reyes y P. Yáñez Pagans (2014), “Improving Environmental and Social Targeting through Adaptive Management in Mexico’s Payments for Hydrological Services Program”, *Conservation Biology* 28: 1151-1159.
- West, P., J. Igoe y D. Brockington (2006), “Parks and Peoples: The Social Impact of Protected Areas”, *Annual Review of Anthropology* 35: 251-257.
- WRI (World Resources Institute) (2000), *A Guide to World Resources 2000-2001: People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*, Naciones Unidas/Banco Mundial, Washington, D. C., 25 pp.
- Wunder, S., y S. Wertz Kanounnikoff (2010), “Payments for Ecosystem Services: A New Way of Conserving Biodiversity in Forests”, *Journal of Sustainable Forestry* 28 (3-5): 576-596.

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



# Contribución de los animales de trabajo a unidades de producción familiar en comunidades campesinas de montaña del norte del Estado de México

LEÓN GILDARDO VELÁZQUEZ BELTRÁN,\*  
CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN\*\*  
ARTURO LUNA BLASIO\*

## Resumen

El proceso de desarrollo en México, al igual que en otros países, ha seguido el modelo de modernización de la agricultura propuesto por los países desarrollados, con los consabidos efectos negativos en la mayor parte de la población rural. En este contexto, la utilización de animales para trabajo agrícola y actividades diversas representa una alternativa importante que puede llegar a contribuir al desarrollo de las comunidades campesinas, sobre todo en condiciones de montaña. Por lo tanto, el presente trabajo tiene por objetivo aportar al entendimiento de la contribución de los animales de trabajo al desarrollo de las comunidades campesinas de agricultura de montaña. Mediante la utilización de herramientas de investigación rural participativa se llevó a cabo el diagnóstico de unidades campesinas con presencia de animales de trabajo en dos comunidades ubicadas al norte del Estado de México. Los resultados indican predominio de équidos para trabajo de tracción y/o carga, contribuyendo en distintos niveles de importancia a las unidades en función de sus características, encontrando participación desde un nivel de apoyo al mantenimiento de las unidades con mayores restricción hasta integración en las estrategias de búsqueda de mejores oportunidades, aun donde las actividades agrícolas no se encuentran en un primer nivel de importancia, ya que si bien no se constituyen como un elemento principal, sí contribuyen a través de sus funciones de apoyo. Ante el escenario actual de abandono del campo se puede considerar que la presencia de los animales de trabajo representa una posibilidad para mantener las actividades agrícolas como parte de las estrategias de las unidades campesinas, contribuyendo a su desarrollo, adecuándose a su base de recursos, que en términos de sustentabilidad representan una opción viable.

*Palabras clave:* équidos de trabajo, agricultura de montaña.

\* Cuerpo Académico en Comportamiento, Bienestar y Sustentabilidad Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México

\*\* Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México.

## Introducción

La modernización de la agricultura basada en transferencia de tecnología para producción comercial como sinónimo de desarrollo ha constituido un modelo predominante en un gran número de países, donde la promoción sistemática de tecnologías modernas ha constituido una constante, sin tomar en consideración si responden a las necesidades, condiciones y posibilidades de los pueblos que se pretenden beneficiar, con el consecuente desplazamiento de la tecnología tradicional de estos países como primer efecto (Cruz y Martínez, 2001), situación que ha llevado a una pérdida importante del conocimiento local, producto de un proceso de generación, adopción y reproducción de tecnología apropiada a sus condiciones de producción, necesidades y posibilidades; es decir, que responde a su propia concepción de desarrollo, además de que el proceso de transferencia de tecnología ha llegado a un punto de polarización del sector, marginando a las unidades que no la han podido incorporar, y que son mayoría, y detonando un sector industrial agropecuario concentrado en pequeños grupos de empresarios, con lo que se ha revertido la intención original de la transferencia tecnológica como instrumento de desarrollo.

En relación con México, la modernización tecnológica de las actividades agropecuarias presenta el mismo escenario que el antes descrito, y de acuerdo con el último censo agropecuario nacional (INEGI, 2007) las unidades que realizan actividades agropecuarias en el sector rural representan 80% del total, con una gran polarización en cuanto a tenencia de la tierra, que va desde 2 ha en el Estado de México, hasta más de 200 ha en las entidades del norte del país. Con un promedio a nivel nacional menor a las 5 ha de tierra cultivable y que, de acuerdo con Calva (2008), se ha visto reducido a 3.2 ha por productor.

La implementación de programas modernizadores del sector se ha mantenido de manera constante desde la década de los ochenta en todo el sector rural de país; sin embargo, a pesar de la polarización manifiesta, existen unidades familiares que han conservado sus formas de producción como resultado de un proceso del que no se tiene gran información, pero que se ha visto consolidado a lo largo de poco más de 500 años, tiempo en el que se ha adaptado a las condiciones imperantes, particularmente en las comunidades campesinas, que constituyen la mayoría de las unidades del sector y que cuentan con reducidas superficies para establecer sus actividades agropecuarias, al igual que el resto de América Latina, que durante la década pasada enfrentó una reducción importante de disponibilidad de tierra cultivable, pasando a un tamaño medio de finca de 1.8 ha para la agricultura campesina, que es donde se genera la mayor parte de la producción para consumo doméstico (Altieri y Nicholls, 2003).

Ante la situación que se presenta en el campo resulta de gran interés que dentro de las prácticas agropecuarias que tienen lugar en las unidades familiares

campesinas la utilización de animales para trabajo mantenga su importancia, a pesar de la mecanización promovida, y que en muchos casos tenga un papel fundamental, aspecto que resultaba notorio en el último decenio del siglo pasado, particularmente en los estados del centro y el sur del país, como respuesta a las condiciones tanto socioeconómicas como orográficas prevalecientes (Losada *et al.*, 1993).

En años recientes el número de animales de trabajo ha disminuido significativamente y se encuentra en un proceso de redistribución de especies. En el caso concreto de los burros, de acuerdo con el INEGI (2007), en el último censo se registra una población aproximada de 3 millones de animales, que corresponde al censo previo (INEGI, 1994), pero de acuerdo con datos de la FAO (2013), la población se ha visto disminuida a medio millón de animales, encontrado dentro de las causas de esta disminución la urbanización de los espacios rurales y recientemente el interés de China por adquirirlos, con lo que se incrementó su precio de manera significativa, volviéndolos atractivos para el mercado que concentra y exporta, con el consecuente proceso de desaparición, contrariamente a lo que sucede con los caballos que han visto incrementado su número pero como animales de alta estima para trabajo especializado no agropecuario. En todo caso, existe una tendencia a la disminución de las prácticas agropecuarias (Cruz y Martínez, 2001, y Cruz, 1998), influenciada en gran parte por la agricultura empresarial, que no genera vínculos con su entorno, o por abandono total de la actividad debido a procesos de emigración.

A pesar de la tendencia expuesta, las prácticas agropecuarias con utilización de animales de trabajo en las unidades familiares campesinas se mantienen vigentes debido al predominio del cultivo de maíz y a las demás actividades derivadas del mismo en las que la presencia de los animales de trabajo contribuye al logro de sus metas, y que toma mayor relevancia en comunidades de montaña, donde el equilibrio entre sus actividades productivas y su base de recursos resulta fundamental, situación que se complementa con las características de multifuncionalidad de los animales de trabajo, tanto en el interior como en el exterior de las unidades familiares campesinas, garantizando su permanencia (Arriaga y Pearson, 2004).

En cuanto al desarrollo, entendido como un proceso de cambio orientado a mejores estadios de bienestar con sus distintas acepciones, las comunidades campesinas de montaña constituyen en gran medida un buen ejemplo de desarrollo encaminado a la sustentabilidad del sistema, ya que históricamente han enfrentado cambios a través del tiempo y se han ajustado a las nuevas condiciones imperantes, mediante estrategias que permiten el logro de sus metas para garantizar su reproducción social (Dijkman *et al.*, 1999).

En esta perspectiva, la presencia de animales en las unidades familiares campesinas ha contribuido de manera significativa a su desarrollo, particularmente

los animales utilizados para trabajo, mediante su aporte como fuerza de trabajo agrícola o en actividades diversas, como carga y transporte (Cruz y Martínez, 2001). Los animales de trabajo, más allá de su contribución productiva, se constituyen como un bien integrador, dada su capacidad de reorganizarse de acuerdo con las estrategias desarrolladas por las familias, según el contexto en que se desenvuelven, y que se puede explicar como la ubicación de sus funciones como bienes y actividades dentro de sus procesos productivos.

En el presente trabajo se tiene por objetivo identificar de qué manera los animales de trabajo contribuyen al desarrollo de las comunidades campesinas mediante su utilización como bienes y actividades dentro de las estrategias implementadas por las unidades familiares campesinas con agricultura de montaña. El estudio se llevó a cabo en dos comunidades pertenecientes a la municipalidad de San Felipe del Progreso, en el Estado de México, ubicado en el centro del país, en la región fisiográfica denominada eje neovolcánico.

## Material y métodos

El área de estudio se localiza a 19° 43' de latitud norte y a 99° 57' de longitud oeste, a una altura promedio de 2650 msnm, clima templado subhúmedo y temperatura media de 12° C. La agricultura predominante es de temporal en pequeñas superficies de ladera con suelos de baja calidad, y en menor proporción, parcelas con acceso a riego de punta y predominio de cultivo de maíz (Hernández, 1999; INEGI, 2001).

La información se obtuvo mediante herramientas de investigación participativa, a través del diagnóstico de las unidades familiares que cuentan con animales de trabajo en ambas comunidades (72 para La Era y 61 para Santa Cruz), con la finalidad de contextualizar las principales funciones de los animales de trabajo, dentro de sus estrategias de vida, tomando como referencia las variables consideradas por Starkey (2000), incluyendo únicamente las que resultan constantes en las diversas regiones donde se llevan a cabo actividades agropecuarias con animales de trabajo, y que consisten en tipo y número de animales, utilización predominante, principales sistemas de producción agropecuarios, prácticas agrícolas, implementos de trabajo, distribución del trabajo y tipos de transporte.

## *Resultados y discusión*

Las unidades familiares se caracterizan por promediar 1.4 ha de superficie agrícola de ladera y agricultura de temporal basada en el cultivo de maíz y menor proporción de avena y trigo, caracterizadas por tener procesos de cultivo constantes, que consisten en la preparación de la tierra con elaboración de surcos

para siembra y dos escardas para el caso del maíz, mientras que en el cultivo de trigo y/o avena, consiste en preparación de la cama de siembra conocida como barbecho y rastreado para llevar a cabo la siembra, sin trabajos posteriores que requieran la utilización de animales, con lo que se tiene que las características de operación y los patrones de preparación de la tierra se mantienen sin mayor variación.

En cuanto a las especies que constituyen a los animales de trabajo en la zona de estudio, en términos de número y tipo, no presentan complicaciones, dado que existe un marcado predominio de équidos, con una mínima presencia de bovinos que no son utilizados para tal fin, por lo que predominan mulas y caballos para tiro y/o carga, y burros para carga dentro de las unidades campesinas, distribuidas de acuerdo con las características de las unidades.

La característica que presenta mayor heterogeneidad es la distribución del trabajo en el interior de las unidades campesinas, que en términos simples se puede identificar como una categorización por género y edad; sin embargo, la intervención responde más a la disponibilidad de mano de obra, recursos y relaciones de cooperación entre productores, que a una asignación preestablecida.

Finalmente, la función de tiro es mínima, por tratarse de comunidades ubicadas en una zona montañosa, que cuenta con vías de comunicación que se encuentran en condiciones aceptables la mayor parte del tiempo, predominando la utilización de vehículos automotores y una mínima presencia de tractores.

Por otra parte, las funciones que cumplen los animales de trabajo en las comunidades estudiadas presentan correspondencia parcial con lo reportado por Dorward *et al.* (2006), quien menciona que los animales domésticos cumplen con funciones en el interior de las unidades familiares en condiciones de pobreza, dentro de dos categorías principales: como bienes y mediante la prestación de servicios a través de su utilización, basados en tres tipos de estrategias, consistentes en mantenimiento, superación y retiro, con la finalidad de alcanzar sus metas.

Aunque la clasificación anterior se estableció para especies con fines productivos y bajo condiciones de marginalidad extrema con mínimas posibilidades de desarrollo, dada la multifuncionalidad de los animales de trabajo pueden ubicarse dentro de las categorías mencionadas. Como bienes en casos extraordinarios pueden llegar a representar la función de subsistencia mediante su venta como medida extrema. Sin embargo, su contribución de mayor importancia se da a través de su utilización, ya sea como amortiguamiento, producción complementaria o acumulación, entendidas como actividades de apoyo y garantía de trabajo.

Por otra parte, aunque se trata de unidades familiares campesinas de montaña, existen diferencias en cuanto a presencia, tipo y distribución de animales de trabajo, que pueden ser entendidas en su contexto histórico, socioeconómico y ambiental, y que en conjunto explican las dinámicas en el interior de cada comunidad.

En ambas comunidades predominan los équidos sobre los bovinos como animales para tracción en actividades agrícolas; sin embargo, en la primera existe un mayor número de mulas, mientras que en la segunda son caballos, complementados en ambos casos con burros como animales de carga. Estas diferencias pueden ser entendidas en primer término por el tiempo de establecimiento de cada comunidad y por el cambio generacional de los productores. La comunidad de La Era tiene mayor tiempo establecida y la presencia de mulas como animales de tracción tiene lugar a partir de los cambios generacionales ocurridos en la década de los setenta del pasado siglo xx, momento en el cual los hijos de los productores originales formaron nuevas familias y consideraron las características de velocidad, tiempo de vida útil y precio como determinantes para la selección de mulas en sustitución de los bovinos, mientras que en Santa Cruz se trata de una comunidad de reciente creación, formada por familias jóvenes con una perspectiva diferente, que reconoce las ventajas de los équidos, pero que prefiere caballos, en virtud de sus posibilidades de uso, tanto para tracción como para carga y transporte.

En cuanto a las restricciones socioeconómicas y las características fisiográficas, se encuentra que complementan los criterios antes descritos y determinan las estrategias de las unidades familiares campesinas para la realización de sus actividades agropecuarias y, en consecuencia, la selección de los équidos a utilizar. En la comunidad de La Era predominan áreas de cultivo de maíz en superficies muy reducidas con pendientes pronunciadas, suelos de baja calidad y condiciones de temporal con problemas de erosión que impiden la utilización de maquinaria agrícola, mientras que Santa Cruz, por tratarse de una comunidad relativamente reciente, cuenta con mejores condiciones fisiográficas, ya que a pesar de ubicarse en la montaña se encuentra en un área de colinas con pendientes moderadas que permiten su mecanización, por lo que la mayoría de los productores contrata el servicio de tractores para la preparación de las parcelas, pero el resto de las prácticas se lleva a cabo con tronco de caballos, generalmente propios, bajo el argumento de una mejor calidad del trabajo realizado.

Respecto de las condiciones socioeconómicas, si bien ambas comunidades enfrentan restricciones, La Era se encuentra en condiciones menos favorables, ya que al tener que complementar sus ingresos mediante el trabajo asalariado en el exterior, enfrenta un proceso de emigración, que se convierte en permanente, con desprendimiento de la unidad de origen, y con el consecuente deterioro de la misma, situación que provoca deserción escolar temprana, lo que conlleva a un círculo vicioso: falta de instrucción, restricción de oportunidades en el mercado laboral local y necesidad de emigrar, con permanencia de personas mayores. Mientras que para la segunda comunidad, al ubicarse en mejores condiciones de acceso a centros urbanos, ha tenido un mayor crecimiento debido a mejores posibilidades de empleo, en virtud de que la cercanía les permite

trasladarse diariamente; asimismo se presenta un importante incremento del nivel de instrucción escolar que se traduce en mejores oportunidades de empleo local, situación que fortalece a las unidades, llevando a las actividades agrícolas a un segundo nivel de importancia.

En cuanto a la distribución de actividades en el interior de las unidades, puede relacionarse con el número de integrantes con que cuentan; promedian siete habitantes en La Era y ocho en Santa Cruz, pero al considerar el proceso de emigración temporal en la primera comunidad se consideran tres integrantes y en la segunda todos son residentes permanentes, y a pesar de que ambas cuentan con migrantes permanentes, no se consideran ya que no contribuyen con las unidades.

Otro factor que determina la distribución de actividades en el interior de las unidades familiares es el trabajo asalariado local. En La Era únicamente 50% de las unidades se encuentra en esta categoría, mientras que en Santa Cruz la cifra es de 100% de las unidades identificadas; no obstante, al contrastar la proporción de integrantes involucrados, las diferencias se incrementan, ya que en las unidades de La Era los integrantes que se encuentran en la categoría representan únicamente 15% de las mismas, mientras que para Santa Cruz es el 40%, es decir, alrededor de un integrante por unidad cuando esto sucede en La Era y más de tres integrantes por unidad en Santa Cruz.

En este contexto, el trabajo agropecuario para las comunidades en estudio aparentemente representa una contribución menor en términos de crecimiento para la mayor parte de los productores, debido a que los beneficios de esta actividad no resultan suficientes para cubrir las necesidades de las unidades familiares campesinas, que en mayor o menor medida complementan sus ingresos mediante el trabajo al exterior de la unidad en algún momento del año, situación que, de acuerdo con De Janvry y Sadoulet (2004), es una constante a nivel mundial. Sin embargo, la multifuncionalidad de los animales de trabajo, más allá del trabajo agrícola, permite que formen parte de las estrategias de los productores para mantener la estabilidad de las unidades familiares campesinas, mediante su utilización en diversas actividades que contribuyen a generar ingresos o bien reducen la erogación de recursos.

Para las unidades familiares campesinas de las comunidades que formaron parte del presente estudio, la incorporación de animales para trabajo constituye todo un complejo de elementos que hay que considerar, donde el nivel de ingreso determina qué especies serán utilizadas en el corto plazo, teniendo siempre en cuenta su capacidad para dar respuesta a sus necesidades inmediatas.

La presencia de animales de trabajo en unidades con situaciones contrastantes pone de manifiesto que su multifuncionalidad contribuye al desarrollo de las mismas, independientemente de las características particulares de cada una, aportando tanto a unidades en equilibrio como a unidades en situaciones extremas en am-

bos sentidos, ya sea que se encuentren en un proceso de desprendimiento de las actividades agropecuarias, o bien, de aquellas que incluyen la utilización de animales en distintas actividades y que tratan de mejorar sus condiciones de vida, tratando de mantener el equilibrio de la unidad; es decir, existe un escalamiento de sus funciones de acuerdo con las condiciones que presenta cada unidad.

Al considerar la participación de los animales de trabajo en unidades familiares que enfrentan restricciones en cuanto a acceso a recursos, su presencia permite que alcancen cierto nivel de autonomía en sus actividades, así como posibilidades de ingreso por trabajo, al tiempo que no realizan pagos por servicios y tienen un manejo intensivo de su base de recursos, que en las comunidades estudiadas se encuentran representados principalmente por productores mayores, sin dependientes económicos.

Por otra parte, las unidades familiares que se acercan más a una condición de equilibrio realizan un manejo intensivo de su base de recursos, incluyen a los animales para realizar trabajo propio y además prestan servicios externos, con lo que potencialmente pueden incrementar su base de recursos mediante ingresos o actividades de intercambio, complementándola con trabajo no agropecuario permanente o estacional, por lo que el trabajo agrícola no genera dependencia sino complementariedad.

Finalmente, los productores con mayor crecimiento son los que, paradójicamente, han roto el equilibrio del manejo de su base de recursos, mediante su incursión en actividades más lucrativas que relegan a las agropecuarias a un papel secundario, con un reordenamiento de las funciones de los animales de trabajo acorde a los nuevos objetivos de las unidades familiares.

A partir de las estrategias identificadas se puede ver cómo tiene lugar la distribución de équidos en el interior de las unidades familiares; es decir, las unidades que enfrentan mayores restricciones incorporan y mantienen animales para realizar trabajo agrícola principalmente, mientras que las de mayores posibilidades incorporan criterios de participación social. Así, para unos las mulas representan la opción a elegir, mientras que para otros los caballos son los preferidos, quedando en un punto intermedio la utilización de burros, animales en franco desplazamiento, debido a que el abastecimiento de agua potable ha mejorado considerablemente en las comunidades, con lo que su utilidad como animal de carga se encuentra limitada.

A nivel de comunidades es posible establecer una diferenciación en términos de sus características particulares, encontrando, para el caso del barrio de La Era, que se trata de una comunidad con predominio de productores mayores, bajo nivel de escolaridad, mayor porcentaje de migración y menor acceso a fuentes de empleo con mejor remuneración, mientras que Santa Cruz presenta menor edad promedio de los productores, mayor nivel de escolaridad, migración basada en la movilidad en la región de las personas con residencia

en la comunidad y mejores condiciones de acceso a fuentes de empleo de mayor ingreso.

La tendencia observada en otros sitios en relación con el desplazamiento de los animales de trabajo de las comunidades rurales (FAO, 2013) también se presenta en las comunidades de este estudio; sin embargo, es notorio que los animales de trabajo permanecen en las unidades, independientemente de que las actividades agrícolas hayan pasado a un papel secundario o no representen la mejor opción como fuente de ingresos, debido a que las estrategias de las unidades familiares son integrales y consideran la organización del total de bienes con los que cuentan, así como los servicios derivados que pueden obtener de los mismos, y dentro de los bienes la tenencia de la tierra resulta fundamental, ya que representa la posibilidad de mantener actividades agrícolas, lo cual conlleva la utilización de animales para trabajo oportuno y de bajo costo, en la lógica de que es un recurso que potencialmente puede aportar beneficios en condiciones favorables.

En este sentido, si se considera a las unidades familiares campesinas en su conjunto, se observa que la presencia de los animales de trabajo representa un componente dinámico que a través del tiempo hace posible los ingresos con cierta regularidad, además de que contribuye a mantener los mecanismos de integración mediante las prácticas de ayuda, intercambio, préstamo y sus combinaciones, como parte de sus estrategias en el seno de las complejas redes sociales que existen en las comunidades.

## Conclusiones

Ante el escenario del abandono del campo, que se ha visto agudizado durante los últimos años, se puede considerar que la presencia de los animales de trabajo representa una posibilidad de mantener las actividades agrícolas como parte de las estrategias de las unidades campesinas, contribuyendo al desarrollo de las mismas y adecuándose a la base de recursos con los que cuentan, y que en términos de sustentabilidad constituyen una opción viable, ya que si bien existen otras posibilidades para incrementar la participación de la agricultura en el desarrollo de las comunidades rurales, éstas son de difícil adaptación a las condiciones que enfrentan, constituyéndose como la mejor opción tecnológica para el trabajo agrícola, dadas las superficies de cultivo reducidas, las pendientes y la dificultad de acceso a las parcelas. Por otra parte, la falta de recursos para mecanizar el proceso mediante el uso de tractores limita las posibilidades, aunque puede llegar a encontrarse una combinación de uso de maquinaria con animales para optimizar tiempo y recursos, así como la búsqueda de una buena calidad del trabajo realizado, al tiempo que se mantiene la forma de vida de las comunidades campesinas.

## Bibliografía

- Altieri, M. A., y C. I. Nicholls (2003), “Una perspectiva agroecológica para una agricultura ambientalmente sana y socialmente justa en la América Latina del siglo XXI”, en E. Leff, E. Ezcurrena, I. Pisanty y L. P. Romero (comps.), *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), México, pp. 281-304.
- Arriaga, J. C., y R. A. Pearson (2004), “Responding to the Livestock Revolution”, en E. Owen, T. Smith, M. A. Steele, S. Anderson, A. J. Duncan, M. Herrero, J. D. Leaver, C. K. Reynolds, J. I. Richards y J. C. Ku-Vera *Responding to the Livestock Revolution. The Role of Globalization and Implications for Poverty Alleviation*, British Society of Animal Science, Nottingham University Press.
- Calva, J. L. (2008), “Errores de cálculo”, *El Universal*, México, 10 de enero.
- Cruz, L. A., y S. T. Martínez (2001), *La tradición tecnológica de la tracción animal*, Dirección de Centros Regionales-Universidad Autónoma Chapinango, México, 202 pp.
- Janvry, A. de, y E. Sadoulet (2004), “Estrategias de ingresos de los hogares rurales de México: el papel de las actividades desarrolladas fuera del predio agrícola”, en *Empleo e ingresos rurales no agrícolas en América Latina. Seminarios y conferencias*, División de Desarrollo Productivo y Empresarial, Unidad de Desarrollo Agrícola, Chile, pp. 107-127.
- Dijkman, J. T., B. G. Sims y L. Zambrana (1999), *Availability and Use of Work Animals in the Middle Andean Hill-farming Systems of Bolivia*, Livestock Research for Rural Development, 11, 13 pp.
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2013), *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*, FAO, Roma, Italia.
- Hernández, R. L. (1999), *San Felipe del Progreso: monografía municipal*, Instituto Mexiquense de Cultura-Gobierno del Estado de México, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2001), *Síntesis de resultados. Estado de México. XII Censo General de Población y Vivienda 2000*, INEGI, México.
- (1994), *Estados Unidos Mexicanos: resultados definitivos. VII Censo Agrícola-Ganadero*, INEGI, México.
- (2007), *Estados Unidos Mexicanos: resultados definitivos. VIII Censo Agrícola-Ganadero*, INEGI, México.
- Losada, H., H. Cortés, D. Grande y J. Rivera (1993), “El sistema de animales de tracción en la región de Xochimilco. Memorias del Congreso Na-

cional de Investigación de Sistemas de Producción Agropecuarios”, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa, 12 a 16 de julio de 1993.

Starkey, P. H. (2000), “Rapid Appraisal Methodologies for Animal Traction”, P. G. Kaumbutho, R. A. Pearson y T. E. Simalenga (eds.) (2000), “Empowering Farmers with Animal Traction. Proceedings of the Workshop of the Animal Traction Network for Eastern and South Africa (ATNESA) Held 20-24 September 1999”, Mpumalanga, Sudáfrica, 344 pp.



# Contribución de los productos pecuarios a la seguridad alimentaria

ALEJANDRA DONAJÍ SOLÍS MÉNDEZ,<sup>1</sup>

TRINIDAD BELTRÁN LEÓN<sup>1</sup>

ADRIANA DEL CARMEN GUTIÉRREZ CASTILLO<sup>1,2</sup>

*El hambre perpetúa la pobreza al impedir que las personas desarrollen sus potencialidades y contribuyan al progreso de sus sociedades*

KOFI ANNAN

## Resumen

El principal objetivo de este trabajo fue identificar el aporte de los productos pecuarios a la dieta del mexicano y las condiciones necesarias para que estos productos contribuyan a alcanzar la seguridad alimentaria (SA) de manera sustentable. Para ello se plantea la estrecha relación entre sustentabilidad y SA; se analiza el desarrollo del concepto de SA y sus dimensiones; se valora la importancia de alcanzar la SA; se revisa el consumo y la producción de alimentos en México con énfasis en los productos pecuarios, y, por último, se concluye con una perspectiva hacia donde encaminar los esfuerzos para crear las condiciones de seguridad alimentaria en México.

*Palabras clave:* seguridad alimentaria, productos pecuarios, producción sustentable, acceso, alimentos saludables.

## *La estrecha relación entre la sustentabilidad y la seguridad alimentaria*

Uno de los desafíos más importantes para los sistemas agroalimentarios del mundo será asegurar el abasto suficiente de alimentos para su población. Actualmente existen 7 000 millones de habitantes en el mundo y se estima que en el año 2050 la población alcanzará 9.1 mil millones. Para alimentar adecuadamente a la población, la producción de alimentos deberá aumentar 70% a nivel mundial y 100% en los países en desarrollo. Esto en sí mismo es un desafío. Hacerlo de forma sostenible y con un impacto mínimo sobre la biodiversidad es otro.

Temas como el deterioro de los suelos, la disponibilidad del agua y la contaminación son de gran relevancia para las estrategias alimentarias actuales y fu-

<sup>1</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Col. Centro, 50000, Toluca, México.

<sup>2</sup> Autor de correspondencia: acgutierrezc@uaemex.mx.

turas. Debido a que se depende de un adecuado balance entre el crecimiento del sector agropecuario y la sustentabilidad de los recursos naturales para aspirar al cumplimiento de estos desafíos (Acharya, 2014).

Es por ello que el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías es fundamental, lo mismo que considerar aspectos sociales de reducción de pobreza a través de la creación de más y mejores empleos, educación y salud para la población, además de considerar en mayor medida retos globales como la seguridad energética y el cambio climático (Sagarpa, 2010).

Así que quizá el elemento más importante que es necesario poner en marcha es un recurso renovable, casi ilimitado, que es la imaginación y la capacidad de pensar del ser humano. La ONU ha dicho que existen recursos suficientes, que no hay crisis de recursos sino crisis de gestión de recursos; ése es el desafío más importante para responder adecuadamente al reto alimentario y, sobre todo, para responder de una forma sostenible en el futuro (Beltrán, 2010).

### *Desarrollo del concepto de seguridad alimentaria y sus dimensiones*

Los conceptos básicos que subyacen al de seguridad alimentaria, tal como se conoce actualmente, se articularon durante la Segunda Guerra Mundial. En 1943, unos 44 gobiernos se reunieron en Hot Springs, Virginia (EUA) para considerar el objetivo de la liberación de la miseria en relación con la alimentación y la agricultura.

La siguiente mención fue en la Declaración Universal de los Derechos Humanos (ONU, 1948), donde se establecieron por primera vez los derechos humanos fundamentales que deben protegerse en el mundo entero. En el artículo 25 se enuncia: “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios...” Posteriormente, el concepto se ha definido según se ha entendido y con base en la necesidad histórica en turno para abordarlo. Por ejemplo, durante la Cumbre Mundial sobre la Alimentación de 1996 fueron incorporados los factores culturales a la definición, considerando que “existe seguridad alimentaria a nivel individual, familiar, nacional, regional y mundial cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y saludable”.

Pero hasta 2001 el concepto adquirió su forma actual y generalmente aceptada: “Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana” (FAO, 2002).

De estas definiciones de SA se delinea el cumplimiento de cuatro condiciones o dimensiones interrelacionadas:

- a) Disponibilidad o existencia de cantidades suficientes de alimentos de calidad adecuada para todos los habitantes.
- b) Acceso, entendido como la aproximación de las personas a los derechos y recursos necesarios para adquirir alimentos apropiados, nutritivos y acordes con su cultura.
- c) Utilización, referida a las condiciones que aseguren el aprovechamiento biológico de los alimentos, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan las necesidades fisiológicas.
- d) Estabilidad, esto es, certeza tanto en la disponibilidad como en el acceso a alimentos adecuados en todo momento.

Sin embargo, la tendencia a subrayar la dimensión nutricional coloca en relieve la expresión “seguridad nutricional”. De esta manera, surgió la definición de seguridad alimentaria y nutricional, la cual existe cuando “todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos inocuos, que son consumidos en cantidad y calidad suficientes para cubrir sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias, y están apoyadas por un ambiente de adecuada sanidad, servicios y cuidados sociales, que permiten una vida activa y saludable” (CSAM, 2012). De esta manera, la SA se considera una contribución crucial a la seguridad nutricional (junto con la sanidad, los servicios sociales, etc.), y a su vez los nutrientes son considerados como una contribución crucial a la SA. El concepto de seguridad alimentaria y nutricional se extiende a la seguridad nutricional sustentable por el agregado de la dimensión de sustentabilidad. Estas definiciones destacan la noción de acceso y utilización del alimento más que la de producción de alimentos. No están incluidas la agricultura ni la producción de alimentos, aunque están implícitas en la medida en que el alimento debe ser producido primero con el fin de que las personas tengan acceso al mismo y lo puedan utilizar para nutrirse. Sin embargo, aun cuando la definición de la FAO incluye el término “nutritivo”, a menudo, por falta de datos, la SA es medida en términos de ingesta de suficiente energía (Acharya, 2014).

Evidentemente, debido a que la SA ha sido objeto de una creciente atención por parte de investigadores, gobiernos y actores vinculados al desarrollo y la cooperación internacional, la propia definición del concepto ha experimentado una paulatina e importante evolución atendiendo la complejidad de las crisis alimentarias presentadas desde los años setenta, considerando la sucesión de diferentes teorías sobre las causas del hambre y de las hambrunas (Calva y Ma-

cías, 2007). La SA se ha definido como un objetivo, al cual las políticas públicas y de cooperación deberían aspirar. Se plantea como una magnitud relativa debido a que se puede disponer en mayor o menor grado de SA, y variar al aumentar o disminuir. Es también un concepto ecléctico, al estar compuesto de diversos factores relativos a calidad, inocuidad, nutrición, salud, economía, política, cultura, territorio, desarrollo, soberanía, etc. Y como principal aportación, el desarrollo de la definición de SA ha proporcionado un marco conceptual aplicable a la alimentación humana, a través de la interpretación de las causas y las dinámicas de las hambrunas recientes y contemporáneas que han afligido mundialmente a las poblaciones.

Las dimensiones o condiciones de la SA pueden ser muchas o pueden entenderse de muchas maneras, complicando la concisión del concepto de SA. Para simplificar y precisar las dimensiones de SA, Luiselli (2017) recomienda tener presente la ley de la parsimonia para buscar la manera más simple de definir las cosas, debido a que es sorprendente cómo se ha complicado la definición y las dimensiones de la SA. Considera que una de las dimensiones de la SA es a nivel de la alimentación, y otra a nivel de la nutrición y salud de las personas. Aunque también recomienda considerar el nivel de los mercados y el acceso a ellos ya sea a nivel global, regional, nacional o local, para simplificar el análisis y el discurso y enfocarse realmente en las cosas esenciales como producir para poder acceder al consumo, porque las poblaciones con inseguridad alimentaria lo apremian.

La base para satisfacer la SA en comunidades con inseguridad alimentaria se hace facilitando el acceso a los alimentos básicos. Pero en este sentido se tiene una idea errónea en las políticas públicas de desarrollo social, como en el caso de México (Cuéllar, 2011), entre otros, donde se considera alcanzada la SA sólo porque como país se tiene la capacidad para importar alimentos básicos. Sin embargo, hay muchas poblaciones donde no llega el alimento en cantidad y calidad suficientes. Entonces la dimensión local, regional, es muy importante. También al considerar la dimensión de la nutrición se diferencia entre la ingesta adecuada o suficiente de calorías, lo cual sucede en gran parte de la población (DHS, 2017), mas no de manera nutritiva debido que no se realiza con la suficiente ingesta de proteína, aminoácidos esenciales, lípidos, vitaminas y minerales. También habrá que agregar a esta dimensión la ingesta suficiente de agua purificada (Popkin *et al.*, 2010). Esta dimensión se debe observar con especial atención debido a que en algunos lugares se tiene la idea de que hay suficiente alimentación; entonces se da por hecho que no existen problemas de nutrición. Como en el caso de América Latina, en el que existen problemas de obesidad, de salud pública o de carencia de algún nutriente específico. Todo esto es importante debido a que permite enfocar mejor las estrategias para alcanzar la SA.

### *Importancia de alcanzar la seguridad alimentaria*

La importancia de la SA a nivel global, regional o local es fundamental. Es una de las grandes deudas que tiene la humanidad para consigo misma. Es paradójico que exista sobradamente la capacidad de producir todos los alimentos que requiere la población pero que haya gran parte de la población sin acceso a esos alimentos. Por lo tanto, no tiene la capacidad para acceder a esa alimentación suficiente y de calidad en el tiempo, y a su vez no tienen SA (FAO, 2006). En el continente americano existe gran capacidad agrícola y ha habido un crecimiento notable en la producción agropecuaria; esencial para satisfacer la SA. Sin embargo, la persistencia de la pobreza de 30 a 40% de la población de América Latina indica que todavía existe una brecha para la consecución de la SA regional. Es lamentable porque están las capacidades, los recursos naturales, quizá los mejores del mundo para la agricultura. Pero las deficiencias institucionales y organizacionales que hay que remover impiden acceder y lograr la SA.

La pobreza es uno de los principales obstáculos para conseguir la SA, pero últimamente la violencia se apuntala debido a que provoca la ausencia, la destrucción, el debilitamiento y/o la corrupción de los medios productivos, las migraciones forzadas, el entorpecimiento o la paralización de las estrategias de mitigación, de los servicios gubernamentales y de la ayuda internacional.

Es evidente la importancia de diseñar y poner en marcha políticas públicas adecuadas para alcanzar la SA. En este sentido, es importante atender la oferta alimentaria junto con una estrategia de producción alimentaria, para activar al mismo tiempo los circuitos de producción y distribución local con el objetivo de que sean consumidos los alimentos en el mismo lugar donde se producen. Esta estrategia está tomando forma a través de los conceptos de comercio de proximidad, justo o directo del productor (Montagut y Dogliotti, 2006).

También se debe considerar que, con una alimentación nutritiva, la productividad de las personas es mayor. Por ejemplo, en las poblaciones de edad escolar se podría ver reflejado el esfuerzo educativo que hace el Estado, con escasos recursos y dificultades, para evitar verse comprometido por una deficiente nutrición. También, mientras mejor nutridas están las personas son más sanas física y mentalmente; esto permitiría disminuir los gastos en servicios de salud pública. Entonces, la SA mantiene una estrecha relación en forma de binomios con diferentes aspectos del bienestar de la población, como la educación, la productividad, la creatividad o la salud y la paz pública. Por eso es tan importante tener políticas públicas que se enfoquen en la SA de las personas (FAO, 2011). Al contrario, cuando no existe una política explícita y sistémica de SA, o las que se tienen son erróneamente enfocadas, se pierde la congruencia y la pertinencia de las políticas públicas relacionadas con producción agroalimentaria, abasto, desarrollo regional, salud pública, energética, económica o educativa. Por tal mo-

tivo, es muy importante procurar SA a las personas. A la vez, es un parámetro para revisar las otras variables con las que se relaciona. Principalmente, educación, salud, oferta y producción agropecuaria. Es por ello que este conglomerado de aspectos conforma una estrategia de seguridad alimentaria.

### *Consumo y producción de alimentos en México*

Con la finalidad de entender el nivel de seguridad alimentaria que actualmente tiene México, se analizan datos que están estrechamente relacionados con la capacidad de producción y consumo de los alimentos, con énfasis en los alimentos pecuarios. En el cuadro 1 se puede observar que la población de México sólo representa 1.7% de la población mundial.

El número de habitantes rurales según las estadísticas se incrementó a 1.4 millón entre 1990 y 2014, pero desde 2007 el fenómeno de desplazamiento forzado se ha incrementado por la inseguridad pública. Probablemente esta cifra se ha modificado de manera categórica los últimos años. Desde la perspectiva de la protección humanitaria, campesinos, indígenas y habitantes de zonas conurbadas de bajos recursos son los más vulnerables. Y los que experimentan más dificultades para encontrar refugio y rehacer su vida en otro lado, debido a la pérdida de protección física y de sus medios de subsistencia y durante la búsqueda de un lugar más seguro, se exponen a nuevos riesgos y en el proceso carecen de acceso a la alimentación, servicios públicos, vivienda, empleo y educación (Rubio y Pérez, 2016). Esta situación puede reflejarse aún más en la disminución de las personas empleadas en la agricultura y, a su vez, en la producción de alimentos. En este caso la agricultura incluye silvicultura, caza y pesca, además del cultivo de cosechas y la cría de animales (IndexMundi, 2017). El incremento en el consumo de energía para irrigación de 1990 a 2000, supone un aumento en la tecnificación de la actividad primaria, pero desde el año 2000 no ha aumentado el consumo de energía eléctrica. Los datos de alimentación presentados en el cuadro 1 son relativos a la dimensión de accesibilidad física y económica que tiene la población hacia los alimentos, iniciando con el promedio mundial de calorías suministradas por persona al día. Es el reflejo de los extremos; mientras EUA promedia 3600 kcal/día, personas de países africanos tienen acceso a 1600 kcal/día. En México, el promedio de suministro de energía por medio de la dieta se ha mantenido muy cercano a 3000 kcal. Se considera que el suministro promedio de energía dietética adecuada es de 2300 (kcal/persona/día); por tal motivo los porcentajes superan el 100%. El porcentaje de subnutrición en México ha ido disminuyendo, mientras el PIB *per capita* ha aumentado a la par. Sin embargo, el índice de volatilidad de precios de alimentos básicos se ha duplicado; este dato indica la estabilidad de la SA y se prevé que siga incrementándose a pesar de que la cantidad producida de alimentos también aumente. Lo que sugiere una ines-

CUADRO 1. *Datos relacionados con el consumo de alimentos en México con respecto al mundo*

	1990	2000	2014	2014
<i>Datos demográficos</i>		<i>México</i>		<i>Mundo</i>
Población total (millón)	86.1	103.9	123.8	7 243.8
Población rural (millón)	24.6	26.3	26	3 362.5
Área cosechada (millón ha)	40	44	61	2 781
Recursos hídricos (1 000 m <sup>3</sup> /persona/año)	5	4	4	
Área irrigada (%)			86.1	
Empleo en la agricultura (%)	22.6	18	13.4	30.7
Mujeres empleadas en la agricultura (%)	3.4	7.2	3.6	25.2
Consumo de energía para irrigación (millón kWh)	28	985	985	325 448
<i>Datos de alimentación</i>				
Suministro de energía dietética (kcal/persona/día)	2 986	3 035	3 089	2 903
Suministro promedio de energía dietética adecuada (%)	132	132	130	123
Consumo de cereales/raíces/tubérculos (%)	47	47	44	52
Prevalencia de la subnutrición (%)	6.9	< 5.0	< 5.0	10.8
Producto interno bruto (PIB) <i>per capita</i> (dólares)	12 479	14 704	16 291	13 915
Volatilidad de precios de alimentos básicos (índice)		4.4	8	7.8
Dependencia de importación de cereales (%)	23.2	33.3	30.7	50.7
Niños menores de cinco años con bajo peso (%)		6	2.8	
Población con agua potable (%)	82.3	88.6	94.9	88.7
Valor agregado de la agricultura (% PIB)	8	4	3	4
Exportación de alimentos (millón de dólares)	2 075	4 980	16 230	945 572
Importación de alimentos (millón de dólares)	4 166	7 599	21 503	966 964
<i>Índices de producción (2004-2006 = 100)</i>				
Alimento total	66	88	115	121
Cultivos total	74	89	117	123
Ganado	60	87	113	115
Leche	62	93	110	114
Carne	60	85	113	118
Pescado	96	95	124	119
<i>Comercio (millón de dólares)</i>				
Carne	-373	-1 423	-2 427	5 056
Lácteos	-714	-526	-1 434	1 169
Pescado	297	564	416	1 257

FUENTE: FAOSTAT, 2017.

tabilidad en el poder adquisitivo para acceder económicamente a los alimentos (Acharya, 2014). Las mediciones antropométricas, como el porcentaje de niños menores de cinco años con bajo peso, se refiere a la dimensión de utilización del alimento; en este caso, con datos de la FAO, en México de 2000 a 2014 se redujo la cifra, lo que indicaría que ha mejorado el nivel de nutrición en la población infantil. Pero, en contraste, los datos generados por el Instituto Nacional de Salud Pública señalan que más de 25% de los mexicanos tiene acceso deficiente a la alimentación. Que ha disminuido significativamente la desnutrición infantil entre 1988 y 2012, pero que aún queda 14% de menores de cinco años, lo que significa aproximadamente 1.5 millones de preescolares mexicanos que presentan baja talla para su edad, lo cual indica desnutrición crónica. En el caso de la población indígena, la prevalencia es de 33.1%. Y, en contraste, se encuentra la población de niños, adolescentes y adultos con sobrepeso y obesidad, que se ha convertido en un problema de salud pública (Rivera Dommarco *et al.*, 2012).

El acceso de la población al agua potable también es un indicador de la dimensión de utilización. México ha ido aumentando la cifra y rebasa el promedio mundial. El 5.1% faltante para alcanzar el 100% de la población indica que aproximadamente 6.3 millones de mexicanos aún no tienen acceso al agua potable, lo que pone de manifiesto una de las prioridades a establecer en las políticas de seguridad social y abasto, debido a la importancia del líquido para todas las funciones y actividades humanas vitales. De seguir ausente este elemento, se constituirá en un problema muy grave de seguridad y salud pública (Suner y Kirval, 2017). El valor agregado de la agricultura respecto al PIB es la producción neta del sector después de sumar todos los productos y restar los insumos intermedios. Se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales (Index-Mundi, 2017).

La importación de alimentos ha ido aumentando considerablemente desde 1982; probablemente éste no sería un indicador de falta de soberanía alimentaria en México si la exportación de alimentos fuese superior a la importación. Sería un indicador de variedad o diversificación en la alimentación de la población, pero no es el caso, lo que señala es una importante dependencia del sector alimentario a los precios y al abasto del mercado internacional. Evidencia el incremento de inseguridad y vulnerabilidad alimentaria que compromete seriamente la soberanía nacional y afecta gravemente la seguridad alimentaria de la mayoría de la población nacional. El Departamento de Agricultura de EUA determinó que en México se importa más de 40% de los alimentos que se consumen en el país. De seguir con esa tendencia, para 2030 el 80% de los alimentos se importarían (USDA, 2017), lo que ubica al sector alimentario mexicano en un contexto internacional caracterizado por especulación financiera en los mercados agrícolas, con volatilidad y constante incremento de los precios, uso de ali-

mentos aptos para consumo humano en la producción de combustibles, crecimiento demográfico mundial, cambio climático global, todo lo cual repercute en la disminución de la producción y las reservas mundiales de alimentos. En 2014, el 87% de las importaciones procedieron de EUA, principalmente maíz y soya, seguidos por carne y despojos comestibles (Sagarpa, 2016).

Los índices de producción de alimentos toman como base la producción realizada de 2004 a 2006 como el 100%. Se puede observar que en todos los casos tiene una tendencia a incrementarse, pero aún está por debajo de la tendencia mundial de producción de alimentos.

Se tienen números negativos en el comercio de carne y lácteos debido a que este dato se obtiene de restar importaciones de las exportaciones. Un déficit comercial hace que las exportaciones sean insuficientes para pagar las exportaciones. En el caso de la comercialización del pescado, ésta tiene un superávit y también en el porcentaje de producción supera la media mundial.

La producción de alimentos pecuarios ha crecido 3.3% en promedio anual. El 50% del valor de la producción se concentra en seis entidades: Jalisco, Veracruz, Puebla, Durango, Guanajuato y Sonora. Destaca por su dinamismo la rama avícola en la producción de carne y huevo. Este incremento en la producción ha contribuido a elevar el consumo de proteína animal. Sin embargo, la tasa de crecimiento medio anual del consumo aparente de alimentos ha sido superior a la de producción, lo cual revela la importancia que tiene la oferta externa en la disponibilidad nacional de alimentos, como se muestra en el cuadro 2 (FAO, 2013).

La relevancia del tema es que se depende de las importaciones para suministrar 75% de la energía alimentaria *per capita* en México.

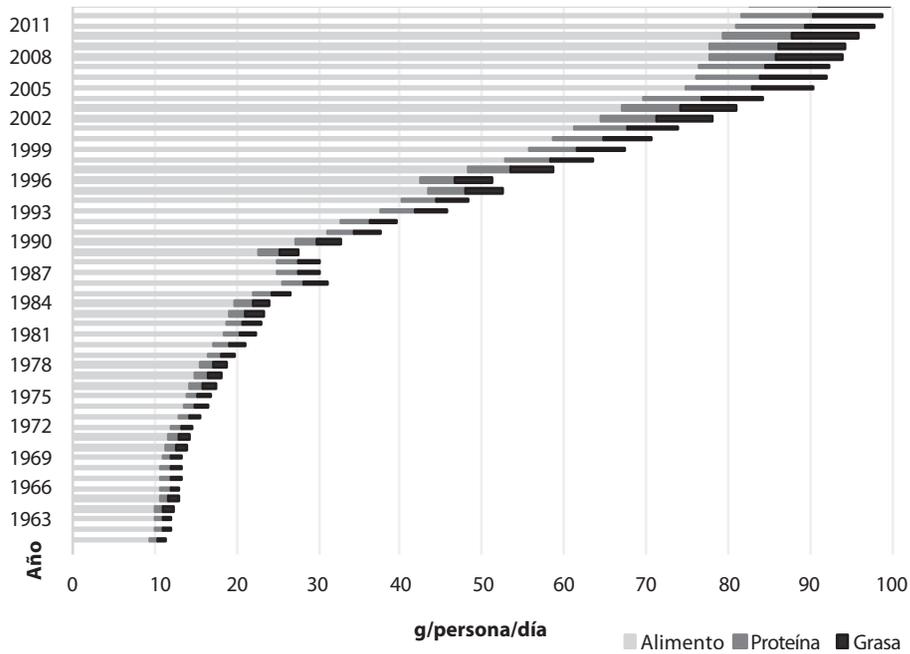
En la gráfica 1 (FAOSTAT, 2017), se observa el aumento paulatino del consumo de carne de ave de corral en México: en 1961 se consumía 9.28 g/persona/día, 0.99 g de proteína y 1.01 g de grasa, y en 2013, 82.53 g/persona/día, 8.58 g de proteína y 8.57 g de grasa. Este incremento es muy similar en el consumo de carne de las otras especies pecuarias.

En la actualidad, la carne de pollo y pavo son las preferidas y de mayor acceso a los mexicanos. En el cuadro 3 (FAOSTAT, 2017), la carne de cerdo se en-

CUADRO 2. *Contribución del volumen importado a la disponibilidad promedio en México, 2009-2011*

Porcentaje	Alimento
Menos de 10%	Huevo (0.4%), maíz blanco (3.7%), café oro (4.6%) y azúcar (9.5%)
De 10 a 30%	Leche (13.2%), frijol (13.5%), carne de aves (18.3%) y sorgo (26.1%)
De 30 a 50%	Carne de bovino (34.5%) y de porcino (40.2%)
Más de 50%	Trigo (51%), maíz amarillo (80.1%), arroz (89%) y soya (95%)

GRÁFICA 1. Consumo de carne de ave de corral en México



CUADRO 3. Comportamiento de los niveles de consumo de carne a través de los años en México (g/persona/día)

Elemento	Mínimo	Máximo	Reciente	Elemento	Mínimo	Máximo	Reciente
Año	1969	1983	2013	Año	1968	2004	2013
Cerdo	24.54	54.38	41.74	Ovino y caprino	1.84	3.57	2.45
Proteína	2.68	5.93	4.51	Proteína	0.28	0.53	0.37
Grasa	7.73	17.13	12.72	Grasa	0.24	0.54	0.35
Año	1973	2002	2013	Año	2012	2001	2013
Vacuno	20.84	48.88	42	Otras especies	1.67	5.04	1.78
Proteína	3.08	7.23	6.22	Proteína	0.31	1.1	0.33
Grasa	1.32	3.09	2.65	Grasa	0.07	0.12	0.07
Año	1971	2002	2013				
Vísceras	6.94	14.57	13.96				
Proteína	1.26	2.66	2.55				
Grasa	0.21	0.44	0.42				

CUADRO 4. Consumo anual y aporte calórico diario de carne en la dieta del mexicano

	Consumo por kg/persona/año	Aporte de energía kcal/persona/día
Aves de corral	30.12	114
Cerdo	15.23	134
Vacuno	15.33	50
Vísceras comestibles	5.09	15
Ovino y caprino	0.89	5
Carne, otra	0.65	2

cuenta en segundo lugar de consumo, que en 1983 registró su punto máximo. La tercera en preferencia es la carne de vacuno, posteriormente las vísceras comestibles, seguidas de la carne de ovino y caprino. El consumo más bajo registrado para la mayoría de productos cárnicos ocurrió a finales de la década de los sesenta e inicios de los setenta (Sanders, 1982). Los consumos máximos de la mayoría se sitúan al inicio de siglo XXI entre 2001 y 2004 (Callejas Juárez *et al.*, 2017).

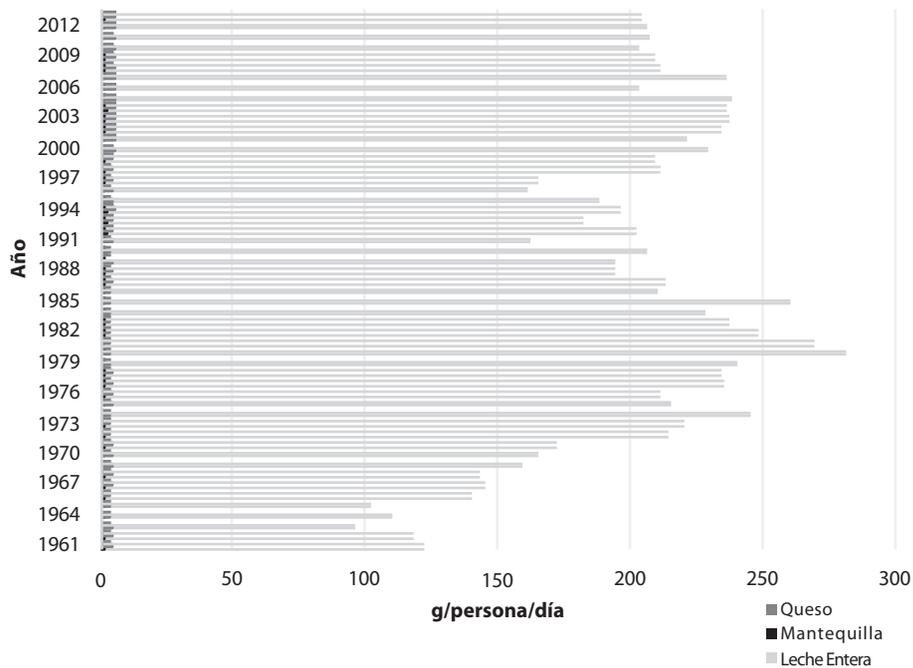
Anualmente, el consumo promedio de carne de ave de corral es de 30 kg (cuadro 4), relativamente similar a los 36 kg consumidos en Canadá o 32 kg en China. Sin estar en el extremo: 50 kg de EUA o 0.66 kg de Etiopía (FAOSTAT, 2017). Cabe señalar que en la mayoría de los países la carne de ave de corral conformada por pollo y pavo lidera el consumo de carne. Lo anterior puede deberse a ideas religiosas, practicidad para su manejo y confiabilidad de la carne que se está consumiendo (Contreras, 2007). El aporte calórico diario (cuadro 4) por parte de los productos cárnicos es menor a 5% de la ingesta promedio de calorías. El aporte nutricional principalmente es proteico (De Smet y Vossen, 2016). Cabe resaltar que el contenido de grasa en la carne es uno de los elementos que limita el consumo por orientaciones alimenticias, moda o mala percepción. La carne de vacuno es la que contiene menos grasa (Wyness, 2016).

El comportamiento de consumo de lácteos ha sido variable a través de los años (gráfica 2). A principios de la década de los años ochenta se registraron los mayores consumos de leche entera, de 281 a 213 g/persona/día, equivalente a un vaso de leche. En la actualidad, el consumo está disminuyendo paulatinamente de manera similar a como lo hizo a finales de los ochenta. No hay una tendencia marcada de consumo, pero desde inicios de los setenta no ha llegado a disminuir 150 g/persona/día. Es importante mencionar que el consumo de lácteos constan-

temente se asocia con el desarrollo de obesidad, problemas cardiovasculares, síndrome metabólico y cáncer (Beydoun *et al.*, 2008, y Missmer *et al.*, 2002). Es por ello que en la actualidad existe una campaña para desalentar el consumo de lácteos. Probablemente ésa sea la razón por la que su consumo está disminuyendo. En contraste, se encuentran las comunidades con riesgo de inseguridad alimentaria, donde la producción y el consumo de lácteos es muy importante debido a que es el principal acceso a la proteína animal y aporta significativamente a los requerimientos energéticos de la dieta humana (Al-Atiyat, 2004).

El consumo de lácteos en México ha sido relativamente bajo con respecto a países como Canadá y EUA que han tenido consumos de leche entera hasta de 500g/persona/día. Sin embargo, el consumo de leche entera o descremada en países desarrollados está disminuyendo a niveles de 80 g/persona/día. No obstante, en países en desarrollo con niveles de inseguridad alimentaria altos el consumo de lácteos tiende a incrementarse. Aunque de manera muy moderada, Etiopía ha incrementado su consumo de 28 a 123 g/persona/día. El consumo de mantequilla y queso en México es moderado. A pesar de que en la gastronomía mexicana éstos son ingredientes importantes (Villegas de Gante *et al.*, 2015), las cifras de 1.7 y 5.85 g/persona/día de mantequilla y queso,

GRÁFICA 2. Consumo de carne de ave de corral en México



CUADRO 5. Consumo anual y aporte calórico de lácteos a la dieta mexicana (1961-2013)

	Leche entera		Mantequilla		Queso	
	Consumo kg/ persona/año	Aporte kcal/ persona/día	Consumo kg/ persona/año	Aporte kcal/ persona/día	Consumo kg/ persona/año	Aporte kcal/ persona/día
<i>Media</i>	73.0	117.5	0.5	10.7	1.6	17.7
<i>DE</i>	15.6	24.0	0.1	3.0	0.3	4.0
<i>Max</i>	102.6	162.0	0.9	18.0	2.1	25.0
<i>Min</i>	35.3	60.0	0.3	6.0	1.3	13.0

DE = desviación estándar, Max = valor máximo, Min = valor mínimo.

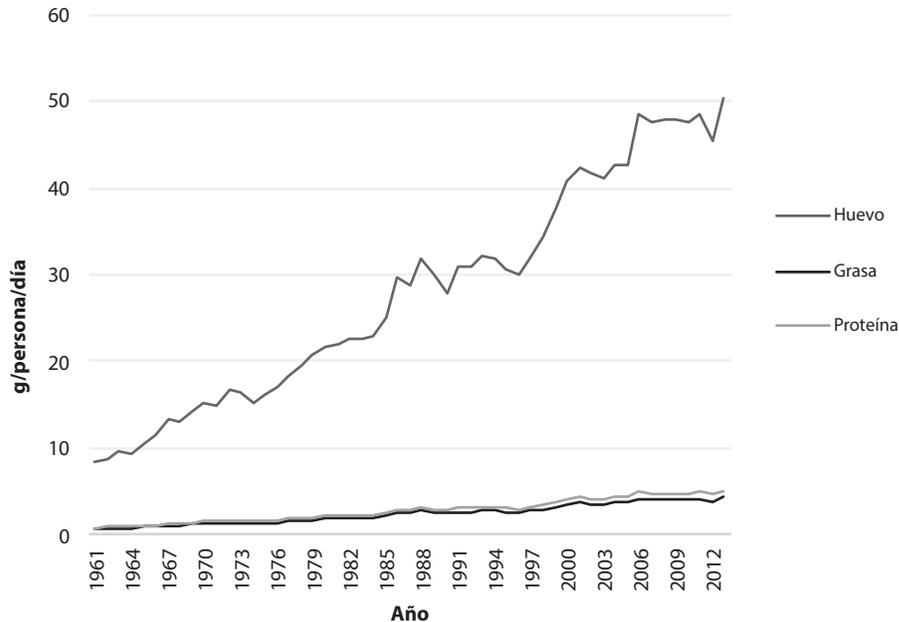
respectivamente, son muy lejanas a los 6 o 7.4 g/persona/día de consumo de mantequilla, o los 33 y 43 g/persona/día de consumo de queso en Canadá o EUA, respectivamente.

Los valores de la desviación estándar del consumo anual (cuadro 5) de mantequilla y queso en México son bajos, lo que indica que la media no ha fluctuado radicalmente. El consumo anual de estos dos lácteos se ha incrementado con una tendencia más uniforme, a diferencia del consumo de leche entera. Comparando estos consumos anuales con los de otros países, y considerando de antemano la diferencia de talla entre las poblaciones, y a su vez la capacidad de ingesta de calorías, se tiene el caso de Canadá, que en la década de los sesenta llegó a consumir hasta 8 kg de mantequilla y ha cambiado por el consumo de grasas insaturadas, pero aun así consume 2.7 kg anualmente por persona. El consumo de queso en Canadá y EUA, a diferencia de otros productos lácteos, tiene un ligero incremento paulatino sostenido con consumos de 12 y 16 kg de queso anualmente.

El aporte diario energético a la dieta del mexicano por parte de los lácteos es mínimo. Se registraron valores máximos de 162, 18 y 25 kcal en leche entera, mantequilla y queso, respectivamente (FAOSTAT, 2017). Los mayores consumidores de yogur en México son las mujeres adultas, las zonas urbanas y las personas con baja condición de bienestar (Rivera Dommarco *et al.*, 2012). México es uno de los mayores consumidores de huevo en el mundo. El consumo diario se ha incrementado de 8 g en la década de los sesenta a 50 g por persona en la actualidad (gráfica 3).

Por lo anterior, anualmente se tiene el consumo promedio de 18.3 kg/persona/año, superando el consumo de Canadá (12 kg), China (13 kg) y EUA (15 kg), lo que equivale aproximadamente a que cada mexicano consume 330 huevos de gallina al año.

GRÁFICA 3. Comportamiento del consumo de huevo en México y aporte de grasa y proteína

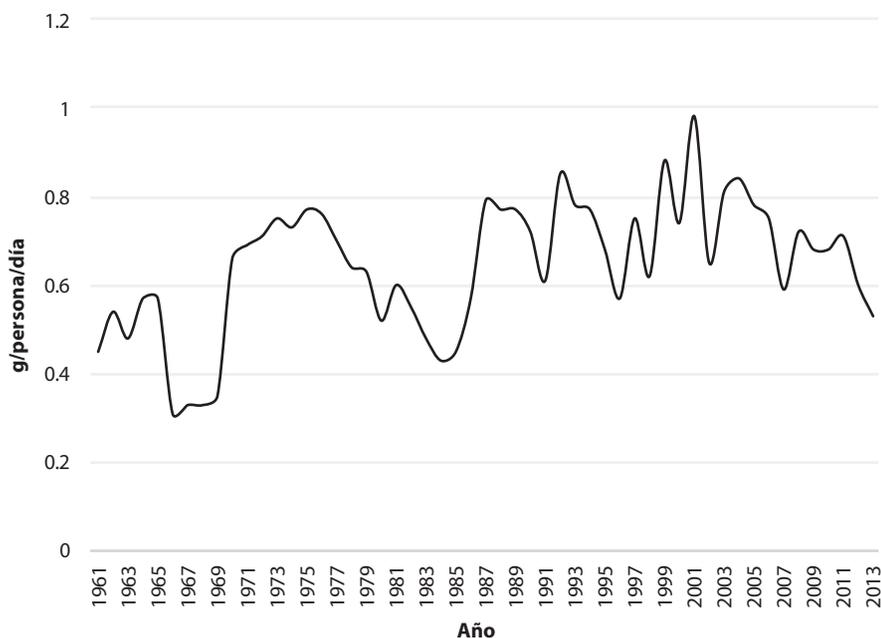


El consumo de miel en México ha sido muy fluctuante (gráfica 4), pero se ha mantenido en un rango de 0.3 a 0.98 g/persona/día. En 2013 se consumió diariamente 0.53 g por persona, lo que equivale a 190 g anualmente. Comparado con otros países, el consumo anual *per capita* en Canadá fue de 780 g, China 720 g, EUA 670 g y Etiopía 470 g (FAO, 2017). Lo anterior indica que hay un rezago muy importante en el consumo de miel en México, el cual está relacionado con hábitos alimenticios saludables y se le asocia con la reducción de la obesidad (Samat *et al.*, 2017).

## Conclusiones

Los productos pecuarios representan una fuente importante de proteína, energía, minerales y vitaminas en la población mexicana y en el mundo, contribuyendo con estos aportes nutrimentales y energéticos a la dieta. Sin embargo, se debe promover el consumo de carne y lácteos bajos en grasa para reducir la ingestión de grasa saturada.

Como se observó, el incremento de la producción de alimentos no garantiza la SA, debido a que la SA es un concepto multidimensional muy importante que

GRÁFICA 4. *Comportamiento del consumo de miel*

está relacionado directamente con la calidad de vida y la salud de las personas. Como clave fundamental del concepto es que se debe tener “acceso al alimento saludable”, y en este sentido es como se pone de manifiesto que, para alcanzar la SA en México, es insostenible continuar con el modelo de dependencia alimentaria en los mercados internacionales, además de que es económica y socialmente inaceptable la falta de soberanía alimentaria. Dado el escenario internacional, los esfuerzos deben encaminarse a una disponibilidad suficiente de alimentos de origen nacional con una orientación sustentable y saludable. Para ello será necesario fomentar la participación de los diferentes tipos de unidades económicas, especialmente, las ubicadas en las comunidades rurales, y apoyar a los pequeños y medianos productores primarios, así como crear las condiciones necesarias para el crecimiento sustentable de la producción de alimentos, sus rendimientos y su productividad, a través de la inversión privada y pública, la investigación y el desarrollo, la mitigación y la adaptación al cambio climático, la recuperación de recursos naturales, el manejo poscosecha y la conservación, y evitar desperdicios y mejorar la distribución.

El aumento de la producción pecuaria en forma sustentable y saludable enfrenta un gran reto que hay que superar, pero el desafío principal será crear los mecanismos necesarios y eficientes para que la población pueda acceder a estos alimentos.

## Bibliografía

- Acharya, T. (2014), *Assessing Sustainable Nutrition Security: The Role of Food Systems*, OLSI Research Foundation, Center for Integrated Modeling of Sustainable Agriculture and Nutrition Security, Washington, D. C.
- Al-Atiyat, R. M. (2014), "Role of Small-scale Dairy Sector in Food Security and Poverty Alleviation", *Journal of Food, Agriculture and Environment* 12 (2): 427-433.
- Beltrán, J. D. (2010), "Sostenibilidad y reto alimentario. Elementos para la política agraria del futuro", en el seminario "El reto de la alimentación mundial en el siglo XXI", 17 de junio, Subsecretaría del MARM, Madrid.
- Beydoun, M. A., T. L. Gary, B. H. Caballero, R. S. Lawrence, L. J. Cheskin y Y. Wang (2008), "Ethnic Differences in Dairy and Related Nutrient Consumption among US Adults and their Association with Obesity, Central Obesity, and the Metabolic Syndrome", *The American Journal of Clinical Nutrition* 87 (6): 1914-1925.
- Callejas Juárez, N., S. Rebollar Rebollar, J. A. Ortega Gutiérrez y J. Domínguez Viveros (2017), "Bio-economic Parameters of Intensive Production of Beef in Mexico", *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8 (2): 129-138.
- Calva, J. L., y A. Á. Macías (2007), *Desarrollo agropecuario, forestal y pesquero*, vol. 9, UNAM, México, 385 pp.
- Contreras, J. (2007), "Alimentación y religión", *Humanitas Humanidades Médicas*, 16: 1-22.
- CSAM (Comité de Seguridad Alimentaria Mundial) (2012), "En buenos términos con la terminología", reporte del 39º periodo de sesiones, 15-20 de octubre, Roma.
- Cuéllar, J. A. (2011), *Programa de seguridad alimentaria: experiencias en México y otros países*, CEPAL, Naciones Unidas, México.
- DHS (2017), "Demographic and Health Surveys Program. Countries Home. Latin America y Caribbean". Consultado en <http://www.measuredhs.com/countries/start.cfm>.
- FAO (2002), "Medición y evaluación de la carencia de alimentos y la desnutrición", resumen de los debates, Simposio Científico Internacional, FAO, Roma, 26-28 de junio.
- (2006), "Seguridad alimentaria", *Informe de Políticas*, núm. 2, junio, Roma.
- (2011), *Seguridad alimentaria nutricional, Conceptos básicos. Programa Especial para Seguridad Alimentaria (PESA) en Centroamérica, Proyecto Food Facility Honduras*, 3ª ed., febrero.
- (2013), "Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012", México, p. 240. Disponible en <ftp.sagarpa.gob.mx/CGCS/Documentos/2013/>.

- FAOSTAT (2017), “Datos, indicadores por país”. Disponible en [fao.org/faostat/es/#compare](http://fao.org/faostat/es/#compare).
- IndexMundi (2017), “Agricultura, valor agregado”. Disponible en [indexmundi.com/es/datos/](http://indexmundi.com/es/datos/).
- Luiselli, F. C. (1996), Ponencia “Foro sobre la reforma del sector agropecuario”, “Los desafíos del nuevo marco normativo agrario”, Campeche, febrero de 1992, *Estudios Agrarios*, 18 pp.
- (2017), *El concepto, importancia y dimensiones de la seguridad agroalimentaria*, IICA/UNAM/Coursera, México.
- Missmer, S. A., S. A. Smith Warner, D. Spiegelman, S. S. Yaun, H. O. Adami y W. L. Beeson (2002), “Meat and Dairy Food Consumption and Breast Cancer: A Pooled Analysis of Cohort Studies”, *International Journal of Epidemiology* 31 (1): 78-85.
- Montagut, X., y F. Dogliotti (2006), *Alimentos globalizados: soberanía alimentaria y comercio justo*, vol. 235, Icaria-Soberanía Alimentaria, Barcelona, 233 pp.
- ONU (1948), “La Declaración Universal de Derechos Humanos. Asamblea General en su resolución 217 A (III), París, Francia”. Consultado el 15 de abril de 2017. Disponible en <http://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights/>.
- Popkin, B. M., K. E. D’Anci e I. H. Rosenberg (2010), “Water, Hydration, and Health”, *Nutrition Reviews*, 68 (8), 439-458.
- Rivera Dommarco J., T. Shamah Levy, S. Villalpando Hernández, A. Franco y L. Cuevas Nasu (2012), *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados nacionales*, Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, México.
- Rubio, D. L., y V. B. Pérez (2016), “Desplazados por violencia. La tragedia invisible”, *Nexos*, 1º de enero. Disponible en <http://www.nexos.com.mx/?p=27278>.
- Sagarpa (2010), “Retos y oportunidades del sistema agroalimentario de México en los próximos 20 años: México”. Disponible en [sagarpa.gob.mx/agro-negocios/Documents/](http://sagarpa.gob.mx/agro-negocios/Documents/).
- (2016), “Balanza comercial agroalimentaria”, Coordinación General de Asuntos Internacionales, Consejería Agropecuaria para los Estados Unidos de Norteamérica. Disponible en [sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/sagarpa/Documents](http://sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/sagarpa/Documents).
- Samat, S., F. Kanyan Enchang, F. Nor Hussein y W. I. Wan Ismail (2017), *Four-Week Consumption of Malaysian Honey Reduces Excess Weight Gain and Improves Obesity-related Parameters in High Fat Diet Induced Obese Rats. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*.
- Sanders, T. G. (1982), “Mexican Population: 1982. American Universities Field Staff Reports: North America”, 34, pp. 1-14.

- Smet, S. de, y E. Vossen (2016), "Meat: The Balance between Nutrition and Health. A Review", *Meat Science* 120: 145-156.
- Suner, M., y L. Kirval (2017), "The Efficient Use of the Water Resources and the Global Warming: The Case of North Cyprus Water of Peace Project", *Lecture Notes in Energy*, 33: 477-495.
- USDA (2017), "Global Agricultural Trade System. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service". Disponible en [apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx](https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx).
- Villegas de Gante, A., O. Lozano Moreno y F. Cervantes Escoto (2015), *Valorización de los quesos mexicanos genuinos: conocimiento, degustación, acompañamiento y gastronomía*, Printing Arts México, Texcoco, México, 215 pp.
- Wyness, L. (2016), "The Role of Red Meat in the Diet: Nutrition and Health Benefits", *Proceedings of the Nutrition Society*, 75 (3): 227-232.

## Presencia de micotoxinas en la leche. Aspectos a considerar para una producción sustentable

BENJAMÍN VALLADARES CARRANZA,<sup>1\*</sup>

VALENTE VELÁZQUEZ ORDÓÑEZ,<sup>1</sup>

CÉSAR ORTEGA SANTANA,<sup>1</sup>

ADRIANA DEL CARMEN GUTIÉRREZ CASTILLO,<sup>2</sup>

JOSÉ LUIS ZAMORA ESPINOSA,<sup>1</sup>

LUIS SALVADOR PÉREZ SOTELO,<sup>1</sup>

MARÍA UXÚA ALONSO FRESAN,<sup>1</sup>

JUAN EDREI SÁNCHEZ TORRES<sup>2</sup>

OCTAVIO ALONSO CASTELÁN ORTEGA.<sup>2</sup>

### Resumen

En el presente trabajo se analiza y se expone conjuntamente información de las condiciones circunstanciales del cambio climático sobre la calidad de la leche por contaminación de aflatoxinas M1 y M2, lo cual puede tener repercusiones directas e indirectas tanto en salud pública como animal. La leche, por ser un alimento muy completo, puede ser un vehículo para transmitir enfermedades y por consiguiente ocasionar problemas de salud, dentro de las cuales, de forma imperceptible, se pueden encontrar las ocasionadas por las micotoxinas. Así, una micotoxicosis implica enormes perjuicios de orden económico, sanitario y comercial; principalmente por sus propiedades anabolizantes, estrogénicas, carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas. Pero el mayor problema de las micotoxinas se atribuye a los daños relacionados con diversos órganos de los animales que las puedan consumir, lo que implica la disminución en el desempeño productivo de los mismos. Una micotoxicosis primaria se produce al consumir vegetales contaminados, y una secundaria, al ingerir carne o leche de animales que comieron forrajes con micotoxinas; las características de una micotoxicosis son: no es una enfermedad transmisible; su tratamiento con fármacos o antibióticos tiene poco o ningún efecto en los brotes observados en el campo; el problema es estacional debido a que las condiciones climáticas afec-

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Cuerpo Académico en Salud Animal.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. Autor de correspondencia: benvac2004@yahoo.com.mx.

tan el desarrollo del hongo, y el brote comúnmente está asociado a un alimento o forraje específico. Los derivados de aflatoxinas B1 y B2 conocidos como aflatoxinas M1 y M2, respectivamente, se excretan en la leche de animales que consumieron alimentos contaminados con aflatoxinas. Las aflatoxinas M1 y M2 son igualmente activas, lo cual constituye un riesgo para la salud humana; estos derivados hidroxilados pueden estar presentes en leche líquida y en polvo. Por lo cual deben realizarse controles de calidad necesarios en los procesos de producción que parten de la unidad de producción pecuaria y culminan en el consumidor final.

**Palabras clave:** aflatoxinas M1 y M2, leche, cambio climático.

## Introducción

El cambio climático ha tenido consecuencias significativas en la salud de la población tanto a través de cambio de temperatura y de precipitación como de eventos extremos; estos efectos se han presentado por medio de canales indirectos, a través de la calidad del aire y el agua, la calidad y la cantidad de alimentos, la agricultura y los ecosistemas, lo cual día a día aqueja a todas las poblaciones en general (AEMA, 2008). En el mundo, más de 6 000 millones de personas consumen leche y sus derivados y los habitantes de países en desarrollo son los principales consumidores; como alimento debe ser de la más alta calidad nutricional inalterada y sin contaminar (Valladares *et al.*, 2015).

En la actualidad, los cambios en el clima global inducidos por alteraciones en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero están causando modificaciones mucho más rápidas en el hábitat de los seres vivos que los experimentados durante millones de años. Incrementos en la temperatura planetaria están ocurriendo ahora en pocas décadas, y el potencial de adaptación biológica de muchas especies está siendo rebasado por la velocidad de las transformaciones. Los efectos del cambio climático son visibles en todo el mundo, pero la distribución de la intensidad de su impacto es desigual. Las temperaturas árticas invernales han llegado a aumentar hasta 5 °C en algunas zonas, lo que supone siete veces la media de incremento medio mundial. En América Latina y el Caribe las condiciones climáticas extremas de toda índole están aumentando y cada vez son más frecuentes fenómenos como sequías, lluvias fuertes, olas de calor y grandes incendios, entre otros fenómenos naturales (AEMA, 2008).

El cambio climático repercute negativamente en los diferentes estratos ecológicos, lo cual ha ocasionado alteraciones en los diversos hábitats de los organismos. Actualmente la producción de ozono y metano, entre otras sustancias en gran cantidad, ha propiciado un desbalance importante que genera la presencia de compuestos que benefician a algunos microorganismos y disminuyen la pre-

sencia de otros; que a su vez, en el caso particular de las actividades agrícolas, afectan significativamente tanto la productividad como la salud de las poblaciones animales. Los cambios ambientales están ligados a la salud humana, ya sea de manera directa, a través de los efectos físicos de los extremos climáticos, o indirectamente, a través de las influencias de los niveles de contaminación del aire, en los sistemas agrícolas, marinos y de agua dulce que proporcionan alimento y agua, y en los vectores y los microorganismos patógenos que causan enfermedades infecciosas en gran parte de la población mundial (Brown, 2008).

En la seguridad alimentaria existen diferentes factores de riesgo que condicionan la presencia de elementos y alteran las características de los productos obtenidos en las diversas unidades de producción. Uno de ellos es la presencia de aflatoxinas en la leche. Las aflatoxinas M1 y M2 son metabolitos que pueden estar presentes en la leche después de que la nutrición del ganado en producción se ha basado en alimentos contaminados por compuestos fúngicos, lo cual se puede determinar y correlacionar con base en el tipo de alimentación y la cantidad de producto obtenido en las diferentes épocas del año. Las toxinas elaboradas por los mohos son lanzadas al sustrato o alimento; de esa forma se agrava su calidad y aumenta el riesgo en los animales de contraer una micotoxicosis (Cabañes, 2000). En las unidades de producción pecuaria, las pérdidas económicas que se originan anualmente por esta causa se manifiestan en una disminución significativa de la producción de huevo y leche, en la mala conversión alimenticia, en el retardo del crecimiento y en la disminución de la ganancia de peso de los animales, en el decomiso de cereales y piensos contaminados por mohos y sus toxinas, así como en el de carnes y vísceras de animales que ingirieron dietas que contenían toxinas fúngicas (Diang-Sheng, 1995; Valle, 1991). El objetivo de este trabajo es analizar la información del efecto del cambio climático sobre la ocurrencia de contaminación de la leche por aflatoxinas M1 y M2, lo cual es importante revalorar, ya que por los diferentes grados de contaminación del producto puede representar un problema de salud pública.

### Calidad de la leche

La leche y sus subproductos son alimentos altamente perecederos. Altos estándares de calidad a lo largo del procesado de la leche son necesarios para alcanzar o mantener la confianza del consumidor y para hacer que decida comprar productos lácteos. La leche que se obtiene en la unidad de producción debe ser de la más alta calidad nutricional, inalterada y sin contaminar. Diferentes países aplican distintos estándares para calidad de la leche. Generalmente, la exigencia de las regulaciones es proporcional a la disponibilidad de productos lácteos (y otros alimentos). Tres consideraciones generales se encuentran presentes: segu-

ridad, valor nutritivo y consideraciones estéticas; este último rasgo es deseable pero no esencial (Valladares *et al.*, 2015).

Entre las sustancias indeseables más comunes que se hallan en la leche se encuentran: agua, bacterias u otros microorganismos, antibióticos y otras drogas utilizadas para el tratamiento de las vacas, pesticidas o insecticidas utilizados en la vaca o en su medio ambiente, productos de hongos (micotoxinas) en el alimento, productos químicos utilizados en la limpieza del equipo; Otros contaminantes menos comunes (radioisótopos) (Marshal, 2013). Una vez que la leche es extraída de la vaca, nada se puede hacer para mejorar su valor, pero mucho se puede hacer para prevenir la pérdida de su valor antes de que llegue al consumidor. Los consumidores esperan que los productores de origen animal no contengan residuos que puedan representar algún riesgo para la salud o el ambiente. Sin embargo, los animales que tienen enfermedades necesitan ser tratados con medicamentos con el fin de evitarles sufrimientos, así como también evitar que algunas de estas enfermedades se transmitan al ser humano. Por lo tanto, debe haber un balance entre estos parámetros de la protección al consumidor, el bienestar de los animales y la producción animal (Rojas, 2009). La leche es el único material producido por la naturaleza para funcionar exclusivamente como fuente de alimento. Por esto, un factor fundamental que influye sobre el valor de aceptación universal de la leche es la imagen que ésta representa; a saber, que constituye una fuente nutritiva, no superada por ningún otro alimento conocido por el ser humano. La confirmación de esta imagen nutritiva está en el uso extensivo que tienen la leche y sus derivados, como parte de la dieta diaria de los pueblos de los países altamente desarrollados. Como consecuencia de esto, estas sociedades gozan casi de una completa ausencia de enfermedades nutricionales entre bebés, niños y adultos jóvenes (Valladares *et al.*, 2015).

Si bien son incuestionables las cualidades nutritivas de la leche y los productos lácteos, no es menos cierto que, desde su síntesis en la glándula mamaria hasta su llegada al consumidor, estas cualidades están sometidas a un gran número de riesgos que hacen peligrar su calidad original. Estos riesgos son: la contaminación y multiplicación de microorganismos, la contaminación con gérmenes patógenos, la alteración físico-química de sus componentes, la absorción de olores extraños, la generación de malos sabores y la contaminación con sustancias químicas como pesticidas, antibióticos, metales, detergentes, desinfectantes y partículas de suciedad, entre otros. Todos éstos, ya sea en forma aislada o en conjunto, conspiran en forma negativa sobre la calidad higiénica y nutricional del producto y, consecuentemente, están en contra de la salud pública y economía de cualquier país (Boeckman y Carlson, 2003).

## Importancia y alteraciones de las micotoxicosis

Entre los aspectos de la calidad higiénica de los alimentos que son suministrados a los diferentes animales domésticos, como los consistentes en alfalfa achicalada, avena, maíz (grano y ensilado), sorgo y trigo, requieren un manejo adecuado, debido a las contaminaciones que en ocasiones suele presentarse por bacterias, actinomicetos, levaduras, mohos y sus toxinas; estos últimos producen intoxicaciones alimentarias graves, conocidas como micotoxicosis (Cabañas, 2000; Knass *et al.*, 2003). En la actualidad las micotoxicosis constituyen un problema internacional, principalmente en los países tropicales y subtropicales, ya que las condiciones de humedad y temperatura de éstos favorecen el desarrollo de los mohos y la producción de sus toxinas. Ningún alimento está exento de contaminarse con los mohos y sus toxinas. En el desarrollo fúngico desempeñan un papel importante diversos factores, entre los cuales se encuentran: la humedad relativa, la humedad absoluta, la temperatura ambiental y del sustrato, así como del factor nutritivo, mientras que para la síntesis de las toxinas también es de especial interés la capacidad genética de algunas especies de mohos (Diang-Sheng, 1995).

Existen diferentes tipos de micotoxicosis, que reciben su nombre específico dependiendo del moho y la toxina que las produce. Las más estudiadas y de mayor interés económico son: aflatoxicosis, ocratoxicosis, ergotismo, fusario-toxicosis (F-2, T-2, tricotecenos), citrinina y patulina; así como unas no tan importantes: rubrotoxicosis, luteosquirina, rugulosina, citreoviridina, toxicosis por ácido kójico, ácido penicilínico, ácido aspergílico, ácido betanitropopanoico, ácido ciclopiazónico, toxinas tremorgénicas producidas por *Aspergillus* y *Penicillium*, verrucaria, roridina, penitrem A, esporodesmina, oxalatos y alcaloides producidos por roya y tizones. Entre las toxinas de *Fusarium* están el diacetoxiescirpenol, el fusarelonan, el nivalenon y el neosolaniol (Edds, 1999; Roy *et al.*, 2004).

Las intoxicaciones alimentarias que se presentan en los animales cuando ingieren alimentos contaminados con toxinas elaboradas por mohos, ocasionan cada año importantes pérdidas económicas en la producción pecuaria (Van Egmond, 1999 a y b; Robledo *et al.*, 2001).

Las micotoxinas son sustancias tóxicas producidas en el metabolismo secundario de los hongos; se conocen cientos de ellas, pero sólo una veintena aparecen como contaminantes naturales en los alimentos cuando las condiciones climáticas son propicias. Las micotoxinas se encuentran distribuidas en diferentes familias: aflatoxinas, ocratoxinas, tricotecenos, fumonisinas y alcaloides del ergot, entre otras (Roy *et al.*, 2004).

La presencia de micotoxinas no se restringe a una zona específica y las mismas están muy difundidas en casi todos los países. Estimaciones realizadas por

la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación reportaron que por lo menos 25% de las reservas de granos está contaminado con micotoxinas; evaluaciones posteriores revelaron que en algunas regiones la contaminación de los granos alcanzaba entre 80 y 100 por ciento (Van Egmond, 1999a).

La contaminación más frecuente por aflatoxinas ocurre por importación de granos y subproductos de semillas (cacahuete, semillas de algodón, semillas de palma, soja y fibra de arroz) y por contaminación directa de los ensilados de maíz. El cultivo de maíz para ensilaje ha adquirido gran importancia en los últimos años, como parte de la base forrajera en muchos predios productores de leche. Este incremento se debe a la necesidad de cortar un forraje de alta concentración energética, que se complemente adecuadamente con un ensilaje de pradera en época invernal y de pradera de pastoreo en primavera-verano. La utilización del ensilaje de maíz permite aprovechar al máximo el número de unidades alimenticias que una hectárea puede dar, al cosechar el maíz en el momento de su máximo valor alimenticio como forraje. En la actualidad, es posible hacer una ración equilibrada a base de maíz como único forraje, complementándolo con otros alimentos concentrados y minerales en el momento de ensilar. El ensilaje puede ser un proceso de riesgo para la formación de aflatoxinas, ya que en condiciones desfavorables, previa utilización de ácido fórmico como antifúngico del grano, se han observado concentraciones de aflatoxina B1 en el ensilado resultante: > 400 µg/kg (Rojas y Wilches, 2009; Torres y Díaz, 2011).

En vacas lecheras el consumo de pienso contaminado con aflatoxina B1 no sólo reduce el rendimiento en la producción lechera y afecta la salud del animal, sino que también conduce al riesgo de contaminación de la leche con aflatoxina M1. Aunque de una forma muy orientativa, se establece que los residuos de aflatoxina M1 que pueden aparecer en la leche representan de 1 a 2% (1.7% de media) del nivel de aflatoxina B1 en la dieta (Escobar y Sánchez, 2002; Sánchez, 1996).

Debido a los riesgos de contaminación de la leche con residuos de aflatoxina M1, parece ser que se pueden tolerar como máximo niveles de 25 partes por billón (ppb) en raciones para vacas lecheras. Aunque las reglamentaciones de la Comunidad Europea (CE) son más exigentes en animales de producción lechera, los cuales toleran como máximo 5 ppb. Estas reglamentaciones establecen, en alimentos completos y en alimentos complementarios (con 12% de humedad) para bovinos, ovinos y caprinos (excepto los destinados a ganado lechero), un máximo de 50 ppb, y en terneros y ovinos, un máximo de 10 ppb de aflatoxina B1. Desafortunadamente, al margen de estas normas, parece ser que el vacuno de reposición puede tolerar entre 50 y 100 ppb de aflatoxina B1 en el alimento (Escobar y Sánchez, 2002).

A pesar de que es difícil establecer un nivel máximo tolerable para esta micotoxina en vacas lecheras, los datos y las observaciones a nivel de campo de los que se dispone permiten sugerir que la concentración de zearalenona máxima tolerable no debe exceder 250 ppb en la ración final (Haudn, 1999).

Respecto a la vomitoxina, su presencia en concentraciones superiores a 300 ppb en la ración puede provocar una reducción del consumo de pienso, una baja en la producción lechera, un aumento significativo en el recuento de células somáticas y una significativa reducción de la eficiencia reproductiva. Al parecer, la baja en la producción lechera por causa de esta micotoxina es del orden de 12.5 litros/vaca/día, cuando los niveles de contaminación son de 500 ppb o más en la ración (Prudent, 2002).

En vacas lecheras, la presencia de toxina T-2 puede estar relacionada con el rechazo del alimento, pérdidas productivas, gastroenteritis, hemorragias intestinales y muerte. La toxina T-2 está asociada con una marcada reducción de la respuesta inmunitaria en terneros. Los niveles de tolerancia para esta micotoxina en vacuno de leche no están bien establecidos; sin embargo, como una recomendación práctica, el máximo tolerable no debe exceder 100 ppb en la dieta total. En cuanto a la fumonisina B1, las concentraciones de micotoxina que pueden provocar problemas son muy elevadas, situándose en 50000 ppb. En bovinos de carne la aflatoxina B1 puede provocar una sustancial reducción del consumo de alimento, ganancia de peso vivo y tasa de crecimiento. Los terneros normalmente son más sensibles que los animales adultos. En terneros se han observado casos de prolapsos rectales, y en animales adultos, casos graves de hepatotoxicosis y, en general, problemas de inmunosupresión. Las concentraciones de aflatoxina B1 máximas tolerables son bastante exigentes y además muy bien detalladas según la fase de la vida del animal. Sin embargo y, en general las reglamentaciones de la CE son más rigurosas (Prudent, 2002).

Experimentalmente, a vacas lecheras Holstein (en la mitad del periodo de lactación) les fueron suministradas dosis correspondientes a 13 mg de AFB1/día durante siete días, que correspondería a una ración final contaminada con 433 ppb (microgramos/kg) de AFB1, considerando un consumo de 30 kg de ración final/vaca/día. Algunas vacas recibieron la AFB1 en forma pura y otras en forma impura procedente de cultivos de *Aspergillus parasiticus*, que además contenían otras aflatoxinas junto con metabolitos de éstas. El consumo de alimento y la producción de leche disminuyeron significativamente. El recuento de células somáticas no resultó afectado de una forma apreciable y las concentraciones de aflatoxina M1 halladas en la leche oscilaron entre 1.05 y 10.58 ppb (microgramos/Litro). No se encontró aflatoxina M1 en la leche después de cuatro días de suspender el suministro de la AFB1. Sin embargo, parece que los problemas fueron más graves en las vacas que recibieron aflatoxina impura *versus* pura (Prudent, 2002).

En vacas lecheras en periodo de lactación se indujo infección mamaria con *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus hyicus*, aplicándoles una dosis oral de AFB1, correspondiente a 0.3 mg/kg de peso vivo/día durante periodos de 12 a 14 días; considerando una vaca de 550 kg de peso vivo y con un consumo de 30 kg de ración final/día, que correspondería a una contaminación de AFB1 en la ración final del orden de 5500 ppb. Signos clínicos de micotoxicosis y de mastitis fueron estudiados, antes, durante y después del periodo de administración de la micotoxina. Las vacas tuvieron problemas de inapetencia, pérdida de peso y disminución de la producción de leche, con variaciones enzimáticas significativas durante una a tres semanas después de la ingesta de AFB1. No se presentaron signos de mastitis aguda; sin embargo, la tasa bacteriana en la leche aumentó durante el consumo de la micotoxina (Díaz Lombillo *et al.*, 1982). Fue encontrada aflatoxina M1 en la leche dentro de las tres a seis horas después del consumo de la AFB1 y persistió durante 72 horas posteriores a haber dado la última dosis. Las aflatoxinas B1 y M1 fueron encontradas en la orina y la leche seis horas después del consumo de AFB1 y persistieron durante 72 a 120 horas posteriores a haber dado la última dosis (Diener, 1987; Robledo *et al.*, 2001).

Concentraciones de AFB1 en la ración final, del orden de 2 a 2.4 ppm suministradas a vacas de dos años de edad durante siete meses provocaron graves problemas de hepatotoxicosis y reducción significativa de la producción lechera (Díaz Lombillo *et al.*, 1982).

En vacas lecheras, contaminaciones con zearalenona en la ración final superiores a 0.250 ppm pueden provocar problemas estrogénicos, abortos, disminución del consumo de alimento y de la producción lechera, vaginitis, secreciones vaginales, deficiencias en la reproducción y aumento del tamaño de las glándulas mamarias en novillas. Con una ingesta de 1 mg de ZEN/kg peso vivo por día, durante 12 días, lo que equivale a la ingestión de un alimento contaminado con 7 ppm de la micotoxina, el tamaño del útero aumentó hasta 50%. Esta micotoxina altera la fertilidad y la viabilidad embrionaria, a pesar de que la aceptación es buena (efecto estrogénico), ya que la tasa de folículos preovulatorios aumenta (Stoloff, 1999).

En vacas Jersey, en el periodo medio de lactación, que ingirieron durante 14 días una ración final contaminada con 75 ppm de fumonisinas (FB1 + FB2 + FB3), de forma que se les proporcionó una ingesta de 3 mg de fumonisinas/kg de peso vivo/día, se observó ligera diarrea al inicio del consumo del alimento contaminado y aumento del colesterol en suero; sin embargo, no se observaron más anomalías en los animales (Prudent, 2002).

A pesar de que hay autores que aseguran que concentraciones elevadas de deoxinivalenol (DON) en el alimento, del orden de 6 a 12 ppm suministradas durante 10 semanas, provocaron una disminución significativa de la producción

lechera y del contenido de grasa en la leche. Otros autores refieren que, según datos estadísticos resultantes de observaciones de campo, la presencia de DON en concentraciones superiores a 0.3 ppm en la ración puede provocar una reducción del consumo de alimento, disminución de la producción lechera, aumento significativo en el recuento de células somáticas y también una significativa reducción de la eficiencia reproductiva. Parece que la baja en la producción lechera por causa de esta micotoxina puede ser del orden de 12.5 litros/vaca/día cuando los niveles de contaminación resultan ser de 0.5 ppm o más en la ración (Schuler, 1983).

En infecciones experimentales se han observado efectos depresores de la reproducción (reabsorción, aborto, nacimiento de crías débiles) con ingestas de 1.8 y 2.0 mg de micotoxina por kilogramo de peso vivo al día, correspondientes a contaminaciones en el alimento de entre 120 y 240 ppm (improbables de encontrar en la práctica). Para estas dosis de micotoxina el consumo del alimento se redujo a 75-50 g/día, a diferencia de 135 g en los animales testigos. Dosis de 1 a 1.6 mg de DON/kg p.v. por día, correspondientes a contaminaciones en alimento de 30 y 60 ppm, respectivamente, causaron disminución en el peso del feto, y dosis de 0.3 a 0.6 mg/kg p.v. por día, que corresponderían a contaminaciones de 7.5 y 15 ppm, respectivamente, no provocaron efectos adversos en el feto. Otros autores refieren que concentraciones de DON en el alimento del orden de 120 ppm provocaron problemas embrionarios; en contraste, en periodo continuo de tres a seis meses con concentraciones de 10 ppm no provocaron problemas visibles (Schuler, 1983).

Una ración final contaminada de una forma natural con 1.2 ppm de toxina T-2 provocó muertes en vacas lecheras que consumieron alimento contaminado durante varios meses; sin embargo, los autores afirman que es probable que los niveles de contaminación hayan sido más elevados. Otros autores sostienen que en vacas lecheras la presencia de toxina T-2 puede estar relacionada con el rechazo del alimento, baja de la producción lechera, gastroenteritis, hemorragias intestinales y muerte. La toxina T-2 está asociada con una marcada reducción de la respuesta inmunitaria en terneros. Datos estadísticos de observaciones de campo aconsejan que el máximo de contaminación tolerable con toxina T-2 no debe exceder 0.1 ppm en la dieta total (Díaz Lombillo *et al.*, 1982).

### Datos de contaminación por micotoxinas en la leche

De acuerdo con Martins y Martins (2000), en Portugal, durante 1999, fueron analizadas 101 muestras de leche líquida, de las cuales 31 eran de leche cruda y 70 de leche comercial (18 muestras de leche entera, 22 de semidescremada y 30 de leche descremada). La incidencia de contaminación con AFM1 fue de 80.6%

para leche cruda con rangos < 0.005 ppb (19.4%), 0.005-0.010 ppb (54.8%), 0.011-0.020 ppb (6.5%) y 0.021-0.05 ppb (19.3%). Para leche procesada, 14.28% de las muestras presentó contaminaciones inferiores a 0.005 ppb. Rangos de contaminación comprendidos entre 0.005 y 0.010 ppb fueron encontrados en 12.85% de las muestras. El 35.7% tenía niveles de contaminación entre 0.011 y 0.020 ppb. El 34.28% presentaba contaminaciones entre 0.021 y 0.050 ppb, y sólo 2.85% tenía contaminaciones correspondientes a 0.059 y 0.061 ppb. El reparto porcentual de contaminación fue de 94.4% para leche entera, 90.9% para leche semidescremada y 76.7% para leche descremada.

Estudios realizados en el año 2000 señalan los resultados del análisis de 108 muestras formadas por leche pasteurizada para los niños, leche en polvo y yogurt, recogidas de Seúl y Corea. Las incidencias de contaminación con aflatoxina M1 fueron de 76, 75 y 83%, respectivamente, con una concentración media de 0.018, 0.046, 0.0200 y 0.029 ppb (Kim *et al.*, 2000).

En el estudio realizado por Montañó *et al.* (2007), al valorar la contaminación por aflatoxina M1 en 20 muestras de leche de diferentes regiones de Bolivia, tanto en época húmeda (abril-mayo) como en época seca (agosto-septiembre), cinco fueron positivas con niveles de concentración por encima del límite permisible: 0.05 ppb; de las muestras colectadas durante la época húmeda los valores detectados fueron de 0.18, 0.12, 0.089 y 0.077 ppb, mientras que en época seca en una muestra se obtuvo 0.05 ppb; valores atribuibles al pH y a la humedad relativa de los alimentos empleados para el ganado.

## Acciones

Con la finalidad de minimizar el impacto de la micotoxinas en la agricultura y disminuir los niveles de exposición en los animales y en el ser humano se han establecidos diferentes estrategias que abordan el problema de manera integral:

1. Disminuir los niveles de contaminación por micotoxinas en el campo y durante el almacenamiento de los alimentos.
2. Establecer métodos de análisis confiables para cada micotoxina, así como identificar biomarcadores que permitan evaluar los niveles de exposición en la población.
3. Establecer alternativas de destoxificación de micotoxinas en los alimentos o instrumentar el empleo de absorbentes en la dieta capaces de quemar las micotoxinas antes de ser adsorbidas (Borrell y Gimeno, 2002).

Para cada una de las estrategias mencionadas anteriormente deben aplicarse diferentes acciones que impliquen desde la selección de la semilla hasta la aplicación de buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de fabricación, conjuntamente con la obtención de nuevas variedades por ingeniería genética capaces de resistir las infecciones de diferentes hongos o la degradación de las toxinas producidas por éstos. Un ejemplo de lo anterior se relaciona con los ensayos realizados con maíz transgénico que presenta genes que codifican enzimas para degradar la fumonisina (Borrell y Gimeno, 2002).

En el campo de la detoxificación, actualmente se emplean procedimientos microbiológicos, físicos y químicos e irradiación, donde el efecto de la detoxificación puede variar dependiendo del tipo de toxina y el alimento. Cuba ha abordado este tema a partir del empleo de aluminosilicatos adicionados a la dieta (Escobar *et al.*, 1995; Escobar y Sánchez, 2002).

A pesar de las diferentes soluciones con que se cuenta para abordar el tema de las micotoxinas, aún no se resuelven todos los problemas que son una amenaza para la agricultura moderna, y se requiere mantener una vigilancia constante para evitar su impacto negativo en este sector. La evaluación de diferentes aflatoxinas en relación con el nivel de contaminación de alimentos preparados y no preparados, fórmulas lácteas y materias primas, debe realizarse de manera inmediata por expertos; así como la instauración de la regulación para estas sustancias, de tal forma que se minimicen los riesgos tanto en salud pública como en salud animal (Vargas *et al.*, 2001; Shephard *et al.*, 1996).

## Conclusiones

Las condiciones climáticas tienen un impacto importante en la prevalencia de las micotoxinas en diferentes productos y subproductos agropecuarios, e incluso sobre los cultivos utilizados como alimento o los piensos que se emplean para la alimentación animal. En la producción pecuaria, por la cinética de los metabolitos de las aflatoxinas, hay una alta probabilidad de que se encuentren residuos de AFM1 y AFM2 tanto en el ganado lechero como en la propia leche, lo cual representa un grave problema para la salud pública. Métodos como la pasteurización y la ultrapasteurización no eliminan las micotoxinas, por lo que se requiere hacer más estudios acerca de la condición actual de estos contaminantes en la leche dado el posible incremento de patologías en el ser humano.

Se deben revalorar las acciones (producción, manejo y comercialización) agropecuarias para minimizar el deterioro y la contaminación de las materias primas, así como de productos y subproductos de origen animal que impliquen un riesgo de intoxicación y patologías asociadas a micotoxicosis, tanto en la salud del hombre como en la de los animales.

## Bibliografía

- AEMA (Agencia Española de Medio Ambiente) (2008), *El medio ambiente en Europa, estado y perspectivas*, España, pp. 124-146.
- Boeckman, S., y K. R. Carlson (2003), *Protocolo para la prevención de residuos en leche y carne. Manual para el productor de las mejores prácticas de manejo*, Milk & Dairy Beef, Assurance Program, University of Connecticut, 84: 100-106.
- Borrell, J., y G. Gimeno (2002), “Micotoxinas en los alimentos: medidas de prevención y destoxificación”, en <http://www.avicultura.com/docsav/SA2002Ago567-572.pdf>. (17 abril de 2017).
- Brown, O. (2008), *Migración y cambio climático. Serie de estudios de la OIM sobre la migración*, Ginebra, pp. 67-85.
- Cabañes, J. F. (2000), “Emerging Micotoxins. Introduction”, *Revista Iberoamericana de Micología*, 17 (2): 561-575.
- Dian-Sheng W. (1995), “Natural Co-occurrence of *Fusarium* Toxins and Aflatoxin B1 in Corn for Feed in North Vietnam”, *Natural Toxins*, 7: 21-23.
- Díaz Lombillo, R., A. Delgado, B. Pérez y D. Menéndez (1982), “Presencia de micotoxicosis en bovinos alimentados con dietas suplementarias proteicas”, *Rev. Salud Anim.*, 4: 67-81.
- Diener, U. L. (1987), “Epidemiology of Aflatoxin Formation by *Aspergillus flavus*”, *Ann. Rev. Phytopathol.*, 25: 249-270.
- Edds, G. T. (1999), “Acute Aflatoxicosis”, *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 162: 304-309.
- Egmond, H. P. van (1999a), “Situación actual de la reglamentación de las micotoxinas. Informe sobre las tolerancias y el estado de los métodos estándar de muestreo y análisis”, *Aditivos y Contaminantes Alimenticios*, 6: 139-188.
- (1999b), “Reglamentación mundial de la micotoxinas”, Tercera Conferencia Internacional FAO/OMS/PMA sobre Micotoxinas, Túnez.
- Escobar, A., M. M. Agüero, E. Mendoza y M. Ramos (1995), “Primer reporte en Cuba de una intoxicación por tricotecenos en ocas”, *Rev. Salud Anim.*, 17: 311-315.
- Escobar, A., y O. Sánchez (2002), “Determination of Aflatoxin B1 in Food and Feedstuffs in Cuba (1990-1996) Using an Immunenzimatic Reagent Kit (AFLACEN)”, *J. Food Protection*, 65 (1): 219-221.
- Haudn, C. J. (1999), “Handling Moved and Micotoxin in Tropical Condition”, *Feed Tech*, vol. 5, núm. 5, pp. 23-26.
- Kim, E. K., D. H. Shon, D. Ryu, J. W. Park, H. J. Hwang, y Y. B. Kim (2000), “Occurrence of Aflatoxin M1 in Korean Dairy Products Determined by ELISA and HPLC”, *Food Additives & Contaminants*, 17: 59-64.
- Knass, P. S., P. A. Klein y R. S. Marucci (2003), “Mycotoxin Presence in Grains and Pig Feeds”, *Revista de Ciencia y Tecnología*, 5 (5): 6-11.

- Marshal, R. R. (2013), "Control de calidad de la leche", Unión Regional Ganadera de Jalisco.
- Martins, M. L., y H. M. Martins (2000), "Aflatoxin M1 in Raw and Ultra-high Temperature-treated Milk Commercialized", *Food Additives and Contaminants*, 17: 871-874.
- Montaño, P. V., M. Chirinno y R. Gemio (2007), "Estudio toxicológico de presencia de aflatoxina M1 en leche bovina recolectada del municipio de Achacachi", *Rev. Biol. Quim.*, 24: 90-94.
- Prudent, A. (2002), "Problemas con micotoxinas en ganado lechero", *Software Agrícola*, en [http://www.e-cooprinsem.cl/softagri/Cooprinforma64/Articulo\\_2\\_3.htm](http://www.e-cooprinsem.cl/softagri/Cooprinforma64/Articulo_2_3.htm) (20 de abril de 2017).
- Robledo, M. de L., S. Marín y A. J. Ramos (2001), "Natural Contamination with Micotoxins in Forage Maize and Green Coffee in Nayarit State", *Revista Iberoamericana de Micología*, 18 (3): 141-144.
- Rojas, O., y A. Wilches (2009), "Determinación de aflatoxinas en alimentos de mayor consumo infantil comercializados en la ciudad de Pamplona, norte de Santander", *Bistua. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 7 (1): 4-5.
- Rojas, J. L. (2009), "Resultados Plan Nacional de Residuos", Servicio Nacional de Salud Animal, Costa Rica.
- Roy, T. J., L. Prieto, A. Oropesa, M. Pérez y F. Soler (2004), "Mycotoxin and Reproduction in Domestic Animals", *Albeitar*, 77: 38-40.
- Sánchez, R. O. (1996), *Micotoxinas y micotoxicosis en Cuba. Perspectiva latinoamericana*, pp. 132-140.
- Schuler, P. L. (1983), "Límites y reglamentaciones de las micotoxinas", en *Proceedings International Symposium on Mycotoxins*, El Cairo, Egipto, pp. 111-129.
- Shephard, G. S., P. G. Thiel, S. Stockenstrom y E. W. Sydenham (1996), "World-wide Survey of Fumonisin Contamination of Corn and Corn-based Products", *Int.* 79: 671-687.
- Stoloff, L. (1999), "Variaciones para el establecimiento de límites y reglamentaciones de las micotoxinas", *Aditivos y Contaminantes Alimenticios*, 8: 213-222.
- Torres, F. S., y L. H. Díaz (2011), "Micotoxinas en la alimentación animal", en <http://comunidad.uach.mx/fsalvado/MICOTOXINAS.htm> (8 de abril de 2017).
- Valladares, C. B., O. V. Velázquez, F. M. U. Alonso, S. C. Ortega, E. J. L. Zamora, R. E. Fuentes y B. S. D. Peña (2015), "Antibióticos como contaminantes de la leche", en O. V. Velázquez, V. H. Castañeda, W. Wolter, J. Svarc Gajic, C. C. Bedolla y L. J. E. Guerra, (eds.), *Producción y calidad de la leche*, Universidad Autónoma de Sinaloa/Juan Pablos Editor, México, pp. 413-427.

- Valle, V. P. (1991), *Toxicología de los alimentos*, Novi-Mundi, Metepec, Estado de México.
- Vargas, E. A., R. A. Preis, L. Castro y C. M. Silva (2001), “Co-occurrence of Aflatoxins B1, B2, G1, G2, Zearalenone and Fumonisin B1 in Brazilian Corn”, *Food Addit. Contam.*, 8: 981-986.

# Uso de jabones de calcio como alternativa de suplementación en rumiantes en épocas se sequía en zonas áridas y semiáridas

ANABEL ROMERO DÁVILA,<sup>1</sup>  
CAMELIA ALEJANDRA HERRERA CORREDOR,<sup>1</sup>  
JORGE ANTONIO CALDERÓN ARANDA,<sup>2</sup>  
GERMÁN BUENDÍA RODRÍGUEZ,<sup>3</sup>  
NAZARIO PESCADOR SALAS<sup>2</sup>  
MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO<sup>2</sup>

## Resumen

La suplementación energética durante épocas de sequía en zonas áridas es esencial para ayudar a la producción de caprinos. La saponificación de aceites con contenido de ácidos grasos esenciales es una alternativa para evitar la hidrogenación de los lípidos a nivel ruminal. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la saponificación de aceites de alto contenido de ácidos grasos esenciales para la alimentación de rumiantes. Se utilizaron aceites de canola, cártamo, soya, maíz, ajonjolí y girasol, los cuales fueron saponificados con hidróxido de sodio y calcio a 60, 120 y 180° C. El análisis estadístico para la textura (Nw) y la temperatura se realizó mediante un diseño completamente al azar, con arreglo factorial  $6 \times 3$ , y para el pH (a los 0 y 7 días) con arreglo factorial  $6 \times 2$ ; el contenido de energía bruta (EB, kcal/kg) de aceites y jabones se realizó mediante un diseño completamente al azar. La concentración energética fue superior para el aceite de cártamo ( $P < 0.001$ ), como jabón cártamo y canola son energéticamente superiores ( $P < 0.001$ ) con respecto al resto. La textura fue superior para ajonjolí y girasol ( $P < 0.001$ ). No se observaron diferencias en la temperatura utilizada para elaborar los jabones ( $P > 0.05$ ). El pH fue superior al día cero ( $P < 0.05$ ) con respecto al día 7. La concentración energética de los aceites y jabones varió en función de la fuente de origen fueron superiores el de cártamo y el de canola.

*Palabras clave:* jabones de calcio, aceites, grasas protegidas.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Km. 14.5 carretera San Luis Potosí-Matehuala. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México, A. P. 32, C. P. 78321. Correo electrónico: anabel.romero@uaslp.mx.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto Literario, 100 Ote., Toluca, Estado de México, C. P. 50000. Correo electrónico: mrg@uaemex.mx.

<sup>3</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria, Km. 1 carretera a Colón. Ajuchitlán, Colón, Querétaro, México, C. P. 76280.

## Introducción

La caprinocultura semiestabulada en zonas áridas y semiáridas se caracteriza por la escasa infraestructura y las prácticas poco eficientes de manejo integral, que depende en esencia del aporte de nutrientes por parte del forraje, principalmente de pastos nativos, tales como gramíneas, asteráceas, fabáceas, leguminosas y cactáceas (Freitas de Melo *et al.*, 2015). En estas condiciones, las cabras pueden experimentar estados de alimentación deficientes en los periodos de estiaje de invierno y primavera, debido a la disponibilidad del forraje durante los periodos de lluvia o sequía, donde coexisten épocas de escasez de alimento con otras en que la producción de forrajes es adecuada; esto resulta en deficiencias marcadas en la cantidad y la calidad del forraje disponible (Gargouri *et al.*, 2006), lo que da como resultado pérdida de peso, pobre desempeño reproductivo y baja producción en general.

En los agostaderos del altiplano se desarrolla la ganadería bajo las condiciones anteriormente mencionadas, sin control de la carga animal. Esos agostaderos constituyen el principal uso de suelo para estas regiones. El aprovechamiento de agostadero ha originado la sobreutilización de los recursos debida al sobrepastoreo, causando erosión, pérdida de germoplasma forrajero, incremento de especies indeseables, drástica deficiencia del forraje y baja productividad ganadera (Escareño, 2010). La presión ejercida debida a esta actividad ha generado la degradación del suelo, rebasando de dos a seis veces la capacidad de carga recomendada para los pastizales del norte del país. El deterioro de estos recursos varía de acuerdo con la diversidad de los ecosistemas, las temporadas de sequía así como factores económicos y programas políticos. Las variaciones en fertilidad de los suelos, lluvias y otras condiciones climáticas determinan la calidad y la cantidad de la biomasa vegetal y, consecuentemente, la producción y la productividad animal.

La suplementación estratégica energética en ciertas etapas fisiológicas demandantes para las cabras adultas, tales como el último tercio de gestación y la lactancia, es esencial para mejorar los parámetros productivos de los animales, las cuales coinciden con la época de sequía (invierno-primavera). La suplementación con grasas protegidas es una estrategia que contribuye a disminuir las limitaciones de estos sistemas, además de influir en la composición de la grasa de la leche (Angulo *et al.*, 2005).

El establecimiento de programas de suplementación energética para resolver carencias durante las épocas críticas que contribuyan a mejorar la producción en estas regiones, cuando la disponibilidad de nutrientes del pastizal es escasa y los animales sufren periodos de subnutrición, disminuyendo su capacidad productiva, es necesario para el mantenimiento de la eficiencia del rebaño. Entre estas tecnologías se encuentra la suplementación con jabones de calcio elabora-

dos a base de aceites, que son una fuente de ácidos grasos esenciales protegidos para rumiantes.

### Suplementación con grasas protegidas

La suplementación con grasa en la dieta de rumiantes frecuentemente es utilizada para mejorar el aporte energético, por lo que se han utilizado grasas y aceites (Mattos *et al.*, 2000; Sánchez, 2001). Estudios recientes mencionan que el uso de jabones de calcio derivados de aceites ricos en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (MUFA/PUFA) para la alimentación de los rumiantes (Bhatt *et al.*, 2016; Chicunya *et al.*, 2004), tienen efectos sobre los parámetros reproductivos (Duque *et al.*, 2013), además de influir en la producción y la composición de la leche (Chilliard *et al.*, 2007) y sus productos como ácidos grasos monoinsaturados, polinsaturados, ácidos linoleicos conjugados (CLA) y vaccénicos (VAC) (Bouattour *et al.*, 2008; Mele *et al.*, 2008), los cuales son considerados benéficos para la salud humana, fundamentalmente en la prevención de arterioesclerosis, cáncer y problemas de hipertensión (Jandal *et al.*, 1996; Tricon *et al.*, 2005).

De 70 a 90% de los ácidos grasos polinsaturados (PUFA) son saturados principalmente a ácidos esteáricos o isómeros trans de ácidos grasos monoinsaturados (Palmquist and Jenkins, 1980). Como resultado, la grasa que abandona el rumen es mayoritariamente saturada, por lo que los productos de los rumiantes tienden a ser más saturados que los de los monogástricos (Jenkins *et al.*, 2008). Una opción para aumentar la proporción de PUFA y el valor de energía en la dieta de los rumiantes es proteger los lípidos de la biohidrogenación bacteriana.

Existen ácidos grasos esenciales como el linoleico y el linolénico (omega 6 y omega 3, respectivamente) que no pueden ser sintetizados por los tejidos animales, por lo cual deben ser incorporados en la dieta (Palmquist, 1996; Jenkins, 1984), pues son requeridos para diversos procesos metabólicos de tejidos y órganos, además de relacionarse con la función reproductiva (Gulliver *et al.*, 2012) y con la respuesta hormonal e inmunológica (Staples *et al.*, 1998).

La utilización de diversas semillas de oleaginosas en las dietas de los animales se ha basado en aceites de girasol, maíz, soya, canola y, recientemente, de cártamo; este último es el que tiene una mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados, como se muestra en el cuadro 1.

Salvador *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la alimentación con grasa sobre pasante en la producción y composición de leche de cabras mestizas. Reportaron mayor duración de la lactancia (+ 44 d), mayor producción de leche (29.4%) y mayor contenido de grasa (41%) y proteína (31.2%), sin alterar las características de la leche de las cabras suplementadas. De estos PUFA que son incorporados a la leche, cerca de 40 a 45% provienen de la dieta (Palmquist, 1996). Por lo

CUADRO 1. *Contenido de ácidos grasos linoleico y linolénico en g/100g de aceite*

<i>Tipo de aceite</i>	<i>Ácido linoleico (18:2)</i>	<i>Ácido linolénico (18:3)</i>
Aceite de canola	19.2	7.9
Aceite de cártamo	74.1	—
Aceite de girasol	65.7	—
Aceite de maíz	58.0	0.7
Aceite de ajonjolí	23.2	2.0
Aceite de soya	51.0	6.8

Adaptado de Archile *et al.* (1997).

que el perfil lipídico de la leche puede ser manipulado al suplementarlo con diferentes fuentes de ácidos grasos (Toral *et al.*, 2010). Abughazaleh *et al.* (2002) encontraron que la suplementación con PUFA provenientes de fuentes de aceite de pescado y de oleaginosas como la soya tienen un efecto potencial en el aumento de las concentraciones del ácido linolénico conjugado (CLA) en el perfil de ácidos grasos. Bouattour (2008) y Mele *et al.* (2008) reportaron que la alimentación con aceite de soya en cabras lecheras aumenta el porcentaje de grasa en leche y el contenido de ácido linolénico en la misma.

Díaz *et al.* (2004) afirman que la alimentación tiene una influencia directa en la producción de la leche y en su composición; la alimentación debe ser suficiente en cantidad como en calidad para así poder tener una buena producción y dicha alimentación debe estar basada en forrajes frescos y alimentos ricos en celulosa. Una alimentación rica en energía tiene como resultado una elevada producción de leche pero con bajo contenido de grasa, por lo que se debe proporcionar una ración bien balanceada para tener estas dos cualidades juntas (Mele *et al.*, 2008).

En la especie caprina se han realizado estudios que han demostrado que existen situaciones en que la alimentación de los animales en la etapa de gestación no alcanza los niveles requeridos, llevando a la cabra a compensar sus deficiencias movilizándolo de sus reservas los nutrientes que necesita, lo cual se produce debido a que coincide el estado de preñez avanzada con el periodo de baja disponibilidad de forraje en las praderas (Trezeguet, 2007).

Daza *et al.* (2004) demostraron que las cabras prefieren fracciones ricas en proteína en vez de fracciones ricas en fibra. Así, por ejemplo, en un ensilado buscan los granos, y en las alfalfas prefieren las hojas, rechazando los tallos.

Debido a que durante los últimos 60 días de gestación se encuentra disminuida la capacidad ruminal como consecuencia de un mayor aumento del tamaño del útero, disminuye también el consumo de forraje, exponiendo a la ca-

bra a un balance energético negativo, que tardaría en compensar movilizándolo sus depósitos grasos. De esta manera, el productor trata de compensar este desbalance, agregando granos a la dieta, lo que puede provocar un descenso del pH ruminal, llevando a la cabra a una acidosis, si la dieta no es controlada y balanceada (Trezaguet, 2007).

Marounek (2012) afirma que los principales componentes del calostro y leche son los ácidos palmítico y oleico, seguidos por los ácidos esteárico y mirístico: 30.1, 25.3, 11.8 y 11.4%, y 23.6, 30.3, 13.6, 8.6%, en el calostro y la leche de 30 días después del parto, respectivamente. Por lo cual el cabrito recién nacido depende de la ingesta de calostro y de inmunoglobulinas (IgG) para obtener inmunidad pasiva y evitar problemas de mortalidad debido a enfermedades neonatales (Castro *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2015).

La muerte de un cabrito implica la pérdida de un animal de venta, como cabrito destetado o engordado, así como el dinero invertido en la compra de semental y en la alimentación de la cabra durante el periodo de gestación; si se trata de animales de pie de cría la pérdida es mayor (Salinas González *et al.*, 2016). La muerte perinatal de los cabritos puede ser entre 15 a 30% y de este porcentaje 90 a 95% ocurre durante las primeras 72 horas de vida. Las causas más frecuentes en los sistemas de producción extensivos son: abandono de la madre y hembras mal alimentadas al final de la gestación (Cruz, 2015).

La mala alimentación durante la gestación afecta el peso de la cría al nacer e influye en el comportamiento materno durante el parto (Dwyer, 2008). En los ovinos se ha observado que cuando las crías son muy grandes o livianas y débiles, son más propensas a formar vínculos débiles madre-cría, lo cual repercute en la menor posibilidad de supervivencia, en comparación con los corderos más activos y con peso intermedio (Banchero *et al.*, 2000). Durante el último tercio de gestación de la cabra, el feto duplica su peso y casi triplica su tamaño (Fernández Abella, 1993). El peso total que tendrá el cabrito al nacimiento está determinado por la nutrición que recibe la madre durante ese periodo.

## Elaboración de jabones de calcio

Palmquist *et al.* (1980) realizaron la saponificación con sales de calcio de los ácidos grasos, los cuales se encuentran unidos entre sí mediante enlace químico para formar una sal. Este producto es una grasa inerte a nivel ruminal y resiste el ataque microbiano. La mayoría de las sales cálcicas son fabricadas a partir de los destilados de palma; son una fuente de grasa protegida en la elaboración de raciones para rumiantes (Gómez Cortés *et al.*, 2014).

El manejo y el almacenamiento de aceites como los PUFA no son fáciles, ya que son susceptibles a la degradación y a la oxidación. El calcio se ha utilizado

para evitar la hidrogenación y no es tóxico para la flora del rumen, por lo que no afecta la digestión (Duque *et al.*, 2013), además de ser un protector de aceite, ya que evita que las grasas se oxiden y se degraden; por lo tanto, son estables a temperatura ambiente, prolongan la vida de anaquel, no requieren equipo especial de almacenamiento, y el proceso de saponificación permite la molienda o la granulación, la optimización de la manipulación en la dieta de los rumiantes, además de ser capaz de disociarse fácilmente en pH ácido.

Los jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite de palma son una fuente de grasa protegida en la fabricación de raciones para rumiantes (Lactomil y Megalac) (véase el cuadro 2). Considerado como el representante de una “nueva generación de grasas protegidas”, este producto en realidad es una grasa “inerte” a nivel de rumen, donde no afecta la fermentación; es digerido en abomaso (medio ácido), para que posteriormente estos ácidos grasos y el calcio pasen en forma libre al duodeno, donde se realiza su digestión y su absorción. El coeficiente de digestibilidad de los ácidos grasos de los jabones cálcicos de aceite de palma es de 93-96%. A diferencia de las grasas y los aceites, los jabones cálcicos no interfieren en el metabolismo del rumen (Palmquist, 1996).

Se ha propuesto la protección de grasas y aceites ya que su adición de manera directa a la alimentación no es eficaz debido a la degradación ruminal. La protección con iones de calcio ha demostrado ser una protección eficiente y, a su vez, permite modificar el perfil de ácidos grasos en la leche (Mateos *et al.*, 1996).

CUADRO 2. Composición química (g/100 g) y perfil de ácidos grasos (%) de Lactomil y Megalac

	Lactomil	Megalac
Grasa de aceite de palma	83.5	84.0
Calcio	8.0 a 9.6	9.0
Humedad	5.0	5.0
Energía metabolizable (Mcal/kg MS)		7.98
Energía neta lactancia (Mcal/kg MS)	5.25	
Ácido mirístico	1.0	
Acido palmítico	47.0	48.0
Acido esteárico	4.6	5.0
Ácido oleico	38.0	36.0
Ácido linoléico	9.4	9.0

Lactomil (2017); Megalac (2017).

El objetivo del presente estudio es caracterizar la protección mediante saponificación de aceites de alto contenido de ácidos grasos esenciales elaborados a tres temperaturas (60, 90 y 180° C).

## Material y métodos

El proceso de saponificación de los aceites se realizó por el método de doble descomposición (Jenkins y Palmquist, 1984). Se utilizaron aceites con alto contenido de ácidos grasos esenciales (AGE, esto es, cártamo, canola, girasol, ajonjolí, soya y maíz). Las temperaturas a las que se sometieron para la elaboración de los jabones fueron: 60, 120 y 180° C. Por cada 100 ml de aceite se adicionaron 25 g de cloruro de calcio, 5 g de carbonato de calcio, 30 ml de alcohol, agua destilada y 140 ml de hidróxido de sodio al 30%. Una vez desarrollados los jabones de calcio, se procedió a determinar el pH con un potenciómetro (Conductronic pH130) al final del proceso (considerado como día cero) y siete días después.

Se evaluó el contenido de energía de los aceites y los jabones (1.0 g) procesados a 120° C, por triplicado, por el método de la bomba calorimétrica (modelo Parr 6400 Calorímetro) a 30 kg f/cm<sup>2</sup> de presión.

La textura de los jabones de calcio se evaluó con un texturómetro (modelo TA-X T2 Stable Micro Systems) para registrar la fuerza de corte en newtons (Nw), y el punto máximo de corte se determinó a través de una sonda de punta plana. Los datos fueron capturados por el programa Expend Exceed textura Stable Micro Systems Versión 2.63. Se emplearon jabones procesados a diferentes temperaturas, utilizando los siguientes parámetros de calibración del texturómetro: distancia de corte: 20 mm; velocidad de ensayo previo: 2 mm/s; velocidad de la prueba: 1 mm/s; célula de carga: 25 kg. Se utilizó un diseño completamente al azar para evaluar el contenido de energía de los aceites y los jabones. El diseño experimental para la evaluación de los jabones en términos de textura y las diferentes temperaturas se realizó completamente al azar con arreglo factorial 6 × 3, y para el pH con arreglo factorial 6 × 2. Para analizar las diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) se realizó la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997).

## Resultados y discusión

A nivel comercial existen productos de aceite de palma que proporcionan pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados con un contenido energético de 6500 kcal/kg (Sánchez, 2001). El presente estudio caracterizó una serie de jabones de diferentes fuentes de aceites. El cuadro 3 muestra la concentración de energía (kcal/kg) de los aceites utilizados en este estudio, siendo superior el acei-

CUADRO 3. Concentración de energía bruta (EB) (kcal/kg) de diferentes aceites y sus respectivos jabones elaborados a 120° C

Item	Tratamiento						EEM	P <
	Canola	Cártamo	Soya	Girasol	Ajonjolí	Maíz		
Aceite (kcal EB/kg <sup>-1</sup> )	9441 <sup>ab</sup>	9502 <sup>a</sup>	9396 <sup>ab</sup>	9434 <sup>ab</sup>	9181 <sup>c</sup>	9477 <sup>ab</sup>	20.45	0.001
Jabón (kcal EB/kg <sup>-1</sup> )	6653 <sup>a</sup>	6648 <sup>a</sup>	6253 <sup>b</sup>	5806 <sup>d</sup>	5538 <sup>e</sup>	6116 <sup>c</sup>	20.89	0.001

Nota: Letras diferentes en la misma fila P < 0.001; EEM: Error estándar de la media.

te de cártamo y sésamo (P < 0.001), sin mostrar diferencias para el resto de los aceites (P > 0.05). La concentración energética de los jabones fue menor que la de los aceites (30%) y la mayor concentración de energía en jabones (P < 0.001) fue para canola y cártamo en comparación con el resto de los jabones (P < 0.001). Alexander *et al.* (2002) evaluaron el uso de aceite de girasol y jabón en ovejas y encontraron que el primero afectó (P < 0.05) el consumo y la digestibilidad de la dieta con respecto al uso de jabones, sobre todo la degradación de la fibra neutrodetergente y, por consiguiente, la síntesis de proteína microbiana (SPM), pero con el uso de jabones de girasol éstos pueden ofrecerse hasta un 10% en la dieta sin afectar el consumo y la digestibilidad en los animales (Blanco *et al.*, 2014). En contraste, Hervas *et al.* (2008), al utilizar aceite de girasol en dietas para ovejas, no encontraron efectos negativos en el consumo de materia seca (CMS) y producción de leche con 6% de inclusión en la dieta, e incluso enriquece el perfil de los ácidos grasos (C18) en la leche, pero afecta negativamente la excreción de proteína de la leche. Enjalbert *et al.* (1997), al suplementar con jabones de palma y canola, no encontraron diferencias (P > 0.05) en el CMS y la producción de leche; sin embargo, el perfil de ácidos grasos en leche cuando se suplementa con jabones de palma incrementa la producción de C16:0, y con canola, de C18:0.

El parámetro de la calidad aplicado para evaluar los jabones de calcio es la textura, la cual está directamente relacionada con las propiedades mecánicas del jabón, que da su punto de molienda. La textura de los jabones se presenta en el cuadro 4. Es superior para los jabones a base de ajonjolí y girasol (P < 0.001) con respecto a los de cártamo y soya. La temperatura no presentó diferencias estadísticas para la elaboración de los jabones (P = 0.318) y su interacción (P = 185). No se observaron diferencias entre jabones (P > 0.05), temperaturas (P = 0.903) y su interacción (P = 0.442).

Adebajo *et al.* (2004) compararon dos métodos para la preparación de aceite de palma y muestran que hay diferencias significativas (P < 0.05) en cuanto al efecto de sus propiedades y sus cualidades, observando que la pureza del aceite influye en su preparación y textura. En el presente estudio no se observaron diferencias en cuanto a la temperatura de procesamiento entre los jabones; sin

CUADRO 4. Efecto de la fuente de aceite y temperatura de elaboración sobre textura (Nw) y temperatura final (°C) de los jabones de calcio

Ítem	Jabones cálcicos (J)						Temperatura (T)					P <	
	Canola	Cártamo	Soya	Girasol	Ajonjolí	Maíz	60	120	180	EEM	J	T	J×T
Textura (Nw)	50.5 <sup>ab</sup>	28.2 <sup>c</sup>	41.4 <sup>bc</sup>	57.1 <sup>a</sup>	63.2 <sup>a</sup>	50.0 <sup>ab</sup>	50.4	45.5	49.3	3.32	0.001	0.318	0.185
Temperatura final	68.8	65.3	69.0	69.6	66.9	68.0	68.3	67.8	67.7	1.53	0.389	0.903	0.442

Nota: Letras diferentes en la misma fila P < 0.001.

embargo, sí hay un efecto (P < 0.05), considerando que todos los aceites evaluados en este estudio son comerciales.

La textura no se vió afectada (P > 0.05) por el proceso térmico cuando se trabaja de 60 a 180 °C, lo que nos permite elaborar jabones cálcicos a partir de 60 °C; sin embargo, es importante considerar que dicha textura puede verse afectada por el pH (Kolver *et al.*, 2002), la concentración de Ca<sup>+2</sup> y el carbonato de calcio, mostrando que las diferentes fracciones de calcio varían en función del pH (Bhatt *et al.*, 2016).

En el cuadro 5 se aprecia el pH obtenido de los diferentes jabones cálcicos, el cual fue mayor (P < 0.05) para los jabones de canola, soya, y maíz (pH 10.16); en cuanto al efecto debido al tiempo, el pH fue superior al día cero (P < 0.05) con respecto al día siete.

Bjorklund y Wadborn (2005) evaluaron el efecto del pH en jabones de calcio de pino, los cuales son similares a este estudio para los jabones de canola, soya y maíz, mostrando que el pH puede disminuir si esto se asocia con bióxido de carbono; sin embargo, las mayores concentraciones en jabones de calcio se encontraron en un intervalo de pH de 9.5 a 13, con la excepción del girasol, que se saponificó a un pH menor, lo que permite formar jabones de calcio a partir de los aceites utilizados en el presente estudio.

CUADRO 5. Efecto de la fuente de aceite y del tiempo (días) después de la elaboración sobre el pH de jabones de calcio

Ítem	Jabones cálcicos (J)						Días (D)					
	Canola	Cártamo	Soya	Girasol	Ajonjolí	Maíz	0	7	EEM	J	D	J×D
pH	10.02 <sup>ab</sup>	9.76 <sup>bc</sup>	10.36 <sup>a</sup>	8.27 <sup>d</sup>	9.38 <sup>c</sup>	10.16 <sup>ab</sup>	10.46 <sup>a</sup>	8.85 <sup>b</sup>	0.108	0.0001	0.0001	0.0001

Nota: Letras diferentes en la misma fila P < 0.001.

Es esencial mantener el pH de jabones de calcio entre 6.5 y 10, ya que esto puede afectar la estructura de los ácidos grasos y su uso en la alimentación de los rumiantes. El pH normal del rumen varía de 6 a 6.3; por lo tanto, estos jabones permanecen sin disociar y son insolubles en el fluido del rumen, por lo que son grasas inertes. En abomaso, el pH se reduce a 2-2.5, por lo que se disocia, resultando en calcio y ácidos grasos libres que se digieren en el yeyuno. Los jabones de calcio permiten una mayor proporción de ácidos grasos insaturados que alcanzan el intestino delgado, por lo que la digestibilidad intestinal de grasa aumenta. La digestión ruminal de la grasa incluye la hidrólisis y la hidrogenación, que afectan a la grasa ingerida hasta 90% (Chilliard *et al.*, 2014). Estas observaciones podrían estar relacionadas con un aumento paralelo de la acidez del contenido en el rumen, Demeyer y Van Nevel (1995) encontraron que en la disminución del pH de 6.3 a 5.2 hubo una reducción lineal de la liberación de ácido linoleico a partir de aceite de soya a menos de un tercio, por lo que un pH de 6.35 se considera óptimo para garantizar la correcta digestión de los forrajes (Kolvert y de Veth, 2002; Wales *et al.*, 2004).

## Conclusiones

La temperatura para la preparación de los jabones en los rangos de 60, 120 y 180° C no se vio afectada por la fuente original del aceite, por lo que se pueden fabricar jabones a partir de 60 °C. La concentración energética de los aceites y los jabones varía en función de su fuente de origen: es superior en los aceites de canola y de cártamo. La textura de los jabones es afectada por la fuente de origen: es superior en los jabones cálcicos de girasol y ajonjolí con respecto a los jabones de soya y cártamo.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por la UAEM, 3060/2011.

## Bibliografía

- Abughazaleh, M. M., A. J. Schingoethe, R. A. Hippen, K. F. Kalscheur, L. A. Withlock (2002), "Fatty Acid Profiles of Milk and Rumen Digesta from Cows Fed Fish Oil, Extruded Soybeans or their Blend", *Journal of Dairy Science*, 2266-2276.
- Adebajo, M. O., M. S. Akanni y R. L. Frost (2004), "Effect of Palm Kernel Oil Ex-

- traction Method on the Electrical Conductance of Nigerian Traditional Soaps in Alcohols”, *Paper S1316 in JSD*, 7: 81-85.
- Alexander, G., Z. Rao y J. R. Prasad (2002), “Effect of Supplementing Sheep with Sunflower Acid Oil or its Calcium Soap on Nutrient Utilization”, *Asian Australasian J Anim Sci.*, 15 (9): 1288-1293.
- Angulo, J., L. Machecha, C. Giraldo y M. Olivera (2005), *Prostaglandinas y grasa de la leche: síntesis a partir de ácidos grasos poliinsaturados, en bovinos. Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca*, Fondo Editorial Biogénesis, Medellín, Colombia, pp. 111-135.
- Archile, G., B. Benítez, L. Rangel y P. Izquierdo (1997), “Perfil de ácidos grasos de las principales grasas y aceites disponibles para consumo en la ciudad de Maracaibo”, *Rev. Científica*, FVC-Luz, 3: 169-174.
- Banchero, G., J. Milton y D. Lindsay (2000), *Comportamiento maternal y vigor de los corderos al parto: efecto de la carga fetal y la condición corporal*, Seminario de Reproducción Ovina, INIA Treinta y Tres-INIA Tacuarembó, Uruguay, pp. 13-18.
- Bhatt, R. S., A. Sahoo, S. A. Karim y A. R. Agrawal (2016), “Effects of Calcium Soap of Rice Bran Oil Fatty Acids Supplementation Alone and with DL- $\alpha$ -Tocopherol Acetate in Lamb Diets on Performance, Digestibility, Ruminant Parameters and Meat Quality”, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100 (3): 578-589.
- Bjorklund, J. M. y R. Wadsworth (2005), “Equilibrium Calculations for Fatty Acid Calcium Soaps in Pulo Washing”, Report No. STFI-Packforsk, 140: 1-38.
- Blanco, C., F. J. Giráldez, N. Prieto, R. Bodas y N. Prieto (2014), “Effects of Dietary Inclusion of Sunflower Soap Stocks on Nutrient Digestibility, Growth Performance, and Ruminant and Blood Metabolites of Light Fattening Lambs”, *Journal of Animal Science* 92 (9): 4086-4094.
- Bouattour, M. A., R. Casals, E. Albanell, X. Such y G. Caja (2008), “Feeding Soybean Oil to Dairy Goats Increases Conjugated Linoleic Acid in Milk”, *J. Dairy Sci.*, 91: 2399-2407.
- Castro, N., J. Capote, A. Morales-Delanuez, C. Rodríguez y A. Arguello (2009), “Effects of Newborn Characteristics and Length of Colostrum Feeding Period on Passive Immune Transfer in Goat Kids”, *J. Dairy Sci.*, 92 (4): 1616-9.
- Chikunya, S., G. Demirel, M. Enser, J. D. Wood, R. G. Wilkinson y L. A. Sinclair (2004), “Biohydrogenation of Dietary n-3 PUFA and Stability of Ingested Vitamin E in the Rumen, and their Effects on Microbial Activity in Sheep”, *Br. J. Nutr.*, 91: 539-550.
- Chilliard, Y., F. Glasser, A. Ferlay, L. Bernard, J. Rouel y M. Doreau (2007), “Diet, Rumen Biohydrogenation and Nutritional Quality of Cow and Goat Milk Fat”, *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.*, 109: 828-855.

- Chilliard, Y., P. G. Toral, J. K. Shingfield, J. Rouel, C. Leroux y L. Bernard (2014), "Effects of Diet and Physiological Factors on Fat Milk Synthesis, Milk Fat Composition and Lipolysis in the Goat: A Short Review, 2014", *Small. Rum. Res.*, 122: 31-37.
- Cruz, L. A. (2015), "Estrategias para disminuir la mortalidad perinatal en cabras", en <http://www.amcgcr.com.mx/rwx/ESTRATEGIAS-PARA-DISMINUIR-LA-MORTALIDAD-PERINATAL.pdf>. Consultado el 4 de diciembre de 2016.
- Daza, A. A., M. C. Fernández y L. A. Sánchez (2004), "Ganado caprino: producción, alimentación y sanidad, Editorial Agrícola Española, Madrid.
- Demeyer, D. I., y C. J. van Nevel (1995), "Transformations and Effects of Lipids in the Rumen: Three Decades of Research at Ghent University", *Arch. Anim. Nutr.*, 48: 119-134.
- Díaz, G. M. O., F. de J. Morón, J. Urrutia y K. A. Martínez (2004), *Efecto de la suplementación alimenticia sobre algunos parámetros productivos en cabras*, Facultad de Agronomía-UASLP, San Luis Potosí, Campo Experimental San Luis Potosí del INIFAP, XIX Reunión Nacional de Caprinocultura.
- Duque, Q. M., N. R. Rosero, J. Gallo y A. M. Olivera (2013), "Effect of Protected Fat Supplementation on Productive and Reproductive Performance in Lactating Cow", *Revista MVZ Córdoba*, 18 (3): 3812-3821.
- Dwyer, C. M. (2008), "Genetic and Physiological Determinants of Maternal Behavior and Lamb Survival; Implications for Low-input Sheep Management", *Journal of Animal Sciences*, 86 (14): 246-258.
- Enjalbert, F., M. C. Nicot, C. Bayourthe, M. Vernay y R. Moncoulon (1997), "Effects of Dietary Calcium Soaps of Unsaturated Fatty Acids on Digestion, Milk Composition and Physical Properties of Butter", *J. Dairy Res.*, 64: 181-195.
- Escareño, L. (2010), "Design and Implementation of a Community-based Goat Breeding Program for Smallholders in the North of Mexico", tesis doctoral, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Viena, Austria.
- Fernández Abella, D. (1993), *Principios de fisiología reproductiva ovina*, Universidad de la República/Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, p. 247.
- Freitas de Melo, A., R. Ungerfeld, M. José Hötzel, M. José Abud, A. Álvarez Oxiley, A. Orihuela, J. Pablo Damián y R. Pérez Clariget (2015), "Mother-young Behaviours at Lambing in Grazing Ewes: Effects of Lamb Sex and Food Restriction in Pregnancy", *Applied Animal Behaviour Science*, 168: 31-36.
- Gargouri, A., G. Caja, R. Casals y I. Mezghani (2006), "Lactational Evaluation of Effects of Calcium Soap of Fatty Acids on Dairy Ewes", *Small Ruminant Research*, 66: 1-10.
- Gómez Cortés, P., B. Gallardo, A. R. Mantecón, M. A. de la Fuente y T. Manzo

- (2014), "Effects of Different Sources of Fat (Calcium Soap of Palm Oil vs. Extruded Linseed) in Lactating Ewes' Diet on the Fatty Acid Profile of their Suckling Lambs", *Meat Science*, 96 (3): 1304-1312.
- Gulliver, C. E., M. A. Friend, B. J. King y E. H. Clayton (2012), "The Role of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Reproduction of Sheep and Cattle", *Anim. Rep. Sci.*, 131 (1-2): 9-22.
- Hervás, G., P. Luna y A. R. Mantecón (2008), "Effect of Diet Supplementation with Sunflower Oil on Milk Production, Fatty Acid Profile and Ruminant Fermentation in Lactating Dairy Ewes", *J. Dairy Res.*, 75: 399-405.
- Jandal, J. M. (1996), "Comparative Aspects of Goat and Sheep Milk", *Small Rumin. Res.*, 22: 177-185.
- Jenkis, T. C., y D. L. Palmsquist (1984), "Effect of Fatty Acids or Calcium Soaps on Rumen and Total Nutrient Digestibility of Dairy Rations", *J. Dairy Sci.*, 67: 978-986.
- Jenkins, T. C., R. J. Wallace, P. J. Moate y E. E. Mosley (2008), "Board-invited Review: Recent Advances in Biohydrogenation of Unsaturated Fatty Acid within the Rumen Microbial Ecosystem", *J. Anim. Sci.*, 86: 397-412.
- Kolver, E. S., y M. J. de Veth (2002), "Prediction of Ruminant pH from Pasture-based Diets", *J. Dairy Sci.*, 85: 1255-1266.
- Kumar, H., K. Naveen, S. Raman, G. Arun y R. Chand (2015), "Effect of Heat Treatments of Goat Colostrum on Bacterial Counts, Viscosity, and Immunoglobulin G Concentration Indian", *J. Dairy Sci.*, 68.
- Lactomil (2017), en <http://www.lactomil.com.mx/lactomil/>. Consultado el 2 de abril de 2017.
- Marounek, M., L. Pavlata, L. Misurova y Z. Volek (2012), "Changes in the Composition of Goat Colostrum and Milk Fatty Acids during the First Month of Lactation", *Czech J. Anim. Sci.*, 57 (1): 28-33.
- Mateos, G. C., P. G. Rebollar y P. Medel (1996), "Utilización de las grasas y productos lipídicos en alimentación animal. FEDNA: avances en nutrición y alimentación animal", en <http://fundacionfedna.org/publicaciones.1996/>. Consultado el 14 de marzo de 2017.
- Mattos, R., C. R. Staples y W. W. Thatcher (2000), "Effects of Dietary Fatty Acids on Reproduction in Ruminants", *Rev. Reprod.*, 5: 38-45.
- Megalac (2017), en <http://www.gepsa.com/institucional/es/images/FolletoMegalacDigital.pdf>. Consultado el 6 de abril de 2017.
- Mele, M., A. Serra, A. Buccioni, G. Conte, A. Pollicardo y P. Secchiari (2008), "Effect of Soybean oil Supplementation of Milk Fatty Acid Composition from Saanen Goats Fed Diets with Different Forage: Concentrate Rations", *Ital. J. Anim. Sci.*, 7: 297-311.
- Palmquist, D. L., y T. C. Jenkins (1980), "Fat in Lactation Rations: Review", *Dairy Sci.*, 63: 1-14.

- Palmquist, D. L. (1996), "Utilización de los lípidos en dietas de rumiantes. XII Curso de Especialización, FEDNA: avances en nutrición y alimentación animal", en [http://fundacionfedna.org/publicaciones\\_1996](http://fundacionfedna.org/publicaciones_1996). Consultado el 3 noviembre de 2011.
- Salinas González, H., E. D. V. Moysen, M. A. Miramontes, F. G. V. Deras y J. A. Maldonado (2016), "Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la región lagunera, Coahuila, México", *Interciencia*, 41.11: 763-768.
- Salvador, A., C. Alvarado, I. Contreras, R. Betancourt, J. Gallo y A. Caigua (2009), "Effect of Protected Fat on Production and Composition of Goat Milk under Tropical Conditions", *Zootecnia Tropical*, 27: 285-298.
- Sánchez, W. K. (2001), "Energy Barrier Breaker Research Summary. Church & Dwight Co., Inc. Available", en <http://www.faqs.org/patents/app/20090220638#b>.
- Staples, C. R., J. M. Burke y W. W. Thatcher (1998), "Influence of Supplemental Fats on Reproductive Tissues and Performance of Dairy Cows Fed Unsaturated Dietary Fat and Receiving Bovine Somatotropin", *J. Dairy Sci.*, 75: 1936-1945.
- Steel, R. D. G., J. H. Torrie y D. A. Dickey (1997), *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*, 3ª ed., McGraw-Hill Book Co. Inc., Nueva York.
- Toral, P. G., P. Frutos, G. Hervás, P. Gómez Cortés, M. Juárez y M. A. de la Fuente (2010), "Changes in Milk Fatty Acid Profile and Animal Performance in Response to Fish Oil Supplementation, Alone or in Combination with Sunflower Oil, in Dairy Ewes", 93 (4): 1604-1615.
- Trezeguet, M. (2007), "Peso de cabras en el parto, y producción láctea, con tres niveles de alimentación", Dirección Nacional de Sanidad Animal, Sitio Argentino de Producción Animal.
- Tricon, S., G. C. Burdge, C. M. Williams, P. M. Calder y O. Yaqoob (2005), "The Effects of Conjugated Linoleic Acid on Human Health-related Outcomes", *Proc. Nutr. Soc.*, 64: 171-182.
- Wales, W. J., E. S. Kolver, P. L. Thorne y A. R. Egan (2004), "Diurnal Variation in Ruminant pH on the Digestibility of Highly Digestible Perennial Ryegrass during Continuous Culture Fermentation", *J. Dairy Sci.*, 87: 1864-1871.

# Actividad antimicrobiana *in vitro* de los fitoextractos de *Eucalyptus globulus*, *Aloe vera barbadensis* y *Citrus aurantifolia* en aislamientos de *Staphylococcus aureus* ORSA/MRSA de vacas lecheras

VALENTE VELÁZQUEZ ORDOÑEZ,<sup>1</sup> ANDREA RAMÍREZ MENDIOLA,<sup>2</sup> LUCÍA DELGADILLO RUIZ,<sup>3</sup> CARLOS BEDOLLA CEDEÑO,<sup>4</sup> ADRIANA DEL CARMEN GUTIÉRREZ CASTILLO,<sup>5</sup> ABDEL FATTAH ZEIDAN MOHAMED SALEM,<sup>5</sup> MARÍA ELENA ESTRADA ZÚÑIGA,<sup>6</sup> JOSÉ LUIS ZAMORA ESPINOSA,<sup>1</sup> LUIS SALVADOR PÉREZ SOTELO<sup>1</sup> y BENJAMÍN VALLADARES CARRANZA<sup>1</sup>

## Resumen

Para evaluar la actividad antimicrobiana *in vitro* de los extractos de *Eucalyptus globulus*, *Aloe vera* y *Citrus aurantifolia* sobre aislamientos de *Staphylococcus aureus* ORSA/MRSA, obtenidos de vacas lecheras con mastitis subclínica en hatos lecheros de producción familiar del valle de Toluca, México, se determinó la actividad antimicrobiana *in vitro* de los extractos crudos mediante el método de difusión en agar, utilizando 10, 20, 30, 40 y 50 µl de cada uno de los extractos sobre los unidiscos, incubando las placas de agar Muller-Hinton a 37° C durante 24 horas. Los resultados se evaluaron mediante el método descriptivo considerando la concentración en microlitros (µl) de los fitoextractos y el halo de inhibición expresado en milímetros (mm) en los aislamientos de *S. aureus*. El extracto de *E. globulus* mostró una mayor actividad de inhibición del crecimiento en las diferentes cepas de *S. aureus* comparado con los extractos de *Citrus aurantifolia* y *Aloe vera*; este último sólo mostró actividad al utilizar 50 µl del extracto. Los resultados sugieren una potencial actividad antimicrobiana del extracto de *E. globulus* y del *C. aurantifolia* aplicable en la investigación en modelos animales para la prevención sustentable de la infección por *S. aureus* en los hatos lecheros y el desarrollo de fitocompuestos con efecto antimicrobiano.

*Palabras clave:* fitoextractos, *Eucalyptus globulus*, *Aloe vera*, *Citrus aurantifolia*, *Staphylococcus aureus*.

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UAEM.

<sup>2</sup> Becario de investigación, SIEA-UAEM.

<sup>3</sup> Unidad Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Zacatecas.

<sup>4</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

<sup>5</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAEM.

<sup>6</sup> Facultad de Ciencias, UAEM. Autor de correspondencia: benvac2004@yahoo.com.mx.

## Introducción

La producción ganadera a baja escala se ha propuesto como una estrategia sustentable en la reducción de la generación y acumulación atmosférica de gases de efecto invernadero (Castelán-Ortega *et al.*, 2014). De la misma forma, expertos de la FAO (2008) refieren que la actividad ganadera asociada a la producción de carne y leche a baja escala conduce a mejorar la sustentabilidad, lo que puede contribuir a mitigar las alteraciones sobre los agroecosistemas. Los efectos inesperados del cambio climático sobre el hábitat y la biodiversidad serán más evidentes al afectar los ecosistemas, la producción y la disponibilidad de alimentos para los animales y el hombre (Paterson, 1995; El-Fadel *et al.*, 2012). El impacto del cambio climático sobre el hábitat se ha generado por las variaciones extremas de la temperatura ambiental (Millward y Garnett, 2010). Asimismo, los efectos negativos en el ambiente se han incrementado y, por consiguiente, los riesgos a la salud del hombre, la higiene en la producción, el almacenamiento y la distribución de alimentos (Scheldeman *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2012). En la actualidad la producción lechera se ha visto amenazada, lo cual ha afectado su adaptación ambiental frente al cambio climático como fenómeno mundial, ocasionando una alerta entre los países con mayor producción de leche, teniendo un impacto directo sobre el bienestar animal, la salud del hato y de la glándula mamaria de las vacas lecheras; además de posibles efectos sobre la calidad y la inocuidad de la leche (Srikandakumar y Johnson, 2004; Straley *et al.*, 2006). Aunque aún existen pocas evidencias del efecto del cambio climático en la salud de la glándula mamaria en los hatos lecheros y la susceptibilidad a la mastitis (Cheng *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2015), se ha observado una posible asociación en la ocurrencia de la mastitis subclínica relacionada con incremento de la temperatura durante el verano (Mancera *et al.*, 2017).

La mastitis bovina, ampliamente distribuida a nivel mundial, es considerada una de las principales enfermedades limitantes de la producción lechera (López, 2006). En México la ocurrencia de la mastitis en las diferentes regiones lecheras del país, muestra una elevada prevalencia en los hatos, estimada entre 46 y 69% (Gerlach *et al.*, 2009), lo que afecta seriamente la salud de la glándula mamaria y la salud pública por la posible contaminación de la leche y sus derivados (Velázquez *et al.*, 2005).

El *Staphylococcus aureus* es considerado el principal agente patógeno causal de la mastitis en hatos lecheros de varios países (De Oliveira *et al.*, 2000; Camussone y Calvinho, 2013) y provoca la inflamación crónica de la glándula mamaria, incrementando el nivel de células somáticas en la leche y disminuyendo la producción láctea (Chaffer y Rimbaud, 2005). La prevalencia de mastitis subclínica por el *S. aureus* en los hatos lecheros de producción familiar se atribuye a un alto nivel de infección en las vacas lecheras, deficientes prácticas de manejo e

higiene durante el ordeño y ausencia de programas de prevención y control de la enfermedad en la producción a baja escala (Manjarrez *et al.*, 2012).

En las unidades de producción ganadera, el uso indiscriminado de antibióticos ha contribuido al incremento de la resistencia antimicrobiana en las cepas de *S. aureus*, al identificarse cepas multirresistentes y resistentes a los antibióticos  $\beta$ -lactámicos en los hatos lecheros (Faria *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2005; Hendrikson *et al.*, 2008). La resistencia antimicrobiana de cepas de *S. aureus* se asocia frecuentemente con la producción de  $\beta$ -lactamasas (Hernández *et al.*, 1991), con ocurrencia de cepas con resistencia múltiple a los antibióticos, resistentes a la penicilinas: oxacilina, cloxacilina, dicloxacilina, meticilina y nafcilina (Pahissa, 1997). Las cepas meticilina resistentes de *S. aureus* (MRSA: cepas meticilina resistentes de *Staphylococcus aureus*) son consideradas una alerta epidemiológica a la salud pública, al desarrollar en la población humana infecciones intrahospitalarias relacionadas con el desarrollo de procesos septicémicos, infecciones superficiales y profundas, con un alto grado de morbilidad y mortalidad pues provocan cuadros clínicos graves (Lee, 2003).

En los hatos lecheros de producción familiar se han identificado cepas MRSA aisladas de casos de mastitis subclínica (Lagunas, 2002), las cuales representan un problema potencial importante para la salud, por el riesgo en la transmisión de cepas de *S. aureus* de origen animal al hombre en un ciclo de diseminación vaca-hombre-vaca (Velázquez *et al.*, 2005), al ocurrir infecciones por *S. aureus* resistentes a la meticilina adquiridas a partir de los animales y mediante la contaminación de la leche y sus derivados (Gajadhar y Allen, 2004).

La resistencia y multirresistencia a los antibióticos en las cepas de *S. aureus* se encuentra asociada otros factores de virulencia del agente en las vacas lecheras (López, 2013), por lo cual surge la necesidad de desarrollar opciones para reducir el uso de antibióticos en la prevención y el control de la mastitis en el ganado lechero (Unión Europea y Parlamento Europeo, 2003). El uso alternativo de extractos vegetales obtenidos de la herbolaria tradicional mexicana constituye una estrategia potencial sustentable en el control de la infección por *S. aureus* en los hatos lecheros de producción familiar (Velázquez *et al.*, 2016), al considerar en la medicina tradicional que el uso de las plantas para el tratamiento de enfermedades y afecciones de la salud en la población humana tiene un uso medicinal ampliamente difundido en la comunidad rural (Hernández *et al.*, 1984; Farnsworth *et al.*, 1985). Por los usos y costumbres de la población y la integración antropológica de la comunidad en una región geográfica determinada, el horizonte fisiográfico y el hábitat en un ecosistema, así como los recursos naturales, contribuyen al desarrollo de los agroecosistemas, incidiendo en la evolución socioeconómica y cultural comunitaria (Jiménez *et al.*, 2015). A partir de las experiencias del conocimiento popular de la herbolaria tradicional en el cuidado de la salud, se tiene como referente de la investigación científica el uso medi-

cinal de las plantas y sus fitocompuestos con actividad biológica (OMS, 2002). El antecedente cultural popular de la herbolaria tradicional es la base sustancial de la fitofarmacología, sustentada en el estudio de la etnobotánica regional, al fundamentar en el conocimiento científico el estudio sobre las plantas medicinales para obtener e identificar diversas sustancias orgánicas en el desarrollo de nuevos medicamentos con efectos farmacológicos y terapéuticos potenciales (Schlaepfer y Mendoza, 2010). En los recursos etnobotánicos de la herbolaria tradicional mexicana, disponibles regionalmente, se identifican a la sábila, *Aloe vera* (*Aloe barbadensis*), el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y el limón mexicano (*Citrus aurantifolia*), utilizados como remedio para el tratamiento de heridas superficiales, infecciones micóticas y bacterianas de la piel, afecciones digestivas y de las vías aéreas y desórdenes metabólicos (Hernández *et al.*, 1984; Macía *et al.*, 2005; Biglar *et al.*, 2014). La sábila, *Aloe vera*, es una planta originaria del Mediterráneo, del norte de África y de Sudáfrica; fue introducida a América por las Antillas y por América central (Gómez Lorence *et al.*, 2001). Se caracteriza por ser una planta carnosa de poca altura, de tallos con bordes dentados y espinosos, flores rojas tubulares colgantes formando una espiga con frutos capsulares, perteneciente a la familia *Liliaceae* y al género *Aloe* (Martínez *et al.*, 1996).

El *A. vera* se ha empleado en la medicina tradicional popular frecuentemente por su efecto laxante y antiulceroso; en ciertos casos como analgésico y antiinflamatorio. Y también se ha indicado en ciertos casos como antituberculoso. Además, se ha descrito con un uso potencial antitumoral (Furones *et al.*, 1996). El uso frecuente de *A. vera* es como remedio tradicional en el tratamiento de heridas, abrasiones, ulceraciones y quemaduras de la piel, por la pulpa fresca de sus hojas ricas en gel (Álvarez *et al.*, 1996). Es posible que las evidencias anteriores puedan explicar el efecto del uso tópico del jugo fresco del *A. vera* en forma empírica para el sellado pos ordeña del pezón en las vacas lecheras, favoreciendo el cuidado de la piel de los pezones y la recuperación del tono del esfínter del meato; en los hatos lecheros de producción familiar de la región centro-este de Michoacán, México (Bedolla, 2016, comunicación personal).

Es ampliamente conocido que de las hojas frescas del *Aloe vera barbadensis* se extrae gel y látex, los cuales tienen una amplia actividad biológica y toxicológica (Boudreau y Beland, 2006). Se ha estudiado que su actividad biológica se encuentra relacionada con el contenido de manosa (Leung *et al.*, 2004); también se ha señalado que los polisacáridos presentes en el *A. vera* carecen de toxicidad, además de exhibir indirectamente una respuesta antitumoral relacionada principalmente con la aloína y otros componentes como los ácidos orgánicos, las vitaminas A, C y B, los aminoácidos, los polisacáridos y las glicoproteínas; de estos últimos se conoce su efecto antiinflamatorio (Furones *et al.*, 1996).

El eucalipto (*Eucalyptus globulus*) es un árbol originario de Australia clasificado dentro de la familia de las mirtáceas del género *Eucalyptus* y la especie

*globulus*, con hojas perenes lanceoladas y aromáticas de las que se desprenden inflorescencias blanquecinas. Las hojas contienen aceites esenciales con una concentración del 1.5 a 3.5%, identificándose entre los principales aceites a los monoterpenos: a-pineno y para-cimeno, así como pequeñas concentraciones de esquiterpenos como el aromadendreno, el cineol y el globulol (Kubeczka y Formáček, 2002).

Por otra parte, el limón mexicano se cultiva en amplias zonas del país, localizadas en áreas semidesérticas de pastizales y en regiones subtropicales del Golfo de México y el Pacífico (Osuna *et al.*, 2005), donde se identifican cultivos de limoneros de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) con frutos medianos de color verde; limón persa (*C. latifolia*) de frutos sin semilla; limón italiano (*C. limón*) y limón real (*C. limón*). El limón mexicano criollo, conocido como limón agrio o limón mexicano, proviene de la India y el sureste asiático; el árbol fue introducido a México durante la Conquista (Francis, 2010; Sagarpa, 2005). La planta de limón pertenece a la familia rutácea y al género *Citrus*; la planta es un árbol frondoso ligeramente espinoso de poca altura. Sus hojas son de poco tamaño, con flores blancas pequeñas y aisladas. Los frutos del limón son medianos, de color verde amarillento, de pulpa abundante y ácida, con semillas blancas y pequeñas (Dugo y Di Giacomo, 2002). Las propiedades medicinales populares del árbol de limón se han observado en las hojas, el tallo y los frutos (Lozoya, 1999). De la planta se han obtenido diferentes compuestos ácidos: cáprico, coprílico, decanóico, fórmico, hidrocianico, isovalérico, láurico, mirístico, nonanóico, oxálico y esteárico; diversos alcoholes como: decil, dodecil, ergosterol, etílico, metil antralinato, nolil, fenetil y pirocatecol; aldehídos como: acetaldehído, benzaldehído e isovaleraldehído; monoterpenos, dentro de los cuales se identifican: borneol, decanal, furfural, carveno y citral; además de flavonoides, como la quercetina y las saponinas y el aceite de limoneno, así como otros compuestos como triptamina, quinolina, carvona, cresol, guayacol, esperidina, narcotina, noradrenalina y tiramina (Osuna *et al.*, 2005). Los aceites esenciales de los limoneros, son extraídos de la cáscara de los cítricos (Kubeczka y Formáček, 2002; Bousdia *et al.*, 2009). Los aceites del limón son uno de los principales productos empleados en la industria farmacéutica y alimentaria (Lota *et al.*, 2002). A su vez, los flavonoides han demostrado actividad antimicrobiana en varios estudios (Cushnie y Lamb, 2005).

Los cambios en el clima y el hábitat generan perturbaciones en las relaciones bióticas, las cuales, al estar normalmente en equilibrio, mantienen en control la interacción agente-hospedador-medio ambiente. Al ocurrir el desequilibrio ambiental aumenta el riesgo de la ocurrencia de enfermedades que pueden comprometer la salud humana y animal (Keesing y Osfeld, 2012). Sin embargo, la vigilancia y la investigación del equilibrio en el proceso de salud-enfermedad-medio ambiente recibe poca atención gubernamental frente al cambio cli-

mático y el riesgo inminente a la salud pública, la inocuidad alimentaria, la salud animal y la preservación del hábitat, al repercutir seriamente en las complejas relaciones sanitarias y de higiene que ocurren entre los animales, el hombre y el ambiente.

Considerando el empleo de las plantas medicinales en la comunidad y la perspectiva científica en el desarrollo de nuevos fármacos en la medicina moderna (González *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 2012), se conjunta información de resultados de investigación en los que se evaluó la actividad antibacteriana *in vitro* de los extractos crudos de *Aloe vera barbadensis*, *Eucalyptus globulus* y *Citrus aurantifolia* sobre aislamientos de *Staphylococcus aureus* obtenidos de vacas lecheras con mastitis subclínica en hatos lecheros de producción familiar.

## Material y métodos

La obtención de los materiales vegetativos en estudio se realizó durante el verano, en una zona aledaña a la ciudad de Zitácuaro, Michoacán, en las coordenadas 19°26' de latitud norte y 100°22' de longitud oeste, a una altura de 1940 metros sobre el nivel del mar (Municipios Mx, 2017). La colecta de las plantas se realizó de febrero a marzo de 2015. Durante el periodo se recolectaron aproximadamente 1750 kg de hojas de sábila *Aloe vera barbadensis* y una porción aproximada de 500 g de hojas de los árboles de *Eucalyptus globulus* y *Citrus aurantifolia*, para ser lavadas enérgicamente con agua potable, para su posterior secado.

### *Preparación de los extractos crudos*

Se retiró la cubierta verde de las hojas de sábila para obtener la pulpa, recuperando aproximadamente 600 g en un recipiente de vidrio. Las hojas de los árboles de eucalipto y de limón mexicano se separaron en dos porciones, colocadas en un papel secante. Los materiales vegetativos fueron secados en el horno de desecación a una temperatura de 20° C durante tres a cinco días. Una vez seco el material vegetativo, se retiró del horno y se procedió a efectuar la molienda fina en un molino de alta velocidad. Los extractos crudos de las plantas fueron preparados a partir de pequeñas porciones de 100 g de materia seca, para ser empleados como soluto al mezclarlos con el solvente, que consistió en 400 ml de una mezcla de agua destilada y metanol absoluto en una proporción de 9:1, respectivamente. La suspensión se mantuvo en baño María durante 24 horas a 37° C. El extracto primario se filtró utilizando papel filtro (Whatman 4), en un embudo de cristal, para obtener la separación del extracto crudo. La concentración del extracto se realizó repitiendo el procedimiento en baño María hasta reducir

50% volumen/volumen del preparado de cada uno de los extractos; una vez obtenidos éstos se conservaron a 4° C al abrigo de la luz.

### *Sensibilidad in vitro a la oxacilina*

Las cepas oxacilina resistentes y oxacilina sensibles fueron confirmadas mediante el método de difusión en agar, descrito en el procedimiento del National Committe for Clinical Laboratory Standards (CLSI, 2012). Siguiendo el método de Kirby-Bauer modificado (Bauer *et al.*, 1959), empleando unidiscos de oxacilina de 1 µg, colocados sobre la superficie de las placas de agar Muller-Hinton con las cepas de trabajo y de control incubándose simultáneamente a 35 y 42° C, durante 24 horas. Los halos de inhibición del crecimiento se determinaron en ambas placas. Las cepas se consideraron oxacilina y meticilina resistentes a esta prueba, al mostrar diferencias mayores o iguales a 4 mm de diámetro entre las diferentes temperaturas de incubación.

### *Sensibilidad in vitro de los fitoextractos*

Se empleó el método de Kirby-Bauer modificado, siguiendo los procedimientos descritos en los protocolos del National Committe for Clinical Laboratory Standards (CLSI, 2012). Se evaluaron tres aislamientos de *S. aureus* sensibles y resistentes a la oxacilina/meticilina (ORSA/MRSA), obtenidas de vacas lecheras, los cuales fueron comparados con tres cepas de control de *S. aureus*: ATCC 25923, ATCC 29213 y ATCC 43300. Se sometieron al ensayo *in vitro* de inhibición del crecimiento microbiano frente a los extractos crudos de *Eucalyptus globulus*, *Aloe vera barbadensis* y *Citrus aurantifolia*, empleando el procedimiento de difusión en agar Müller-Hinton a 37° C durante 18 a 24 horas. La actividad antimicrobiana de los extractos *E. globulus*, *A. barbadensis* y *C. aurantifolia* frente a las cepas control y ORSA/MRSA de *S. aureus* se realizó empleando la porción acuosa concentrada 50% volumen/volumen de los extractos crudos, impregnando los unidiscos con 10, 20, 30, 40, 50 µl de cada uno de los extractos y un control negativo de actividad mediante un disco impregnado con agua destilada y como controles de la prueba unidiscos de 1µ de oxacilina. Los unidiscos de los extractos y los controles se colocaron sobre las placas de agar Müller-Hinton, inoculadas previamente con las cepas de trabajo y de control, con la ayuda de un hisopo, distribuyendo homogéneamente el inóculo equivalente a 0.5 de la escala McFarland ( $10^{6-8}$  UFC/ml). Las placas se incubaron 18 a 24 y a 48 horas a 37° C. Los ensayos *in vitro* fueron realizados por triplicado. Los halos de inhibición se midieron con un Vernier, expresados en su diámetro en milímetros, alrededor de los unidiscos, indicando la actividad antimicrobiana de los extractos.

## Evaluación de resultados

Los halos de inhibición del crecimiento bacteriano de los extractos se evaluaron mediante el método descriptivo considerando la concentración en microlitros ( $\mu\text{l}$ ) de los fitoextractos y el halo de inhibición expresado en milímetros (mm) en los aislamientos de *S. aureus*.

## Resultados

Al comparar los diferentes extractos crudos en estudio se observó que el extracto de *E. globulus* mostró una mayor capacidad antimicrobiana sobre *Staphylococcus aureus* ORSA/MRSA al obtener halos de inhibición de 2 a 7 mm. En contraste con el extracto de *Aloe vera barbadensis*, que mostró poca actividad, sólo en concentraciones de 50  $\mu\text{l}$  contra los aislamientos de *S. aureus*, los halos intermedios de inhibición fueron apreciados en el extracto de *C. aurantifolia* (cuadro 1).

Los resultados obtenidos indicaron un incremento de la actividad antimicrobiana al aumentar la concentración del extracto de *Eucalyptus globulus*, con una tendencia similar a la observada en los extractos de *Citrus aurantifolia*, a diferencia de la mínima actividad inhibitoria observada en los ensayos *in vitro* empleando *Aloe vera barbadensis*, en los cuales se apreció ligera actividad de inhibición en las concentraciones máximas de los volúmenes de 50  $\mu\text{l}$ .

## Discusión

Los extractos de *Aloe vera barbadensis*, *Eucalyptus globulus* y *Citrus aurantifolia* fueron diferentes al evaluar su actividad antimicrobiana *in vitro* frente a los aislamientos de *Staphylococcus aureus* de vacas con mastitis subclínica. El uso de los extractos vegetales obtenidos de plantas de la herbolaria tradicional mexicana empleadas como alternativa en la prevención y el control de las infecciones ocasionadas por el *S. aureus* en los animales constituye una alternativa sustentable para reducir el uso de antibióticos en la producción animal.

### *Aloe vera barbadensis*

En el contenido de los componentes químicos del *Aloe vera* destaca la presencia de polímeros de carbohidratos, y en éstos, las glucomanosas a las que se les ha atribuido una mayor actividad biológica en los extractos de la planta. Sin embargo, es necesario realizar una mayor investigación para evaluar los diferentes componentes y precisar los efectos terapéuticos de sus compuestos para diferen-

CUADRO 1. *Sensibilidad in vitro de Staphylococcus aureus frente a los extractos crudos de Eucalyptus globulus, Aloe vera barbadensis y Citrus aurantifolia*

<i>Extracto acuoso</i>	<i>S. aureus ATCC 25923</i>	<i>S. aureus ATCC 29213</i>	<i>S. aureus ATCC 43300</i>	<i>S. aureus Oxacilina sensible</i>	<i>S. aureus Oxacilina resistente</i>	<i>S. aureus Meticilina resistente</i>
<i>E. globulus</i>						
<i>Halo de inhibición expresado en milímetros</i>						
10 µl	2	2	1	2	2	2
20 µl	4	4	4	4	4	4
30 µl	5	5	5	5	5	5
40 µl	6	6	6	6	6	6
50 µl	7	7	7	7	7	7
<i>Aloe vera b.</i>						
<i>Halo de inhibición expresado en milímetros</i>						
10 µl	–	–	–	–	–	–
20 µl	–	–	–	–	–	–
30 µl	–	–	–	–	–	–
40 µl	–	–	–	–	–	–
50 µl	2	2	3	2	2	2
<i>C. aurantifolia</i>						
<i>Halo de inhibición expresado en milímetros</i>						
10 µl	–	–	–	–	–	–
20 µl	–	–	–	–	–	–
30 µl	9	8	7	9	8	6
40 µl	11	10	8	10	10	8
50 µl	12	12	10	12	12	10

Nota: Valores expresados en milímetros del halo de inhibición y en ausencia de actividad inhibitoria frente a *S. aureus*.

tes padecimientos (Eshun y He, 2004). Aunque por los avances e investigaciones de Castellanos *et al.* (2001) y Hernández y Rodríguez (2001) sabemos que uno de los efectos benéficos a partir de la actividad biológica de sus fitocompuestos es el antiviral, relacionado con la concentración de los polisacáridos presentes en los preparados medicinales (García *et al.*, 2001; Ni *et al.*, 2004).

En el saber popular se conoce el beneficio que brinda el *Aloe vera* a la salud; sin embargo, son pocos los estudios científicos que evalúan su actividad en el tratamiento de las enfermedades (Castellanos *et al.*, 2001). Las propiedades antimicrobianas se han relacionado con el jugo fresco de la planta y su acción contra el *Streptococcus pyogenes* y *Corynebacterium xerosis*. La suspensión acuosa de

la planta seca también muestra una moderada actividad sobre *Pseudomonas aeruginosa* y *Proteus vulgaris* (Sánchez-Monge, 1981). La actividad inhibitoria de *Aloe vera* es moderada en su efecto *in vitro* sobre el *S. aureus*, en comparación con una mayor actividad inhibidora del crecimiento bacteriano observada en el control de estreptomycin (Martínez *et al.*, 1996). Resultados de este estudio con extractos de *Aloe vera* al evaluar el efecto inhibidor *in vitro* sobre *S. aureus* fueron escasos, similares a los observados en el trabajo realizado por Qadir *et al.* (2017), lo cual sugiere la necesidad de explorar otro tipo de extractos y sus fitocompuestos para determinar su mayor efecto antimicrobiano.

### *Eucalyptus globulus*

Es posible que las evidencias obtenidas de los ensayos *in vitro* mostrando una actividad antimicrobiana de los extractos crudos del *E. globulus*, puedan tener aplicación experimental en el desarrollo de modelos biológicos orientados a la prevención de la colonización de *S. aureus* en la piel del pezón de las vacas al momento de la ordeña, con un posible empleo como presellador después de la ordeña en la rutina de higiene de la ubre (Bedolla *et al.*, 2015).

Fue notoria la sensibilidad *in vitro* demostrada de los extractos de *E. globulus* en la inhibición del crecimiento bacteriano sobre aislamientos de *S. aureus* ORSA/MRSA obtenidos de vacas lecheras con mastitis subclínica (Lagunas, 2002; López, 2013). En el estudio el efecto antimicrobiano *in vitro* de los extractos de *E. globulus* fue consistente con los resultados obtenidos por Khan *et al.* (2012) y Egwaikhide *et al.* (2008), quienes reportaron una notable actividad antimicrobiana *in vitro* contra el *Staphylococcus* al utilizar extractos de las hojas jóvenes de *E. globulus*. A su vez, Takahashi *et al.* (2004) observaron también un efecto antibacteriano sobre *S. aureus*, al emplear las hojas de otras especies de eucaliptos: *E. maculata* y *E. viminalis*.

En nuestro estudio se confirmó la actividad antimicrobiana de los extractos del *E. globulus*, con una actividad antimicrobiana en los aislamientos de *S. aureus* obtenidos de vacas lecheras con mastitis subclínica. Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Fredman *et al.* (2002) y Khan *et al.* (2012), quienes evaluaron la actividad antimicrobiana sobre *S. aureus* y otros microorganismos patógenos que afectan la salud humana.

El efecto antimicrobiano de los extractos de las hojas del eucalipto en diferentes estudios se ha relacionado con la concentración de aceites esenciales, los cuales son responsables del efecto activo frente a diferentes bacterias como *S. aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella typhi*, *Haemophilus influenzae*, *Mycobacterium tuberculosis*, especies de *Klebsiella*, *Streptococcus* y *Enterobacter*, y contra el hongo *Candida albicans* (BDMTM, 2009).

De la sensibilidad de las cepas *S. aureus* ORSA/MRSA con el extracto de *E. globulus*, comparada con diferentes especies de eucaliptos, se han obtenido resultados variables, debido a que los ensayos han sido realizados en diferentes condiciones, expresado por Takahashi *et al.* (2004), quienes encontraron un efecto antibacteriano notable en los extractos de hojas de *E. maculata* y *E. viminalis* contra *S. aureus*. Khan *et al.* (2012) informaron sobre la actividad antiestafilocócica del extracto de hoja de *E. globulus*, donde los diámetros de las zonas de inhibición observados se encontraron entre 16 y 25 milímetros.

### *Citrus aurantifolia*

El efecto antimicrobiano del limón se observa sobre las bacterias Gram positivas y negativas, levaduras y mohos (Deans y Ritchie, 1987), cuyo carácter antibacteriano también se centra en bacterias causantes de infecciones de origen alimentario (Burt, 2004; Fuselli *et al.*, 2008; Saha *et al.*, 2015).

Los extractos obtenidos de la cáscara tienen una actividad antibacteriana frente a cepas de *E. coli* ATCC 25922, *Enterococcus faecalis* y *S. aureus* ATCC 25923; halos de inhibición entre  $14 \pm 0.6$  mm y  $10 \pm 0.3$  mm se reportaron para *E. coli*; en *S. aureus* ATCC 25923 mostró un halo de inhibición de  $13 \pm 0.5$  mm (Benites *et al.*, 2011). Los estudios realizados sobre el limón buscan detectar la actividad biológica y los compuestos responsables del efecto antimicrobiano, señalando a compuestos naturales como los fenólicos y los terpenoides como los que tienen propiedades antimicrobianas contra los patógenos de origen alimentario, por lo cual estos compuestos podrían aplicarse como nuevos conservadores en la industria alimentaria (Friedman *et al.*, 2002; Hammer *et al.*, 1999). A su vez, los flavonoides han demostrado actividad antimicrobiana en varios estudios (Cushnie y Lamb, 2005); también se ha encontrado que los aceites esenciales de cítricos son capaces de inhibir las bacterias Gram positivas y negativas, además de las levaduras y los mohos (Deans y Ritchie, 1987).

En la actualidad el uso de extractos naturales puede ser una estrategia sustentable para reducir el empleo de antibióticos en la producción animal lechera, al contribuir a reducir su efecto negativo sobre la biodiversidad de la microbiota en el agua y en el suelo, evitando el deterioro de la flora y la fauna en el ambiente. Al mantener el equilibrio entre el microhábitat y la biomasa, se sostiene la interacción entre los ciclos biogeoquímicos de oxígeno, carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio y potasio, entre otros (Anónimo, 2017). La presión sobre el hábitat, generada por el desarrollo económico de los países con una población consumidora con óptimos niveles de ingreso, demanda grandes volúmenes de alimentos de origen agrícola y pecuario, lo que ha provocado el deterioro del ecosistema por el inapropiado uso de los recursos naturales, el suelo y el agua. De manera global, se ha atribuido esto a los países en vías de

desarrollo productores de alimentos, donde se producen alteraciones a los agroecosistemas, a su biodiversidad y a su sustentabilidad (FAO, 2008). Al ser afectado el ecosistema y su sustentabilidad, se alteran los ciclos de nutrientes, las cadenas bióticas y su biomasa, provocado el desequilibrio ambiental del horizonte geográfico. Al producirse el deterioro del ecosistema la salud del hábitat se afecta, aumentando los riesgos sanitarios para la población humana y animal (Keesing y Osfeld, 2012). En cuanto al deterioro de los ciclos biogeoquímicos, Dever (1991) señaló que la alteración de los ciclos de nutrientes tendrían un serio impacto en las reservas bióticas, en su diversidad, en el suelo, en las fuentes de agua y en la calidad del aire. Al producirse estos cambios se acrecienta el desequilibrio ambiental; consecuentemente, pueden aumentar los ciclos de infección y la transmisión de las zoonosis originadas por vectores, afectando de manera global a la población humana, de forma similar a lo que está ocurriendo con el desarrollo urbano descontrolado y la introducción de empresas productoras de alimentos en los países tropicales. La interacción hombre-animal-hábitat propicia la pérdida de amortiguamiento natural del ambiente contra los patógenos de riesgo a la salud y el equilibrio ambiental entre los ciclos de infección: vector-animales silvestres-animales domésticos-hombres sanos-humanos sanos (Donowska, 2012; Singh *et al.*, 2011). Actualmente, los esfuerzos gubernamentales en la mayoría de los países se centran en garantizar la inocuidad alimentaria, el manejo de emergencias sanitarias, la salud ambiental y la inspección sanitaria, promoviendo el desarrollo de investigación multidisciplinaria, el diagnóstico oportuno y la vigilancia epidemiológica nacional sobre las enfermedades y su prevención (Batsukh *et al.*, 2012; Kahn *et al.*, 2012), de tal forma que el trabajo realizado propone el uso alternativo de fitoextractos para abatir problemas comunes y actuales de salud del ganado lechero; considerando que el mayor efecto en la salud debido al cambio climático, enunciado por Millward y Garnett (2010), estará relacionado con la presentación de enfermedades asociadas a los regímenes de precipitación pluvial y a los periodos de sequía, eventos climáticos caracterizados por la media de temperatura alta y fenómenos meteorológicos extremos con amplio potencial para modificar la distribución de las enfermedades y las plagas en diferentes áreas geográficas del mundo.

## Conclusiones

El uso de extractos de origen vegetal es una alternativa en la prevención de la infección por *Staphylococcus aureus* en los programas de control de la mastitis bovina en los hatos lecheros de producción familiar y en el desarrollo de fitocompuestos para el tratamiento de la enfermedad. Se determinó una buena actividad antimicrobiana *in vitro* de los extractos de *Eucalyptus globulus* y *Citrus*

*aurantifolia* sobre los aislamientos de *S. aureus* obtenidos de vacas lecheras con mastitis subclínica, con uso potencial en el control sustentable de la infección en los hatos lecheros de producción familiar.

## Bibliografía

- Álvarez, A., I. Ramos, Y. Robaina, C. M. Pérez y C. Carrillo (1996), “Efecto antiulceroso de fórmulas que contienen extracto de *Aloe L.* (sábila)”, *Rev. Cubana Plant. Med.*, 1: 31-36.
- Anónimo (2017), “Ciclos biogeoquímicos, su importancia”, Universidad de Yucatán, en [eva.universidad.edu.uy/pluginfile.php/615995/mod\\_folder/.../0/clase%2017.pdf](http://eva.universidad.edu.uy/pluginfile.php/615995/mod_folder/.../0/clase%2017.pdf)? Consultado el 12 de abril de 2017.
- Batsukh, Z., B. Tsolmon, D. Otgonbaatar, B. Undraa, A. Dolgorkhand y O. Ariuntuya (2012), “Source. One Health in Mongolia”, *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*
- Bauer, A. W., D. M. Perry y W. M. M. Kirby (1959), “Single-disk Antibiotic-sensitivity Testing of Staphylococci”, *Arch. Intern. Med.*, 104: 220-241.
- Bedolla, C. C., G. E. A. Bedolla, C. E. García, V. H. Castañeda y O. V. Velázquez (2015), “Prevención y control de la mastitis bovina”, en O. V. Velázquez, V. H. Castañeda, W. Wolter, J. Švarc Gajić, C. C. Bedolla y L. J. E. Guerra (eds.), *Producción y calidad de la leche*, Universidad Autónoma de Sinaloa/Juan Pablos Editor, México, pp. 203-211.
- Bedolla, C. C. (2016), comunicación personal.
- Benites, V. J., G. R. Díaz, V. J. López, S. S. Gajardo, F. F. Kusch y A. M. Rojas (2011), “Actividad antioxidante y antibacteriana de seis cáscaras de frutos del oasis de Pica”, *Biofarbo*, 19 (1): 1-77
- BDMTM (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana), en <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/atlas.php>. Consultado el 10 de abril de 2017.
- Biglar, M., H. Sufi, K. Bagherzadeh, M. Amanlou y F. Mojabm (2014), “Screening of 20 Commonly Used Iranian Traditional Medicinal Plants against Urease”, *Iran J. Pharm. Res.*, 13: 195-198.
- Boudreau, M. D., y F. A. Beland (2006), “An Evaluation of the Biological and Toxicological Properties of *Aloe barbadensis* (miller), *Aloe vera*”, *J. Environ Sci. Health C. Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev.*, 24 (1): 103-154.
- Bousdia, N., M. Vian, M. Ferhat, B. Meklati y F. Chemat (2009), “A New Process for Extraction of Essential Oil from Citrus Peel: Microwave Hydrodiffusion and Gravity”, *J. Food Eng.*, 90: 409-413.
- Burt, S. (2004), “Essential Oils: Their Antibacterial Properties and Potential Applications in Foods-A Review”, *Int. J. Food Microbiol.*, 94: 223-253.

- Camussone, C. M., y L. F. Calvino (2013), "Factores de virulencia de *Staphylococcus aureus* asociados con infecciones mamarias en bovinos: relevancia y rol como agentes inmunógenos", *Rev. Argent. Microbiol.*, 45 (2): 119-130
- Castelán Ortega, O. A., J. C. Kuvera y J. G. Estrada Flores (2014), "Modeling Methane Emissions and Methane Inventories for Cattle Production Systems in Mexico", *Atmósfera*, 27 (2): 185-191.
- Castellanos, E. P., A. M. M. Rodríguez, G. T. Vázquez y M. A. Sin (2001), "Efecto antiviral del extracto acuoso de *Aloe barbadensis* contra el virus de la hepatitis B", *Rev. Cubana Plant Med.* 6 (1): 7-11.
- Chaffer, M., y E. Rimbaud (2005), "Epidemiología, prevención y control de la mastitis por *S. aureus* en vacas lecheras", en V. R. Rodríguez, *Enfermedades de importancia económica en producción animal*, McGraw Hill Interamericana, México, pp. 224-227.
- Cheng, W. J., Q. L. Li, C. F. Wang, H. M. Wang, J. B. Li, Y. M. Sun y J. F. Zhong (2009), "Genetic Polymorphism of HSP70-1 Gene and its Correlation with Resistance to Mastitis in Chinese Holstein", *Yi Chuan*, 31 (2): 169-174.
- CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) (2012), "Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. Twenty-second Informational Supplement M100-S22", CLSI, Wayne, Filadelfia.
- Cushnie, T. P., y A. Lamb (2005), "Antimicrobial Activity of Flavonoids", *Int. J. Antimicrob. Agents*, 26 (5): 343-356.
- Deans, S. G., y G. Ritche (1987), "Antibacterial Properties of Plant Essential Oils", *Int. J. Food Microbiol.*, 5 (2): 165-180.
- Dever, G. E. A. (1991), "Epidemiología y administración de servicios en salud", Organización Mundial de la Salud, Maryland, pp.357-393.
- Donowska, M. (2012), "Links in the Chain of the Disease Transmisión", en L. Cavaney, B. Jhones y K. Ellis (eds.), *In Veterinary Infection: Prevention and Control*, Willey/Blackwell, pp. 41-53.
- Dugo, G., y A. di Giacomo (2005), "Citrus: The Genus Citrus", CRC Press, USA, pp. 201-317.
- Egwaikhide, P. A., S. O. Okeniyi, E. E. Akporhonor y S. O. Emua (2008), "Studies on Bioactive Metabolites Constituents and Antimicrobial Evaluation of Leaf of *Eucalyptus globulus*", *Agric. J.*, 3 (1): 42-45.
- El-Fadel, M., S. Ghanimeh, R. Maroun e I. Alameddine (2012), "Climate Change and Temperature Rise: Implications on Food-and Water-borne Diseases", *Sci. Total Environ.*, 437: 15-21.
- Eshun, K., y Q. He (2004), "*Aloe vera*: A Valuable Ingredient for the Food, Pharmaceutical and Cosmetic Industries. A Review", *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 44 (2): 91-96.

- FAO (2008), "Climate Change: Implications for Food Safety", FAO, Roma. [http://www.fao.org/ag/agn/agns/files/HLC1\\_Climate\\_Change\\_and\\_Food\\_Safety.pdf](http://www.fao.org/ag/agn/agns/files/HLC1_Climate_Change_and_Food_Safety.pdf). Consultado el 12 de marzo de 2017.
- Faria, J., A. García, P. Izquierdo, M. Allara y K. Valero (2002), "Aislamiento de bacterias Gram positivas de leche cruda con residuos de antimicrobianos", *Arch. Latin. Nut.*, 52 (1): 68-73.
- Farnsworth, N. R., O. A. Akerele, S. Bingel, D. D. Soejarto y Z. Guo (1985), "Medicinal Plants in Therapy", WHO. *Bulletin of the World Health Organization*, 63: 965-981.
- Francis, J. (2010), "*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle", en <http://www.fs.fed.us/global/iitf/pdf/shrubs/Citrus%20aurantifolia.pdf>. Consultado el 17 de abril de 2017.
- Friedman, M., P. R. Henika y R. E. Mandrell (2002), "Bactericidal Activities of Plant Essential Oils and some of their Isolated Constituents against *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica*", *J. Food Prot.*, 65: 1545-1560.
- Furones, J., A. Mourelle, R. F. Morón y G. Z. Pinedo (1996), "Acción analgésica de un extracto acuoso liofilizado de *Aloe vera L.* en ratones", *Rev. Cubana Plant Med.*, 1 (2): 15-17.
- Fuselli, S. R., S. B. García, M. J. Eguaras y R. Fritz (2008), "Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Citrus Essences on Honeybee Bacterial Pathogen *Paenibacillus Larvae*, the Causal Agent of American foulbrood", *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 24: 2067-2072.
- Gajadhar, A. A., y J. R. Allen (2004), "Factors Contributing to the Public Health and Economic Importance of Waterborne Zoonotic Parasites", *Vet. Parasitol.*, 126: 3-7.
- García, A., A. Vizoso, A. Ramos, J. Pilot, V. Pavón y E. Rodríguez (2001), "Estudio toxicogenético de un polisacárido del gel de *Aloe vera L.*", *Rev. Cubana Plant Med.*, 2: 52-55.
- Gerlach, B. F., A. F. Ayala, B. F. Denogean, M. S. Moreno y B. L. Gerlach (2009), "Incidencia y costo de la mastitis en un establo del municipio de Santa Ana, Sonora", *Revista Mexicana de Agronegocios*, 13 (24): 794-796.
- Gómez, L. F., E. L. Vivas y C. E. Santamaría (2001), "Prácticas de cultivo y algunos factores edafológicos que podrían influir sobre la calidad del gel de sábila", *Rev. Chapingo. Serie Zonas Áridas*, 2 (2): 68-73.
- González, E. M., E. L. I. López, E. M. S. González y F. J. A. Tena (2004), *Plantas medicinales del estado de Durango y zonas aledañas*, IPN-CIIDIR, Durango, pp. 170.
- Hammer, K. A., C. F. Carson y T. V. Riley (1999), "Antimicrobial Activity of Essential Oils and Other Plant Extracts", *J. Appl. Microbiol.*, 86 (6): 985-990.
- Hendrikson, R. S., D. J. Mevius, A. Schroeter, C. Teale, D. Meunier, P. Butaye,

- A. A. Utinane, M. Moreno, C. Greko, K. Stärk, C. Berghold, D. Wasyl, M. Sunde y F. M. Aarestrup (2008), "Prevalence of Antimicrobial Resistance among Bacterial Pathogens Isolated from Cattle in Different European Countries (2002-2004)", *Acta Vet. Scand.*, 50 (28): 1-10.
- Hernández, L., R. A. Muñoz, G. Miró, M. Martínez, J. Silva Parra y P. I. Chávez (1984), "Use of Medicinal Plants by Ambulatory Patients in Puerto Rico", *Am. J. Hosp. Pharm.*, 41 (10): 2060-2064.
- Hernández, A. L., A. E. Chávez y D. M. Pérez (1991), "Sensibilidad antimicrobiana y producción de  $\beta$ -lactamasa en *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus coagulasa* negativa aislados de mastitis bovina", *Vet. Mex.*, 22 (4): 290-294.
- Hernández, D. L., y J. M. Rodríguez (2001), "Actividad antimicrobiana de plantas que crecen en Cuba", *Rev. Cubana Plant. Med.*, 2: 44-47.
- Huang, P., C. Lu, J. Li, J. Xu, Z. Liu, Q. Wang, Z. Wang, J. Huo, H. Li, Y. Teng y Y. Cai (2015), "Mutations in HSP70-2 Gene Change the Susceptibility to Clinical Mastitis in Chinese Holstein", *Gene.*, 559 (1): 62-72.
- Jiménez, C. P., J. M. Hernández, S. G. Espinosa, C. G. Mendoza y A. M. B. Torrijos (2015), "Los saberes en medicina tradicional y su contribución al desarrollo rural: estudio de caso Región Totonaca, Veracruz", *Rev. Mex. Cien. Agric.*, 6 (8): 1791-1805.
- Kahn, L. H., T. P. Monath, B. H. Bokma, E. P. Gibbs y A. A. Aguirre (2012), "One Helath One Medicine", en A. Aguirre y D. P. Ostfeld (eds.), *In New Directions in Conservation Medicine*, Oxford University Press, Londres, pp. 33-44.
- Keesing, F., y S. R. Ostfeld (2012), "An Ecoystem Service of Biodiversity", en A. Aguirre y D. P. Ostfeld (eds.), *In New Directions in Conservation Medicine*, Oxford University Press, Londres, pp. 56-66.
- Kubeczka, K. H., y V. Formáček (2002), "Essential Oils Analysis by Capillary Gas Chromatography and Carbon-13 NMR Spectroscopy", 2ª ed., Wiley, Chichester, pp. 275-289.
- Lagunas, B. S. (2002), "Detección del gen *mecA* en *Staphylococcus aureus* meticilina resistente por el método de reacción en cadena de la polimerasa en muestras de leche de vacas lecheras", tesis de licenciatura, FMVZ-UAEM, Toluca, México.
- Lee, J. H. (2003), "Meticilin Oxacilin Resistant *Staphyococcus aureus* Strains Isolated from Major Food Animals and their Potential Transmission to Humans", *Am. Soc. Microbiol.*, 69 (11): 6489-6494.
- Leung, M.Y., C. Liu, L. F. Zhu, Y. Z. Hui, B. Yu y K. P. Fung (2004), "Chemical and Biological Characterization of a Polysaccharide Biological Response Modifier from *Aloe vera* L. var. *Chinensis* (Haw.)", *Berg. Glycobiology*, 14 (6): 501-510.

- López, V. M. (2013), "Variación genética del antibiograma de metilicilina resistente de aislamientos de *Staphylococcus aureus* de origen bovino en el valle de Toluca", tesis de maestría, PCARN-UAEM, Toluca, México.
- Lota, M., D. de Roca, F. Camille y J. Casanova (2002), "Volatile Components of Peel and Leaf Oils of Lemon and Lime Species", *J. Agric. Food Chem.*, 50 (4): 796-805.
- Lozoya, X. (1999), "Two Decades of Mexican Ethnobotany and Research in Plant Drugs", Research Unit in Pharmacology of Natural Products, National Center, Mexican Institute of Social Security, Mexico City, Ciba Foundation Symposium, 185: 130-152.
- Macía, M. J., E. García y P. J. Vidaurre (2005), "An Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants Commercialized in the Markets of La Paz and El Alto, Bolivia", *J. Ethnopharmacol.*, 97 (2): 337-350.
- Mancera, C. G., C. B. Valladares, R. M. Talavera, O. O. Castelán, R. M. González, O. J. Saltijeral y O. V. Velázquez (2017), "Seasonal Variation of Subclinical Mastitis during the Summer-autumn Period in a Dairy Herd of Family Production", *Proceedings XV International Congress of the International Society for Animal Hygiene*, Mazatlán, Sinaloa, México, pp. 359-364.
- Manjarrez, L. A. M., Z. S. Díaz, G. F. Salazar, C. B. Valladares, C. A. C. Gutiérrez, P. A. Barbosa, R. M. Talavera, F. M. U. Alonso y O. V. Velázquez (2012), "Identificación de biotipos de *Staphylococcus aureus* en vacas lecheras de producción familiar con mastitis subclínica en la región centro-este del Estado de México", *Rev. Mex. Cienc. Pec.*, 3: 265-274.
- Martínez, M. J., B. J. Betancourt y G. N. Alonso (1996), "Ausencia de actividad antimicrobiana de un extracto acuoso liofilizado de *Aloe vera* (sábila)", *Rev. Cubana Plant. Med.*, 1 (3): 18-20.
- Millward, D. J., y T. Garnett (2010), "Food and the Planet: Nutritional Dilemmas of Greenhouse Gas Emission Reductions through Reduced Intakes of Meat and Dairy Foods", *Proc. Nutr. Soc.*, 69 (1): 103-118.
- Municipios Mx (2017), "Zitácuaro", en <http://www.municipios.mx/michoacan/zitacuaro/>. Consultado el 16 de abril de 2017.
- Ni, Y., D. Turner, K. M. Yates y I. Tizard (2004), "Isolation and Characterization of Structural Components of *Aloe vera* L. Leaf Pulp", *Inter Immunopharmacol.*, 4: 1745-1755.
- Oliveira, M.A., D. Velázquez y A. Bermúdez (2005), "La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: una revisión de sus objetivos actuales", *Interciencia*, 30: 453-459.
- Oliveira, A. P. de J. L. Watts, S. A. Salmon y F. M. Aarestrup (2000), "Antimicrobial Susceptibility of *Staphylococcus aureus* Isolated from Bovine Mastitis in Europe and the United States", *J. Dairy Sci.*, 83: 855-862.

- OMS (2002), "Estrategia de la OMS sobre la medicina tradicional 2002-2005", Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, en [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67314/1/WHO\\_EDM\\_TRM\\_2002.1\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67314/1/WHO_EDM_TRM_2002.1_spa.pdf). Consultado el 17 de abril de 2017.
- Osuna, T. L., P. M. E. Tapia y C. A. Aguilar (2005), *Plantas medicinales de la medicina tradicional mexicana para tratar afecciones gastrointestinales. Estudio etnobotánico, fitoquímico y farmacológico*, Universidad de Barcelona. Barcelona, España.
- Pahissa, A. B. (1997), "Infección por *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina. Ejemplo de la complejidad actual de los hospitales", *Med. Clinica*, 108 (11): 419-420.
- Paterson, J., C. Forcherio, B. Larson, M. Samford y M. Kerley (1995), "The Effects of Fescue Toxicosis on Beef Cattle Productivity", *J. Anim. Sci.*, 73 (3): 889-898.
- Qadir, M. A., S. K. Shahzadi, A. Bashir, A. Munir y S. Shahzad (2017), "Evaluation of Phenolic Compounds and Antioxidant and Antimicrobial Activities of some Common Herbs", *Int. J. Anal. Chem.*, 34: 75-78.
- Rodríguez, D. C., N. Pino y G. Peñuela (2012), "Microbiological Quality Indicators in Waters of Dairy Farms: Detection of Pathogens by PCR in Real Time", *Sci. Total Environ.*, 42: 314-318.
- Sagarpa (2005), "Plan Rector Sistema Nacional Limón Mexicano", en [http://siic.ucol.mx/Archivos\\_prov/prn\\_limon.pdf](http://siic.ucol.mx/Archivos_prov/prn_limon.pdf). Consultado el 17 de abril de 2017.
- Saha, J., A. K. Biswal y S. C. Deka (2015), "Chemical Composition of some Underutilized Green Leafy Vegetables of Sonitpur District of Assam, India", *Int. Food Res. J.*, 22 (4): 1466-1473.
- Sánchez, N., W. M. Bu, H. Pérez, G. Lara y I. Scull (2012), "Efecto del zumo de *Morinda citrifolia* L. (noni) en modelos de analgesia", *Rev. Cubana Plant Med.*, 7 (3): 213-222.
- Sánchez Monge, P. E. (1981), *Diccionario de plantas agrícolas*, Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Scheldeman, P., A. Pil, L. Herman, P. de Vos y M. Heyndrickx (2005), "Incidence and Diversity of Potentially Highly Heat-resistant Spores Isolated at Dairy Farms", *Appl. Environ. Microbiol.*, 71 (3): 1480-1494.
- Schlaepfer, L. y E. J. A. Mendoza (2010), "Las plantas medicinales en la lucha contra el cáncer, relevancia para México", *Rev. Mex. Cienc. Farm.*, 41: 18-27.
- Singh, B. B., R. Sharma, J. P. Gill, R. S. Aulakh y H. S. Banga (2011), "Climate Change, Zoonoses and India", *Rev. Sci. Tech.*, 30 (3): 779-788.
- Srikandakumar, A., y E. H. Johnson (2004), "Effect of Heat Stress on Milk Production, Rectal Temperature, Respiratory Rate and Blood Chemistry

- in Holstein, Jersey and Australian Milking Zebu Cows”, *Trop. Anim. Health Prod.*, 36 (7): 685-692.
- Straley, B. A., S. C. Donaldson, N. V. Hedge, A. A. Sawant, V. Srinivasan, S. P. Oliver y B. M. Jayarao (2006), “Public Health Significance of Antimicrobial-resistant Gram-negative Bacteria in Raw Bulk Tank Milk”, *Food-borne Pathog. Dis.*, 3 (3): 222-223.
- Takahashi, T., R. Kokubo y M. Sakaino (2004), “Antimicrobial Activities of Eucalyptus Leaf Extracts and Flavonoids from *Eucalyptus maculate*”, *Lett. Appl. Microbiol.*, 39 (1): 60-64.
- Unión Europea y Parlamento Europeo (2003), “On Additives for Use in Animal Nutrition”, Regulation EC No. 183/2003, Europa 595 Publication Office, L 268/29, Ginebra
- Velázquez, O. V., B. S. Lagunas, G. B. Gutiérrez, R. M. Talavera, F. M. Alonso y O. J. Saltijeral (2005), “*Staphylococcus aureus* Methicillin Resistant Strain (MRSA) Minimum Inhibitory Enrofloxacin Concentration in *Staphylococcus aureus* Isolations Obtained from Cows with Subclinical Mastitis in Family Dairy Farms”, *Inter. Soc. Anim. Hygiene Cong.*, ISAH-Warsaw, Poland, 1: 338.
- Velázquez, O. V., M. A. Ramírez, F. M. U. Alonso, C. B. Valladares, A. F. Z. M. Salem, C. C. Bedolla, V. H. Castañeda y R. J. L. Ruiz (2016), “*In Vitro* Activity of Crude Extract of Mexican Lemon (*Citrus aurantifolia*) on *Staphylococcus aureus* Isolated from Small Holder Dairy Herds”, *Proceedings of the World Buatrics Congress*, Dublín, pp. 149.



# El uso de probióticos *Saccharomyces cerevisiae* y Té Kombucha sobre parámetros productivos y modulación de poblaciones de coliformes en conejos para una producción animal sustentable

Luis Salvador Pérez Sotelo<sup>1</sup>  
Raúl Cuauhtémoc Fajardo Muñoz,<sup>1</sup>  
Salvador Lagunas Bernabé,<sup>1</sup>  
Alejandro de la Cruz Bustamante,<sup>1</sup>  
Jessica Nury Osorio Martínez,<sup>1</sup>  
Ada Elia Díaz González Borja<sup>1</sup>  
Valente Velázquez Ordoñez<sup>1</sup>

## Resumen

Actualmente se están estudiando nuevos promotores del crecimiento en animales de abasto que sean inocuos para el humano y los animales. Dentro de algunos de estos promotores, los probióticos están tomando importancia en la alimentación debido a su inocuidad, que no se almacenan en los tejidos y que mejoran la salud intestinal. El objetivo de este trabajo es conocer los efectos de dos probióticos en el crecimiento y la salud en un modelo animal cunícola, explorando la modulación de la microbiota intestinal. Esta investigación se realizó en tres etapas de investigación: en las dos primeras se utilizaron 30 conejos Nueva Zelanda, y en la tercera, 18. En la primera etapa se evaluó el efecto de los probióticos Té Kombucha (TK) y Sc47 sobre los parámetros productivos en gazapos del destete hasta la fase de engorda. Los resultados de los tres grupos no demostraron diferencias estadísticas; sin embargo, el grupo A alcanzó el peso comercial cinco días antes que los grupos B y C, lo que impactó en la conversión alimenticia. En la segunda y tercera etapas se demostró que ambos probióticos pueden modular la cantidad de coliformes. El TK demostró tener un efecto directo inhibitorio de crecimiento bacteriano. El Sc47 y el TK modulan el crecimiento de coliformes y podrían estar asociados a la ganancia de peso. La suplementación con estos probióticos demostró ser buen promotor de crecimiento en animales de producción.

*Palabras clave:* probióticos, Té Kombucha, Sc47, parámetros productivos, microbiota intestinal.

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca-Atlaconulco, Km. 15.5, Toluca, Estado de México. Correo electrónico: raul\_fajard@hotmail.com.

## Introducción

Es esencial asegurar una simbiosis equilibrada entre el hospedero y su microbiota; este balance busca favorecer el bienestar del hospedero a través de la capacidad de la respuesta inmune, el estado de salud adecuado y un excelente rendimiento en la producción. Desde los años cincuenta, el uso de probióticos como promotores de crecimiento en la alimentación ha alcanzado considerables logros en la producción animal, evitando con esto el uso indiscriminado de antibióticos y la resistencia bacteriana, consiguiendo así una producción animal más sustentable (Falcão, 2007).

Tras la creciente demanda de una producción sustentable, el interés en tratamientos amigables con el medio ambiente se está incrementando rápidamente; el empleo de probióticos ha sido desarrollado como una alternativa de manejo preventivo (estrategia proactiva), mas no curativo (estrategia reactiva), de las enfermedades (Velásquez, 2012).

Por mucho tiempo, los antibióticos han sido importantes para la producción ganadera y para el control de enfermedades en los animales que puedan transmitirse a los humanos. Sin embargo, las preocupaciones sobre el uso de antibióticos en el ganado ha sido cada vez mayor. Recientemente se ha observado que los tratamientos de las enfermedades entéricas en niños que viven en países en vías de desarrollo son cada vez más difíciles, debido a la propagación de la resistencia bacteriana hacia los antibióticos que algunos géneros bacterianos patógenos han desarrollado (*idem*).

Debido a la creciente necesidad mundial de alimentos y las posibles consecuencias en la salud pública por la transmisión de bacterias resistentes mediante la cadena alimentaria, se han propuesto objetivos que aseguran la producción eficiente de alimentos sanos y saludables destinados al consumo humano, y para reducir los riesgos en la salud pública relacionados con el suministro de antibióticos en la alimentación animal como promotores del crecimiento. En la actualidad, muchos países han prohibido el uso de antibióticos en la alimentación animal (*idem*).

Con la aparición de los primeros problemas relacionados con el uso de antibióticos, se consideró seriamente la posibilidad de utilizar otros productos que promuevan el crecimiento y la salud de los animales de producción. Recientemente la inclusión de aditivos en la alimentación animal, como acidificantes en el alimento, aceites esenciales, especias, extractos herbáceos, prebióticos, probióticos y simbióticos, han dado resultados confiables y prometedores para suplir a los antibióticos (*idem*). Lo que abre la posibilidad de investigar en estas alternativas para la producción animal.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (WHO/FAO por sus siglas en

inglés), recomendaron definir el término probiótico como “microorganismos vivos que cuando son suministrados en cantidades adecuadas confieren efectos benéficos a la salud del hospedero”, definición que actualmente se utiliza.

Cuando los probióticos o prebióticos se incorporan a los alimentos como parte del proceso de elaboración o como aditivos, se generan alimentos funcionales, es decir, alimentos que producen efectos benéficos en la persona o animal que los consume (De las Cagigas, 2002).

La selección de cepas candidatas a probióticos se basa en métodos moleculares, los cuales tienen la capacidad de analizar la secuencia de los segmentos 16S/23S del ARN y generar bancos de ADN que facilitan la clasificación de un probiótico. Los probióticos también se seleccionan mediante criterios que brindan seguridad al hospedero, criterios tecnológicos, criterios funcionales y criterios fisiológicos, que en conjunto ayudan a determinar la capacidad de la cepa para ser considerado como un probiótico (FAO/WHO, 2002).

Las cepas de *Lactobacillus rhamnosus* GG (Valio), *Saccharomyces cerevisiae boulardii* (Biocodex, Sc47), *Lactobacillus casei* Shirota (Yakult) y *Bifidobacterium animalis* Bb 12 (Chr. Hansen) son los cultivos más estudiados en la salud animal y humana; además se ha establecido su efectividad en diarreas producidas por rotavirus, *Clostridium difficile*, o de cuadros asociados con antibióticos (FAO/WHO, 2002).

Algunos de los efectos que se conocen de los probióticos en el hospedero incluyen el aumento de las funciones del epitelio intestinal, la protección contra el estrés, la modulación de la secreción de citocinas sobre las poblaciones de linfocitos T y el aumento de la secreción de anticuerpos (Thomas y Versalovic, 2010).

*Interacción entre los probióticos con el hospedero.* Los probióticos inducen cambios en los enterocitos mediante vías de señalización (Thomas y Versalovic, 2010). Algunos de esos cambios son la mejora de la función de la barrera intestinal (Zyrek *et al.*, 2007), interferir con microorganismos patógenos (Chen *et al.*, 2006), modular las vías de señalización y la supervivencia y proliferación de los enterocitos.

Otros mecanismos que se han postulado para algunos probióticos que favorecen la salud intestinal son la competencia por nutrientes limitados en el intestino, la inhibición de la adherencia de patógenos a la mucosa intestinal, la inhibición de la invasión de patógenos y la producción de sustancias antimicrobianas (Zyrek *et al.*, 2007).

Las bacteriocinas son sustancias proteicas de origen ribosomal (Klaenhammer, 1988). El mecanismo de acción de las bacteriocinas generalmente implica la formación de pequeños poros blancos en las bacterias que conducen a la fuga de moléculas componentes de las bacterias y provocan la muerte del microorganismo (Asaduzzaman y Sonomoto, 2009).

El *Saccharomyces cerevisiae* (Sc) es una levadura, anaerobia facultativa, con

un metabolismo oxidativo (fermentación); se reproduce por gemación o mitosis y es el microorganismo eucariota más estudiado; se conoce también como levadura de panadería (García, 2003). *Saccharomyces cerevisiae cepa Sc47* es considerada como probiótico; en animales sin microbiota se ha visto que llega a colonizar el tubo digestivo (Pérez Sotelo *et al.*, 2005).

Se ha usado en animales domésticos como el cerdo (Casarin y Forat, 1998); en bovino (Fuller, 1989); en caballo (Auclair, 1997); en borregos, en aves y conejos (Falcão *et al.*, 2007). La levadura tiene un crecimiento óptimo a un pH de 4.5 a 6.5, pero crece bien a un pH de 8.7; también pueden crecer a un pH de 3.0, y algunas especies toleran condiciones muy ácidas con un pH tan bajo de 1.5, lo que lo convierte en buenos candidatos para ser utilizados como probióticos ya que al entrar al tracto gastrointestinal puede resistir las variaciones de pH y de temperatura (Czerucka *et al.*, 2007).

En medicina humana se ha utilizado con fines profilácticos y terapéuticos, por su capacidad inmunomoduladora (Weber *et al.*, 1989). Así como un medicamento para controlar diarreas de origen inespecífico, incluso en casos de infecciones producidas por agentes resistentes a los antibióticos y antidiarreicos. Asimismo, ha funcionado como agente profiláctico para prevenir diarreas en personas que viajan constantemente a zonas insalubres; en diarreas producidas por las toxinas de *Clostridium difficile* (Castagliuolo *et al.*, 1999) o en pacientes con disentería producida por *Shigella flexneri*.

Por otra parte, *Saccharomyces cerevisiae cepa boulardii* ha demostrado modular la resistencia transepitelial a la *E. coli* T84 patógena, en su adhesión a la mucosa intestinal (Czerucka *et al.*, 2000); además, también *S. cerevisiae cepa boulardii* y *cepa Sc47* adhieren a su membrana bacterias como *E. coli* (EHEC) O 157 y *S. typhimurium* DT 104 (Gedek, 1999; Pérez Sotelo *et al.*, 2005) ayudando con esto a controlar las infecciones intestinales, constituyéndose en una excelente alternativa de tratamiento para aquellas diarreas donde no hay una respuesta favorable a los antibióticos.

Se ha demostrado que el Sc47 a nivel del íleon atraviesa la mucosa intestinal ayudado por las células M hacia las placas de Peyer, donde se estimula la producción de linfocitos TCD4, TCD8 y linfocitos B; además, los glucomanos de la pared celular del *S. cerevisiae* tienen dos funciones básicas ampliamente relacionadas: influir en la ecología microbiana del intestino y actuar sobre el sistema inmune (Pérez Sotelo *et al.*, 2011).

El TK está hecho a base de té verde (*Camellia sinensis*) que contiene cafeína, teína y polifenoles (taninos, lignina y flavonoides); fermentado por el hongo Kombucha es una bebida ligeramente dulce y ácida; se consume en todo el mundo. Históricamente tiene sus orígenes en China, Rusia y Alemania (Greenwalt *et al.*, 2000); se utiliza como terapia alternativa y se cree que puede tener beneficios profilácticos y terapéuticos en una amplia variedad de desórdenes fi-

siológicos como artritis, envejecimiento prematuro, enfermedades gastrointestinales y estimulación del sistema inmunológico (Hartmann *et al.*, 2000).

Hartman *et al.* (2000) analizaron el TK en Alemania y encontraron que es una simbiosis entre *Acetobacter xylinum* y varias levaduras entre las que se encuentran los géneros de *Brettanomyces*, *Zigosaccharomyces* y *Saccharomyces*, predominando como especie característica las levaduras del género *Brettanomyces*; además, de que se encontraron algunos crecimientos de levaduras como *Krucei* o *Issatchenkia* orientales/occidentales, así como *Apiculatus kloeckera* y *Hanseniospora*.

Se ha visto que el TK tiene un efecto antimicrobiano contra un número de microorganismos patógenos: *Staphylococcus aureus*, *Shigella hydrophila*, *Escherichia coli*, *Aeromona* spp, *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomona aeruginosa*, *Enterobacteria cloacae*, *Campylobacter jejuni*, *Shigella sonnei*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Helicobacter pylori*. Según la literatura en Kombucha, el ácido acético se considera responsable del efecto inhibitorio hacia un número de patógenos probados (Sreeramulu *et al.*, 2000).

En conejos, el desarrollo de la microbiota definitiva coincide con el desarrollo progresivo de la capacidad digestiva y de la producción de enzimas del gaza-po, lo que va a condicionar el desarrollo de la población cecal. El aumento de bacterias celulolíticas, amilolíticas, etc., va a depender de que estos nutrientes estén presentes en el ciego (De Blas *et al.*, 2006).

La microbiota presente en el intestino delgado es similar a la de otros mono-gástricos y está formada por bacterias aerobias y anaerobias, con presencia de coliformes, lactobacilos y otras enterobacterias. Esta microbiota endógena en condiciones normales vive en las criptas de las vellosidades intestinales, aprovecha los nutrientes del alimento, y sobre estas bacterias actúan los promotores del crecimiento como los antibióticos, controlando su población y dejando más nutrientes disponibles para el animal (De Blas *et al.*, 2006).

En particular, el conejo tiene un sistema digestivo que permite un alto consumo de alimento; separa los componentes digeribles y fácilmente fermentables presentes en la dieta, y permite eliminar rápidamente los residuos fibrosos (heces duras); este sistema también permite la reabsorción de nutrientes provenientes de la fermentación alimenticia producida en el ciego a través del consumo de heces blandas o cecotrofia (De Blas *et al.*, 2006). La microbiota cecal es muy compleja; está formada fundamentalmente por bacterias anaerobias, bacteroides, bifidobacterias, estreptococos, enterobacterias, clostridios y con pocas cantidades de coliformes generalmente pertenecen a la microbiota dominante del ciego o de la última porción del intestino. La microbiota cecal tiene una función positiva para el hospedero, porque las bacterias celulíticas rompen la fibra produciendo AGV (ácidos grasos volátiles); utilizan la proteína no digerida para formar proteína microbiana y en su metabolismo producen vitaminas liposolu-

bles, y también vitamina K, que posteriormente son asimilados por el conejo (De Blas, 1984).

En la cunicultura, las enfermedades infecciosas del sistema digestivo representan 71% del total de las enfermedades que afectan al conejo. Este porcentaje se ha incrementado en los últimos años como resultado de la reemergencia de enfermedades digestivas producidas por distintas cepas de *E. coli* resistentes a antimicrobianos. Estas enfermedades pueden llegar a causar hasta 60% de mortalidad y un aumento de la morbilidad, que causa retrasos en la finalización entre una y dos semanas (Carabaño, 2005).

Por último, en otras especies animales se han realizado estudios y progresos importantes; en cunicultura el papel que pudieran jugar los probióticos microorganismos vivos capaces de ejercer una función de inhibidor frente a ciertos patógenos, o los prebióticos alimentarios con capacidad inhibitoria directa contra patógenos, o bien los potenciadores de la microbiota intestinal beneficiosa, todo esto no ha sido explorado en cunicultura, como tampoco el *Saccharomyces cerevisiae* y Té Kombucha capaces de prevenir problemas entéricos (J. I. Badiola, J. González, A. M. Pérez de Rosas, “El uso de antimicrobianos en granjas cunícolas: necesidades de registro, uso prudente y medidas alternativas”, Congreso Ibérico de Cunicultura, Vila Real, Trã-sos-Montes, Portugal, 5-6 de junio de 2007).

Para profundizar en el conocimiento de los efectos de los probióticos en un modelo cunícola, se realizó una serie de trabajos de investigación en nuestro laboratorio, donde se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar el efecto que tiene el suplemento vía oral de los probióticos Té Kombucha hasta ahora de uso exclusivo en humanos y de levaduras Sc47 sobre parámetros productivos en conejos Nueva Zelanda Blanco, durante la etapa de engorde.
- Determinar el efecto del Sc47 y el TK sobre las poblaciones de bacterias coliformes aisladas de heces de conejo.
- Determinar el efecto de los probióticos (Té Kombucha y *Saccharomyces cerevisiae* Sc47) en la dinámica bacteriana del tubo digestivo del conejo y la identificación de cepas coliformes.
- Evaluar *in vitro* el efecto del sobrenadante de Sc47, TK y moco intestinal sobre poblaciones bacterianas aisladas.
- Evaluar el pH del tracto gastrointestinal del conejo tras el suplemento de los probióticos Sc47 y el TK.

## Material y métodos

Se describirán con base en los tres experimentos que se realizaron en un proyecto de investigación de los años 2013-2015.

### *Experimento 1*

*Estandarización de la dosis.* Para el Té Kombucha se utilizó un producto comercial, agitando levemente durante un minuto, se tomó un ml del producto y se realizó una dilución seriada en PBS (solución fosfática buferada pH 7.2) hasta  $10^{-4}$ ; de esta dilución se tomó 10  $\mu$ l y se colocó en la cámara de Neubauer para su conteo con un microscopio óptico a 400x.

Para el *Saccharomyces cerevisiae* se tomó como referencia los datos técnicos del producto utilizado, que garantizan una concentración de  $5 \times 10^9$  UFC/g; se pesaron 0.0070 g, que diluidos en 1.0 ml de agua destilada darían como resultado una concentración similar a la del TK; posteriormente, se realizaron diluciones seriadas hasta un factor de  $10^{-4}$ , de donde se obtuvo 10  $\mu$ l, y se colocaron en la cámara de Neubauer para realizar el conteo (hoja técnica Biosaf Saf-Agri Toluca, México).

*Fase experimental.* Se utilizaron 30 gazapos Nueva Zelanda de cuatro semanas de edad que no tuvieron contacto previo ni con antibióticos ni con probióticos; se pesaron y fueron asignados en tres tratamientos; se igualó el mismo peso en cada grupo; no se consideró el sexo; se utilizaron bebederos graduados y comederos con capacidad para dos kilogramos; se les suministró un alimento comercial; permanecieron en jaulas elevadas del piso, dentro de un lugar cerrado y bajo techo. Se les dosificó en el agua de bebida una suspensión de TK a una dosis de 2ml/kg PV (Vijayaraghavan *et al.*, 2000) como primer tratamiento para el grupo A y otra a base de levadura *Saccharomyces cerevisiae cepa Sc47* disuelta en agua destilada como segundo tratamiento para el grupo B, a razón de 2 ml/kg por animal a una concentración no menor de 77000 UFC/ml en ambos tratamientos; el grupo C de control o testigo sólo recibió agua y alimento comercial.

Para evaluar el efecto de los probióticos sobre parámetros productivos en engorde se realizó el pesaje de los animales cada siete días a partir del día uno del experimento hasta que los animales alcanzaron 72 días de vida; el alimento utilizado fue Conejina N de Purina; para precisar la cantidad de alimento consumido se pesó la cantidad de alimento ofrecido y rechazado diariamente. La cantidad de agua administrada en los grupos fue de acuerdo con la tabla de consumo reportada por la Real Escuela Oficial y Superior de Avicultura (1992).

Con la finalidad de determinar la presencia de coliformes fecales durante el uso de probióticos en el periodo de engorde, se colocaron bolsas asépticas debajo de las jaulas para la toma de muestras en cada uno de los grupos en los

días 0 (antes de iniciar el tratamiento), 15, 30, y 45; el día del sacrificio se tomaron muestras del ciego y con ellas se obtuvo los resultados del último muestreo; las muestras se procesaron de acuerdo con la norma NOM-113-SSA1-1994, Bienes y Servicios, Determinación de Bacterias Coliformes; Técnica de número más probable.

Se observaron diariamente a todos los animales para registrar presencia de diarrea y otras infecciones; al final del periodo de engorda, se pesaron los tres grupos y se sacrificaron de acuerdo con la NOM-033-ZOO-1995 Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres, por el método de degüello, para luego determinar el peso de las canales sin vísceras ni cabeza.

Para determinar si la adición del TK y el *Saccharomyces cerevisiae* tienen efectos tóxicos y sobre las microvellosidades intestinales que resulten nocivos en torno a la salud de los animales se tomaron muestras de tejidos como hígado, intestino delgado, colon y se mantuvieron en formol a 10% hasta su procesamiento (inclusión en parafina) para realizar cortes histológicos con tinción Hematoxilina Eosina.

Los resultados de conversión alimenticia se obtuvieron de acuerdo con la fórmula: consumo/ganancia diaria de peso; para la eficiencia alimenticia se utilizó la fórmula: conversión alimenticia  $\times$  100, y para la ganancia diaria de peso: peso inicial – Peso final/días experimentales. Para los promedios de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia y ganancia de peso se utilizó el análisis de varianza; la diferencia entre medias se comparó mediante una prueba de Tukey. Los resultados fueron evaluados mediante el paquete estadístico SAS para un diseño al azar.

## Experimento 2

*Fase I.* Se hizo igual que el anterior y sólo tuvo las siguientes variantes: los grupos se constituyeron como se menciona a continuación: Grupo A (adicionado con TK), Grupo B (adicionado con Sc), Grupo C (control).

El grupo A se trató con TK usando una marca comercial (Sanavid life®), al cual se administró una dosis de 2ml/KPV diluido en el agua de bebida diariamente. Al grupo B se le administró la cepa NCYC Sc47 (Biosaf Saf-Agri, Toluca, México) a una dosis de 0.03% diluido en agua de bebida.

*Fase II.* La toma de muestra se realizó en los días experimentales 0, 15, 30, 45, 60 y 75; las heces se obtenían de manera aséptica utilizando guantes de plástico mediante estimulación del esfínter anal hasta lograr un mínimo de 2 g de heces por cada conejo; a partir de ello se realizó un *pool* de heces por cada grupo experimental.

*Fase III.* De las muestras de heces, se tomó una asada por *pool* y se sembraron en medios de cultivos diferenciales y selectivos (agar nutritivo, agar verde bri-

llante, agar Mc Conkey y agar *Salmonella-Shigella*); se incubaron a  $35 \pm 2^\circ \text{C}$  por 24 horas. Las colonias aisladas se evaluaron con respecto a los protocolos de identificación bacteriana. Una vez identificadas las colonias Gram(-), se aislaron hasta obtener una cepa pura (Murray, 1995).

*Fase IV.* El análisis estadístico se llevó a cabo mediante las pruebas de mínimos cuadrados y de líneas de tendencias.

### *Experimento 3*

Se realizó un estudio experimental exploratorio, con un tamaño de muestra por conveniencia de 18 conejos de la raza Nueva Zelanda, en edad adulta de diferente sexo, con diferente peso corporal.

Los conejos fueron distribuidos al azar en tres grupos experimentales con seis conejos cada uno. Durante la distribución, no se consideró el sexo ni la edad. Los grupos se constituyeron como sigue: Grupo Control, Grupo Sc (tratamiento 1), Grupo Té Kombucha (tratamiento 2).

Todos los conejos recibieron un tratamiento con amoxicilina (15mg/kg de pv) administrado en el agua de bebida por tres días, y se consideró 15 días como periodo de retiro del medicamento y para restablecimiento de la microbiota intestinal; posteriormente, el tratamiento con probióticos fue de 21 días y se administraron como sigue:

El tratamiento 1 recibió levadura *Saccharomyces cerevisiae* cepa NCYC Sc47 (Biosaf, Saf-Agri, Toluca, México) a dosis de  $24 \times 10^9$  UFC/k de alimento consumido y diluido en el agua de bebida. El tratamiento 2, recibió un producto comercial de Té Kombucha (Sanavid Life), del cual se dosificó una suspensión de 2ml/kg de peso vivo diluido en el agua de bebida diariamente (Vijayaraghavan *et al.*, 2000).

*Fase I.* La toma de muestras se realizó en los días experimentales 0, 7, 14 y 21; las heces se obtenían mediante estimulación del esfínter anal hasta lograr un mínimo de 2 g de heces por cada conejo. Se realizaba un *pool* de heces por cada grupo experimental. Las muestras de heces obtenidas eran utilizadas para contabilizar las UFC de las bacterias totales y bacterias coliformes. Además se utilizaron muestras de heces del día 0 (día anterior antes de iniciar el tratamiento) y del día 21 (último día del experimento) para aislar e identificar los géneros bacterianos.

El conteo de UFC de coliformes fecales se realizó según la NOM-113-SSA1-1994 (Norma Oficial Mexicana, Bienes y Servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa). Cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio, por lo que los resultados se reportaron como UFC/g de muestra para su conteo.

Los microorganismos aislados se evaluaron según los protocolos convencionales de identificación con base en las características microscópicas y macros-

cópias de las colonias aisladas; se realizaron los protocolos convencionales y pruebas bioquímicas para la identificación bacteriana. Los géneros aislados fueron conservados en agar Müeller-Hinton para su posterior uso en pruebas de sensibilidad *in vitro* K.

*Fase II.* Se utilizó una cepa comercial de *Saccharomyces cerevisiae* Sc47 (Biosaf®, Saf-Agri, Toluca, México); se cultivó en medio líquido YPD (*yeast peptone dextrose*). Para observar la dinámica de crecimiento de la levadura en ambos medios, se midió el nivel de absorbancia mediante espectrofotometría con una densidad óptica de 625 nanómetros, para lo cual se tomaron alícuotas de 3 ml del cultivo a las 0, 2, 4, 8, 16, 24 horas, y cada 24 horas hasta las 192 horas; al final se tomaron alícuotas de 2 ml y se centrifugaron a 12 000 g a 4° C por 10 minutos; después se esterilizaron mediante filtración con membrana de polietersulfona (PES) con un tamaño de poro de 0.22 µm (Corning).

Se utilizó un producto comercial de Té Kombucha (Sanavid Life), del cual se obtuvieron alícuotas de 2 ml; se preparó una infusión de té verde para observar el efecto de la planta y los efectos del TK. Para lo cual se agregaron 2 g en materia seca de té verde (*Camellia sinensis*) en 100 ml de agua hervida y se dejó reposar 10 min (Yam *et al.*, 1998), y se tomaron alícuotas de 2 ml. Las alícuotas fueron centrifugadas a 12 000 g a 4° C por 10 minutos, después se esterilizaron mediante filtración con membrana de polietersulfona (PES) con un tamaño de poro de 0.22 µm (Corning).

Se evaluó la susceptibilidad de los sobrenadantes de los cultivos del *Saccharomyces* y del TK sobre los microorganismos aislados e identificados previamente, para lo cual los microorganismos se cultivaron en tubos con caldo infusión cerebro corazón (BHI) por 4 h; posteriormente los inóculos se ajustaban a una turbidez de 0.5 en la escala de McFarland y se sembraron en placas con agar Müeller-Hinton; posteriormente se colocaron 20 µl de los sobrenadantes de *Saccharomyces* y del Té Kombucha sobre el cultivo y se incubó a 35 ± 2°C por 24 h. Las zonas de inhibición que se presentaron fueron medidos en milímetros; la susceptibilidad de los microorganismos indicadores hacia los sobrenadantes fueron interpretados como susceptibles, intermedias y resistentes.

La susceptibilidad en tubo se realizó con diferentes concentraciones de sobrenadante de TK. Previamente los microorganismos aislados fueron estandarizados en caldo Müeller-Hinton a 0.5 en la escala de McFarland. Se agregaban 10 µl de estos inóculos en tubos con 3 ml de caldo Müeller-Hinton; en seguida se añadían en cada tubo diferentes cantidades (100, 200, 400 y 800 µl) de sobrenadante del TK respectivamente. Posteriormente se incubaron por 18 horas a 35 ± 2° C; a continuación se midió el nivel de absorbancia de cada tubo mediante espectrofotometría con una densidad óptica de 625 nanómetros.

*Fase III.* Al final de la fase experimental se sacrificaron dos conejos de cada grupo mediante la NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio humanitario de los animales

domésticos y silvestres; después de la evisceración se realizó un corte longitudinal a todo el tracto gastrointestinal y se analizó el pH de la mucosa mediante tiras indicadoras de pH. Posteriormente obtuvieron muestras de moco intestinal mediante un raspado de la mucosa; las muestras de moco se mantuvieron a 4° C, y en breve se centrifugaron a 14 000 g a 4° C por 20 minutos; en seguida se obtuvo el sobrenadante y se esterilizó mediante filtración con membrana de polietersulfona (PES) con un tamaño de poro de 0.22 µm (Corning).

El análisis estadístico del conteo total bacteriano en heces y el conteo de coliformes fecales se realizó mediante análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.95%. Los resultados de la susceptibilidad en placa se evaluaron mediante la prueba de  $ji^2$  con un nivel de significancia de 0.95 por ciento.

Las pruebas de campo se realizaron en las instalaciones de la unidad de producción cunícola de la posta zootécnica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, domicilio conocido, El Cerrillo Piedras Blancas, Municipio de Toluca, Estado de México.

Las técnicas de laboratorio se realizaron en el área de inocuidad alimentaria del Centro de Investigación de Estudios Avanzados en Salud Animal (CIESA-FMVZ-UAEM).

## Resultados

### *Fase I. Evaluación del consumo de alimento y ganancia de peso*

Desde el destete hasta el final de la fase experimental ningún conejo mostró indicio de diarrea o infección alguna; no hubo mortalidad en ninguno de los grupos.

*Consumo total de alimento por grupo.* En los tres grupos durante la fase experimental fue de 53.05kg para el grupo A, 51.55kg para el grupo B y 51.92kg para el grupo C; sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ).

*Consumo de alimento semanal por grupo.* Durante el experimento el grupo B tuvo un consumo muy homólogo al grupo C lo que evidencia su comportamiento a las condiciones naturales; el grupo A consumió más que los grupos B y C; solamente son diferencias numéricas.

*Comportamiento en ganancia de peso por semana por grupo.* Desde la primera semana hasta la sexta de experimentación, el grupo A fue el que alcanzó mayor peso, seguido del grupo B, y finalmente el grupo C, siendo sólo diferencias numéricas (cuadro 1).

*Rendimiento en canal.* El grupo tratado con *Saccharomyces cerevisiae* tuvo un rendimiento de 48.7% que es un 0.4% superior a los otros grupos; siendo esta diferencia numérica.

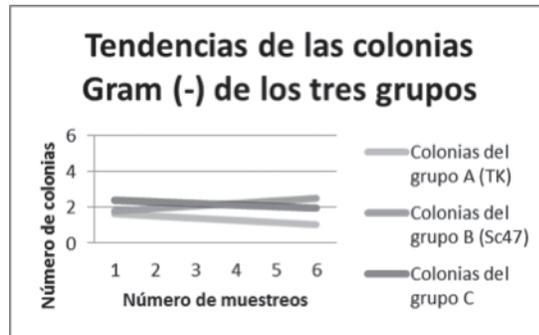
CUADRO 1. Registro de peso semanal por grupos en kilogramos

Grupo	Semana						
	0	1	2	3	4	5	6
A Té Kombucha	5.01	9.47	12.10	14.31	18.7	20.41	21.78
B Sc47	5.01	9.35	11.62	14.01	18.49	19.46	21.41
C Control	5.01	9.12	11.36	13.95	18.16	19.72	21.31

Fase II. Identificación de las colonias bacterianas

Conteo de colonias coliformes fecales durante el suministro de los probióticos Té Kombucha, *Saccharomyces cerevisiae* y control: se observó en el grupo A una eficacia mayor en la eliminación de UFC/g al pasar de  $232 \times 10^{-2}$  en el día 0, a 17 UFC/g (en dilución madre) en el día 42 experimental; el grupo B no mostró una clara eliminación de UFC/g, al pasar de 51 en el día 0 a  $12 \times 10^{-2}$  UFC/g (dilución madre) en el día 42 experimental. Comparado con el grupo C que se desarrolló en condiciones naturales (figura 1).

FIGURA 1. Comparación de las tendencias del número de colonias Gram- aisladas de los grupos tratados con A y B, con respecto al grupo C



Durante la investigación se aislaron 34 cepas bacterianas Gram (-) dentro de los tres grupos de trabajo, de las cuales se identificaron como *Citrobacter intermedius*, *E. coli*, *Alcaligenes faecalis*, *Yersinia* spp, *Salmonella Arizonae*, *Serratia marcescens*, *Flavobacterium* spp, *Vibrio cholerae*, *Serratia liquefaciens*, *Erwinia herbicola*, *Aeromonas* spp y *Proteus vulgaris* (cuadro 3). Con estos datos se evidencia el tipo de flora microbiana que pudieran tener los conejos de forma natural.

En cuanto al conteo total bacteriano en heces, sólo se observaron algunas diferencias numéricas en los tres grupos experimentales; no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ) entre el número de UFC/g de colonias bacterianas de los grupos (cuadro 2).

CUADRO 2. Promedio de UFC de colonias bacterianas por gramo de heces de conejos tratados y no tratados.

Grupo	Día de muestreo			
	1 Día 0	2 Día 7	3 Día 14	4 Día 21
Control <sup>a</sup>	$27 \times 10^{-3}$	$25 \times 10^{-3}$	$29 \times 10^{-3}$	$38 \times 10^{-3}$
Sc <sup>a</sup>	$16 \times 10^{-3}$	$17 \times 10^{-3}$	$26 \times 10^{-3}$	$17 \times 10^{-3}$
TK <sup>a</sup>	$22 \times 10^{-3}$	$14 \times 10^{-3}$	$16 \times 10^{-3}$	$18 \times 10^{-3}$

<sup>a</sup> no hay diferencias estadísticas entre grupos ( $P > 0.05$ ).

CUADRO 3. Microorganismos fecales aislados de conejos, antes de recibir probióticos (primer muestreo), y microorganismos fecales aislados a 21 días del suministro de probióticos (segundo muestreo)

Muestreo	Grupos		
	Control	Sc	TK
Primero (Día 1)	<i>Acinetobacter</i>	<i>Serratia</i> spp	<i>Serratia</i> spp
	<i>Actinobacillus</i> spp	<i>Actinobacillus</i> spp	<i>Salmonella</i> spp
	<i>Serratia</i> spp	<i>Pseudomonas</i> spp	<i>Pasteurella</i> spp
Segundo (Día 21)		<i>Alcaligenes</i> spp	<i>Actinobacillus</i> spp
		<i>Pasteurella</i> spp	<i>Yersinia</i> spp
	<i>Actinobacillus</i> spp	<i>Serratia</i> spp	<i>Serratia</i> spp
	<i>Serratia</i> spp	<i>Actinobacillus</i> spp	<i>Salmonella</i> spp
	<i>Alcaligenes</i> spp	<i>Pseudomonas</i> spp	<i>Actinobacillus</i> spp
	<i>Salmonella</i> spp	<i>Alcaligenes</i> spp	<i>Escherichia coli</i>
	<i>Yersinia</i> spp	<i>Plesiomona</i> spp	
<i>Pasteurella</i> spp	<i>Salmonella</i> spp		
	<i>Moraxella</i> spp		
	<i>Escherichia coli</i>		

### *Fase III. Evaluación de la sensibilidad in vitro de los sobrenadantes*

*Prueba de susceptibilidad en placa.* En esta prueba se observó que los sobrenadantes del Sc (YPD, agua, azúcar y peptona), no produjeron ningún efecto sobre los microorganismos probados; sin embargo, en los cultivos de *Serratia* spp y *Acinetobacter* se observó una susceptibilidad intermedia con el sobrenadante del YPD.

Se observó que con el sobrenadante del té verde se inhibió el crecimiento de los microorganismos aislados; sin embargo, con el sobrenadante del Té Kombucha se produjo un efecto más marcado que el té verde solo. En el caso del sobrenadante del té verde y Té Kombucha solo el género *Moraxella* spp fue resistente, las zonas de inhibición del TK y las del Sc son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

*Prueba de susceptibilidad en tubo.* En esta prueba se observó que la adición de 100  $\mu$ l de TK al medio de cultivo de los géneros *Escherichia coli*, *Plesiomona* spp, *Serratia* spp, *Salmonella* spp, favoreció su crecimiento y conforme se aumentó la dosis de TK se disminuyó el crecimiento de estas bacterias, en contraste con los demás géneros aislados, al adicionar sólo 100  $\mu$ l de TK se suprimía su crecimiento.

### *Fase IV. Evaluación del tracto gastrointestinal*

*Evaluación del pH del tracto gastrointestinal.* Se observó que en los conejos que recibieron *Saccharomyces*, el pH de la mucosa del estómago en la región del cardias y la región fundida se encontraba ligeramente neutro, mientras que el grupo que recibió TK y el grupo control se mantuvieron en niveles ácidos; los valores de pH del resto del tracto digestivo se mantuvieron similares en los tres grupos.

*Evaluación in vitro del sobrenadante del moco intestinal.* Durante este análisis sólo se obtuvieron cantidades mínimas de sobrenadantes del moco intestinal de cada uno de los segmentos muestreados; estos sobrenadantes se probaron en dos microorganismos que fueron aislados en heces (*Escherichia coli* y *Acinetobacter*). Se observó que el género *E. coli* fue susceptible al sobrenadante del moco intestinal de las diferentes secciones del intestino, y fue más evidente con el sobrenadante del moco de las secciones del íleon de los tres grupos; en el caso del género *Acinetobacter* se llegaron a notar pequeños halos de inhibición con el sobrenadante del moco de yeyuno e íleon del grupo control y de yeyuno del grupo TK.

## Discusión

Los conejos del grupo TK alcanzaron el peso comercial de dos kilogramos de peso vivo en menor tiempo debido a un consumo de alimento mayor en menor tiempo. Esto puede estar asociado a los efectos de los microorganismos y/o metabolitos del TK por la modificación de la microbiota intestinal mejorando el aprovechamiento de la dieta para obtener mejores ganancias en peso vivo (Falcão *et al.*, 2004), además del contenido nutrimental del TK (azúcares, vitaminas y proteínas). En un modelo murino con suministro de TK, igualmente se demostró un aumento en el consumo de alimento y se asoció a un aumento de la actividad física de los ratones (Hartmann *et al.*, 2000). En este estudio no se observó dicho efecto, por lo que se aduce que el mayor consumo de alimento no fue relacionado con la actividad física de los animales.

Los mecanismos que aumentan el consumo y la modulación de la flora bacteriana intestinal al suministrar TK no están bien conocidos. A diferencia de lo explicado, en estudios realizados con levaduras como el Sc47 relacionan el control de coliformes fecales con la presencia de mananos en la pared de éstas, formando aglomerados bacterianos que facilitan la expulsión de ciertos géneros de bacterias del intestino (Pérez Sotelo *et al.*, 2005a).

Otros estudios *in vitro* han demostrado que el TK tiene efecto bactericida sobre algunos patógenos: *Staphylococcus aureus*, *Shigella hydrophila*, *Escherichia coli*, *Aeromona* spp, *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomona aeruginosa*, *Enterobacteria cloacae*, *Campylobacter jejuni*, *Shigella sonnei*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* y *Helicobacter pylori*; esto se ha relacionado con el contenido de ácido acético y el ácido láctico que disminuyen el pH del té (Sreeramulu *et al.*, 2000). Es posible que los efectos inhibidores del TK pudieran persistir dentro del intestino y haber tenido un efecto modulador de la microbiota intestinal de los conejos estudiados. Se ha postulado que el consumo del TK estimula al intestino en la producción de algunas proteínas con efecto bactericida (defensinas) que puedan participar en la modulación bacteriana intestinal (Vidjaya *et al.*, 2007).

Los resultados obtenidos en el grupo B difieren con los reportados por Maertens (1996), los que demostraron que el Sc47 utilizado en conejos mejoró el consumo de alimento y la ganancia diaria de peso. La diferencia entre los resultados de estos trabajos puede estar influenciada por la dosis más alta de *Saccharomyces* que ellos utilizaron. Sin embargo, hallazgos similares hemos obtenido en cerdos suplementados con 0.03% de Sc47 en la dieta, donde a pesar de que se aumentó la ganancia de peso con un menor consumo de alimento no hubo diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ) con el grupo control (Pérez Sotelo *et al.*, 2005b). El mecanismo por el cual los animales tratados con *Saccharomyces cerevisiae* mejoran su crecimiento y su metabolismo puede estar asociado a la

presencia de enzimas, proteínas, oligosacáridos y otros metabolitos que son producidos por la levadura (Van der Peet Schwering *et al.*, 2007). Otro mecanismo posible del *Saccharomyces* asociado a los beneficios en los parámetros productivos es la disminución de patógenos intestinales por los mecanismos antes descritos (Pérez Sotelo *et al.*, 2005b).

El consumo de Sc47 indujo un ligero aumento en el número de UFC de coliformes de los conejos. Esto difiere de otras observaciones en cerdos, donde se encontró una disminución de UFC de coliformes (Pérez Sotelo *et al.*, 2005b). Estas diferencias podrían estar asociadas a la composición de la microbiota intestinal entre las especies; ya que en los cerdos la población de coliformes fecales es mayoritaria, mientras que en los conejos es minoritaria.

La dinámica bacteriana observada en el grupo C puede estar asociada a cambios normales durante el desarrollo del animal, donde las colonias bacterianas tanto Gram(-) como Gram(+) tienden a disminuir. Las colonias Gram(+) son adquiridas por vía oral a partir de los pezones de la madre, la leche y el material del nido y disminuyen cuando el gazapo comienza a alimentarse a base de sólidos (Aghina, 1989).

En el grupo A, la tendencia a la baja en el número de colonias Gram(-) fue más marcado que en el grupo C; esto pudo deberse al efecto de algunos metabolitos producidos en el proceso de fermentación en la producción del TK; como el ácido úsnico, que tiene propiedades antimicrobianas sobre algunas bacterias Gram- (Bargellini, 1946). Otro metabolito es el ácido glucurónico que induce la producción de interferón gamma (IFN) que regula infecciones bacterianas mediante la activación de los macrófagos (Frank, 1996). Además, en la fermentación del TK, la oxidación de etanol produce ácido acético por *Acetobacter*; este ácido al ser consumido modifica el pH gástrico, lo que puede provocar una disminución del número de colonias Gram(-) (Sreeramulu *et al.*, 2000). Esta regulación puede a su vez inducir la exclusión competitiva entre bacterias, lo cual pudo ocasionar la disminución de *Yersinia* spp, *Vibrio cholerae*, *Flavobacterium*, *Serratia marcescens* y *Erwinia herbicola* y suprimir algunas colonias como *E. coli* y *Salmonella arizonae*. Se ha demostrado un efecto antimicrobiano en pruebas en placa por moléculas presentes en el TK sobre algunos géneros como *Shigella sonnei*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Plesiomona* spp, *Serratia* spp, *Salmonella* spp, *Yersinia* spp, *Acinetobacter*, *Pseudomonas* spp, *Actinobacillus* spp, *Moraxella* spp, y *Alcaligenes* spp. (Sreeramulu *et al.*, 2000). En otro estudio se demostró que el sobrenadante del té verde (componente del TK) tiene efectos inhibitorios sobre algunos géneros bacterianos que se asocian al contenido de catequinas polifenólicas (Taylor *et al.*, 2005). Además, se ha observado un sinergismo entre el té verde y los metabolitos del TK que hacen que este último presente mayor efecto bactericida (De la Cruz *et al.*, 2012). El grupo B indujo igualmente una modula-

ción de bacterias intestinales aunque diferente de los otros grupos. El Sc47 puede acidificar el pH gástrico y limitar la proliferación de bacterias coliformes patógenas y no patógenas y favorecer a otras bacterias (Brooks, 1987) a través del efecto de bioregulación por exclusión competitiva (Carrizo, 2003).

El consumo de estos probióticos modula el crecimiento de colonias bacterianas coliformes, lo que induce a una microbiota más estable y más sana, a través de diferentes mecanismos de acción. En cuanto a la identificación de las colonias bacterianas, los resultados después del suministro de los probióticos TK y Sc47 demostraron que estos probióticos ejercen efectos diferentes en las colonias bacterianas identificadas. Uno de los posibles mecanismos de acción que pudieron ejercer el TK y el Sc47 sobre las colonias bacterianas es que pueden producir moléculas antimicrobianas posiblemente bacteriocinas, las cuales pueden modular el crecimiento de las colonias bacterianas y ayudar a reducir los niveles de microorganismos patógenos (Fernández, 2005). Esta regulación puede a su vez inducir la exclusión competitiva entre especies, lo cual ocasionó la disminución de *Yersinia* spp, *Vibrio cholerae*, *Flavobacterium*, *Serratia marcescens* y *Erwinia herbicola* y suprimir algunas colonias como *E. coli* y *Salmonella arizonae*. Se ha demostrado un efecto antimicrobiano de moléculas presentes en el TK sobre algunos géneros como *Shigella sonnei*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Plesiomona* spp, *Serratia* spp, *Salmonella* spp, *Yersinia* spp, *Acinetobacter*, *Pseudomonas* spp, *Actinobacillus* spp, *Moraxella* spp, y *Alcaligenes* spp, utilizando solamente el sobrenadante del TK en pruebas en placa (Sreeramulu *et al.*, 2000; De la Cruz *et al.*, 2012). En otro estudio se observó que al evaluar el sobrenadante del té verde (componente del TK) éste por sí solo presenta efectos inhibitorios sobre algunos géneros bacterianos, lo cual se asocia al contenido de catequinas polifenólicas (Taylor *et al.*, 2005). Sin embargo, se observó que hay un sinergismo entre el té verde y los metabolitos del TK que hacen que este último presente mayor efecto bactericida (De la Cruz *et al.*, 2012). El sobrenadante de Sc47 en medios líquidos no produjo inhibición de crecimiento bacteriano, suponiendo la ausencia de metabolitos en la participación de los mecanismos de modulación bacteriana. Probablemente hay otros mecanismos de acción del Sc47 y de las contenidas en el TK que evitan la adherencia de algunas bacterias patógenas al epitelio del tracto gastrointestinal. Además, algunas bacterias presentan afinidad a la manosa y se adhieren a la levadura por lo que son eliminadas (Emod, 1990; Gedek, 1999).

Otros posibles mecanismos que deben ser explorados sobre la modulación bacteriana intestinal es la respuesta inmune innata como la producción de péptidos antimicrobianos ( $\alpha$ -defensinas) por las células de Panneth en respuesta a algunos metabolitos de los probióticos suministrados (Dermott, 2007). También la respuesta inmune adaptativa mediante diversas vías de señalización en los macrófagos, ya que suprimen los efectos inflamatorios mediante la inhibi-

ción de la señalización del NFκB, la reducción de la secreción de citocinas pro inflamatorias (Thomas y Varselovic, 2010), dejando una mucosa intestinal menos inflamada, lo que permite una mejor absorción de los nutrientes.

Otro mecanismo de acción de los probióticos es la inhibición de la apoptosis que inducen algunas bacterias patógenas en los enterocitos, ayudándolos a permanecer su periodo de vida normal evitando el acortamiento acelerado de las vellosidades y como consecuencia se tengan vellosidades más largas y con una mayor superficie de absorción de alimento (Czerucka *et al.*, 2000). Esto podría explicar la ganancia de peso en menos días en los animales que consumieron probióticos.

## Conclusiones

El TK hizo alcanzar el peso comercial (dos kilogramos) de los gazapos en menor tiempo que los grupos B y C. Ambos probióticos modificaron la composición de la microbiota y de las coliformes fecales. La inclusión de estos probióticos en la dieta de los conejos puede representar una alternativa para sustituir el uso de antimicrobianos como promotores del crecimiento en la alimentación de conejos. Con los resultados obtenidos podemos sugerir la inclusión de estos probióticos en la dieta de los conejos para sustituir el uso de antibióticos como promotores del crecimiento, dando con ello respuesta a la producción animal sustentable 100% natural y evitar la resistencia bacteriana a los antibióticos. Aunque se requiere realizar otros estudios a diferentes dosis de ambos probióticos en la dieta para encontrar la dosis más económica.

## Bibliografía

- Aghina, C. (1989), "Cría del conejo", Ediciones CEAC, Barcelona, España. pp. 115-123.
- Asaduzzaman, S. M., y K. Sonomoto (2009), "Lantibiotics: Diverse Activities and Unique Modes of Action", *J. Biosci. Bioeng.*, 107: 475-487.
- Auclair, E. (1997), "Mechanisms of Action of *Saccharomyces cerevisiae* Biosaf Sc47 in Monogastric Species. Microbiology Applied to Animal Nutrition", México.
- Bargellini, G., G. del Pianio y B. Martini-Bettólo (1946), "Sull'attività antibatterica di due acidi lichenici: acido usnico ed acido vulpinico", *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei*, vol. 1, fasc. 12, pp. 1252-1205.
- Blas, C. de, (1984), *Alimentación del conejo*, Mundi Prensa, Madrid, España.
- Blas, O. de, I. Gutiérrez y R. Carabaño (2006), "Destete precoz en gazapos, situa-

- ción actual y perspectivas. Avances en nutrición y alimentación”, XV Curso de Especialización FEDNA, Madrid, España, pp. 1-14.
- Brooks, D. L. (1978), “Destete precoz en gazapos. Situación actual y perspectivas”, tesis doctoral, Universidad de California.
- Cagigas Rey, A. L. de las, y Ernesto J. Blanco (2002), “Prebióticos y probióticos, una relación beneficiosa”, Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos, *Revista Cubana Aliment. Nutr.*, 16 (1): pp. 63-68.
- Carabaño, R. (2005), “Nuevas tendencias en la alimentación de conejos: influencia de la nutrición sobre la salud intestinal”, XXI Curso de Especialización FEDNA, Madrid, España, pp. 88-119.
- Carrizo, M. J. (2003), “Equilibrio en la flora intestinal del conejo”, *Cunicultura*, Madrid, España, pp. 323-326.
- Casarín, A., y M. Forat (1998), “Resultados de pruebas con el uso de levaduras en dietas para cerdos”, II Seminario de Microbiología Aplicada a la Nutrición Animal”, México.
- Castagliuolo, I., M. F. Riegler, L. Valenick, J. T. LaMont y C. Pothoulakis (1999), “*Saccharomyces boulardii* Protease Inhibits the Effects of *Clostridium Difficile* Toxins A and B in Human Colonic Mucosa”, *Infect Immun.*, 67: 302-307.
- Chen, X., E. G. Kokkotou, N. Mustafa, K. R. Bhaskar, S. Sougioultzis, M. O’Brien, C. Pothoulakis y C. P. Kelly (2006), “*Saccharomyces boulardii* Inhibits ERK/2 Mitogen-activated Protein Kinase Activation both *In Vitro* and *In Vivo* and Protects against *Clostridium Difficile* Toxin A-Induced Enteritis”, *J. Biol. Chem.*, 28 (1): 24449-24454.
- Cruz, B. A. de la, S. L. S. Pérez, G. B. A. E. Díaz y M. R. C. Fajardo (2012), “Efecto de *Saccharomyces cerevisiae* y Té Kombucha sobre poblaciones de coliformes en conejos”, tesis de maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Czerucka, D., S. Dahan, B. Mograbi, B. Rossi y P. Rampal (2000), “*Saccharomyces boulardii* Preserves The Barrier Function and Modulates the Signal Transduction Pathway Induced in Enteropathogenic *Escherichia coli*-Infected T84 Cells”, *Infect Immun.*, 68: 5998-6004.
- Dermott, A. M. (2007), “Péptidos catiónicos antimicrobianos. ¿Una futura opción terapéutica?” *Arch. Soc. Esp. Oftalmol.*, 82: 469-470.
- Diario Oficial de la Federación* (1997), “NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres”.
- Diario Oficial de la Federación* (1995), “NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
- Emod, J., e I. Joo (1990), “Non-specific” Resistance Changing Activity of Zymosan in Experimental Bacterial Infections”, *Acta Microbiol. Hung.* 37 (2): 187-192.

- Falcão, C. L., S. L. Castro, L. Maertens, M. Marounek, V. Pinheiro, J. Freire y J. L. Mourão (2007), "Alternatives to Antibiotic Growth Promoters in Rabbit Feeding: A Review", *World Rabbit Sci.* 15: 127-140.
- Fernández, D. A. (2005), "Producción inducible de lactococina A, pediocina PA-1, colicina V e interleuquina-2 en cepas de *Lactococcus lactis* productoras de nisina", tesis doctoral, Universidad Complutense, Madrid, España.
- Frank Günther, W. (1996), "El Té Kombucha", en <http://www.kombu.de/spanish2.htm>. Consultado el 8 de agosto de 2009.
- Fuller, R. (1989) "Probiotics in Man and Animals", *J. Appl. Bacteriol.*, 66 (5): 365-378.
- Gedek, B. R. (1999), "Adherence of *Escherichia coli* Serogroup O 157 and the *Salmonella typhimurium* mutant DT 104 to the Surface of *Saccharomyces boulardii*", *Mycoses*, 42 (4): 261-264.
- Greenwalt, C. J., K. H. Steinkraus, y R. A. Ledford (2000), "Kombucha, the Fermented Tea: Microbiology, Composition, and Claimed Health Effects", *J. Food. Prot.*, 63 (7): pp. 976-981.
- Hartmann, A. M., L. E. Burleson, A. K. Holmes y C. R. Geist (2000), "Effects of Chronic Kombucha Ingestion on Open-field Behaviors, Longevity, Appetitive Behaviors, and Organs in c57-bl/6 Mice: A Pilot Study", *Nutrition*, 16 (9): 755-761.
- Klaenhammer, T. R. (1988), "Bacteriocins of Lactic Acid Bacteria", *Biochimie*, 70: 337-349
- Murray, P. D. (1995), "Manual of Clinical Microbiology", American Society of Microbiologists, 6ª ed., USA.
- Peet-Schwering, C. M. C. van der, A. J. M. Jansman, H. Smidt e I. Yoon (2007), "Effects of Yeast Culture on Performance, Gut Integrity, and Blood Cell Composition of Weanling Pigs", *J Anim. Sci.*, 85: 3099-3109.
- Pérez, L. S. (2005), "Evaluación *in vitro* de la capacidad de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47 para adherir a su pared *Salmonella* spp.", *Rev. Latinoam. Microbiol*, 47 (3-4): 70-75.
- Pérez, S. L., G. Vaughan, R. Fajardo, Y. González, H. Monroy, y J. C. Vázquez (2011), "Modulator Effects of Dietary Supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* on Coliform Counts, Adaptive General Immunologic Response and Growth-performance in Pigs", *Indian J. Anim. Nutr.*, 28 (2): 191-197.
- Pérez, S. L. S. (2005), "Respuesta inmune en cerdos suplementados con *Saccharomyces cerevisiae* (Sc47) y desafiados con *Salmonella typhimurium*", tesis para obtener el grado de doctor en ciencias agropecuarias y recursos naturales, Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

- Sreeramulu, G., Y. Zhu y W. Knol (2000), "Kombucha Fermentation and its Antimicrobial Activity", *J. Agric. Food Chem.*, 48 (6): 2589-2594.
- Taylor, W. P., M. T. J. Hamilton Miller y D. P. Stapleton (2005), "Antimicrobial Properties of Green Tea Catechins", *Food Sci. Technol. Bull.*, 2: 71-81.
- Thomas, C. M., y J. Versalovic (2010), "Probiotics-host Communication: Modulation of Signaling Pathways in the Intestine", *Gut. Microbes.*, 1 (3): 148-163.
- Velásquez Flores, F. J. (2012), "Uso de probióticos en la producción de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de alevinaje, bajo un sistema de recirculación cerrada", Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias Sangolquí, informe técnico del proyecto de investigación.
- Vijayaraghavan, R., M. Singh, P. V. Rao, R. Bhattacharya, P. Kumar, K. Sugendran, O. Kumar, S. C. Pant y R. Singh (2000), "Subacute (90 Days) Oral Toxicity Studies of Kombucha Tea", *Biomed. Environ. Sci.*, 13 (4): 293-299.
- Vidjaya, L. P., P. K. Venkata, C. Mohan, D. Prathiba, Y. Hara y S. Nagini (2007), "Comparative Evaluation of Antiproliferative, Antiangiogenic and Apoptosis, Inducing Potential of Black Tea Polyphenols in the Hamster Bucal Pouch Carcinogenesis Model", *J. Carcinog.* 6 (16): 1-13.
- Weber, G., A. Adamczyk y S. Freytag (1989), "Treatment of Acne with a Yeast Preparation", *Fortschr Medicine*, 107 (26): 563-566.
- WHO/FAO (2002), "Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food", Londres/Ontario.
- Zyrek, A. A., C. Cichon, S. Helms, C. Enders, U. Sonnenborn y M. A. Schmidt (2007), "Molecular Mechanisms Underlying the Probiotic Effects of *Escherichia coli* Nissle 1917 Involve ZO-2 and PKCzeta Redistribution Resulting in Tight Junction and Epithelial Barrier Repair", *Cell. Microbiol.*, 9: 804-816.



# FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



# Los cultivos asociados y la eficiencia en el uso del agua, radiación y nutrimentos

EDGAR JESÚS MORALES ROSALES,<sup>1</sup>  
JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SANDOVAL<sup>1</sup>  
CARLOS GUSTAVO MARTÍNEZ RUEDA<sup>1</sup>

## Resumen

En este capítulo se realiza una revisión de la importancia de los cultivos asociados y de la eficiencia en el manejo de los insumos para la producción agrícola. Una de las ventajas atribuidas a los cultivos múltiples es el aprovechamiento en el uso de los recursos (agua, luz, nutrimentos) respecto a los monocultivos. Investigadores han observado en diversas combinaciones de cultivos de especies diferentes, como se complementan mutuamente, especialmente cuando se eligen plantas que difieren en su morfología, hábitos de crecimiento, fisiología, etc. En esta recopilación, se evidencia que los cultivos asociados, como parte fundamental de la agricultura sostenible, constituyen una opción en la producción e incremento de alimentos, respetando al máximo el ecosistema donde se establecen.

## Introducción

Los cultivos asociados son el resultado del conocimiento adquirido por los agricultores a través del tiempo, de las condiciones ecológicas, de las limitaciones de recursos y de la satisfacción de sus necesidades alimenticias ante situaciones difíciles donde los insumos para la producción agrícola son escasos. Los cultivos asociados ofrecen una buena alternativa por su alto potencial de producción y por el uso más eficiente de los recursos. Vandermeer (1989) propuso dos principios que intentan explicar la mayor eficiencia en el uso de los recursos en los cultivos asociados comparados con sus respectivos monocultivos: el principio de producción competitiva y el principio de complementación.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, México, C. P. 50200

## Importancia

En México, la práctica de sembrar diferentes especies compartiendo simultáneamente un mismo terreno se ha realizado desde tiempos anteriores a la Conquista; la gran diversidad de factores agroecológicos a que están sujetas las regiones agrícolas a lo largo y ancho del territorio nacional han propiciado el desarrollo de diferentes sistemas de asociación de cultivos de ciclo corto y diferentes patrones de intercalación en las plantaciones de cultivos perennes, ya sea arbustivos y/o arbóreos (Martínez, 1997).

La asociación de especies es una práctica que se ha extendido a otros países debido a los beneficios potenciales que el sistema de producción representa para la agricultura sostenible (Willey, 1990). Li *et al.* (2003) indican que con este sistema de producción hay una mayor eficiencia en el uso del agua, más nutrientes y mayor energía solar, lo que redundará en un aumento en la producción en relación con los “cultivos solos”.

En Asia, particularmente en la India, 90% de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) se produce intercalado con otras especies; en el noroeste de China este tipo de sistema de producción es fundamental en la producción de alimentos (Li *et al.*, 1999). En Centroamérica, aproximadamente 85% de sorgo y maíz (*Zea mays* L.) son producidos simultáneamente con otros cultivos, y en México, 30% de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se realiza en asociación con el maíz (Sagarpa, 2002).

Los cultivos asociados se practican desde tiempos muy antiguos en regiones tropicales de países en desarrollo. Si bien en zonas templadas esta práctica no es frecuente, recientemente ha despertado el interés de los investigadores probablemente por las posibilidades que brinda para incrementar la productividad de los suelos y hacer un uso más eficiente de los recursos. Es por lo tanto una herramienta ecológicamente apropiada para reducir el uso de los insumos externos (Morales *et al.*, 2006). Los cultivos múltiples y su papel en el marco de una agricultura sostenible se basan en dos grandes aspectos: mayor eficiencia en el uso de los recursos y mejor comportamiento (estabilidad) ante la presencia de factores bióticos y abióticos (Sarandón y Chamorro, 2003).

En síntesis, el cultivo múltiple es la forma más antigua de agricultura, y de hecho se mantiene como práctica habitual en muchas zonas del trópico y áreas marginales. En los países más desarrollados la importancia de este sistema de producción se ha ido reduciendo hasta prácticamente desaparecer a lo largo del siglo xx (Villalobos *et al.*, 2002).

## Distribución espacial y temporal

La distribución en “espacio” y “tiempo” de las especies define las características de un sistema de cultivo (Villalobos *et al.*, 2002). Loomis y Connor (2002) lo

definen como el conjunto de cultivos y prácticas de manejo de una parcela. En los sistemas de producción agrícola se encuentran el monocultivo y los cultivos asociados; el primero es característico de amplias zonas de los Estados Unidos y se basa en altos insumos de energía y fertilizante (figura 1a). El segundo, los cultivos asociados, se puede establecer en el tiempo o en el espacio. El término cultivos asociados comprende muchos tipos de sistemas de cultivo que tienen en común su diversificación en el tiempo y/o espacio (figura 1b). Un ejemplo del monocultivo es el sistema de cultivo secuencial o de rotación, en el que dos o más cultivos se suceden en la misma parcela. En este caso, la diversificación se realiza sólo en el tiempo. En el caso del sistema de cultivo asociado o mixto dos o más especies se cultivan simultáneamente en la misma parcela, lo que da lugar a una diversificación en el tiempo y en el espacio.

FIGURA 1. Girasol para la producción de aceite (*Helianthus annuus L.*) sembrado en unicultivo (a), maíz asociado con frijol (b) (tomado de Martínez, 1997, y Morales et al., 2006).



a)

b)

Típicamente los cereales como maíz, sorgo, mijo y otros cultivos como el girasol, son especies que comúnmente se asocian con leguminosas (frijol, cacahuate, soya). Las diferencias entre estos cultivos y las leguminosas en características morfológicas, tales como la estructura del dosel, el sistema radical y las diferencias fisiológicas (punto de saturación de luz), indican que los cultivos componentes de la asociación (cereales y leguminosas) tienen un comportamiento diferencial en el uso espacial y temporal de los recursos ambientales. Por estas razones se piensa que el aprovechamiento de los insumos (radiación solar, agua y nutrientes) por parte de las especies asociadas es mejor (Tsubo *et al.*, 2003) (figura 2a y 2b).

FIGURA 2. Un mayor número de plantas  $ha^{-1}$ , genera una mayor cubierta vegetal que permite al sistema de producción asociado (b) una mejor utilización de los recursos que el sistema de producción en unicultivo (a) (tomado de Morales et al., 2006).



a) Frijol

b) Girasol / frijol

Para medir la eficiencia en el uso del terreno y comparar las ventajas del cultivo asociado sobre el unicultivo, Willey y Osiru (1972) propusieron el concepto de *land equivalent ratio* (LER) —en español Razón equivalente del terreno (RET)—, el cual se define mediante la siguiente expresión:

$$RET = \frac{Y_{ij}}{Y_{ii}} + \frac{Y_{ji}}{Y_{jj}}$$

Donde:

$Y_{ij}$  y  $Y_{ji}$  = Rendimiento de los cultivos componentes  $i$  y  $j$  bajo condiciones de asociación.

$Y_{ii}$  y  $Y_{jj}$  = Rendimiento de los cultivos componentes bajo condiciones de unicultivo.

Ejemplo: una asociación de maíz y frijol produce  $800 kg ha^{-1}$  de maíz y  $600 kg ha^{-1}$  de frijol. Las dos especies, en unicultivo, producen  $1200$  y  $800 kg ha^{-1}$ , respectivamente.

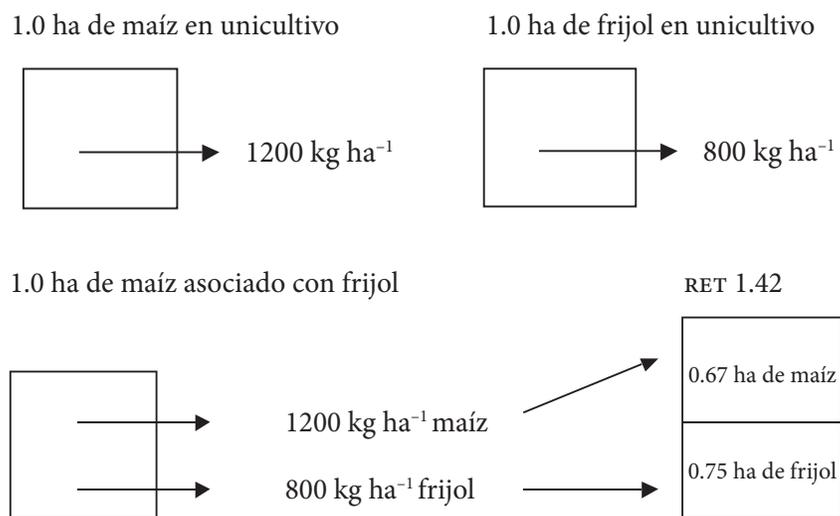
$$RET = \frac{800 kg ha^{-1}}{1200 kg ha^{-1}} + \frac{600 kg ha^{-1}}{800 kg ha^{-1}} = 1.42$$

Los resultados parciales de la RET para maíz y frijol son de 0.67 y 0.75, respectivamente, los cuales se obtuvieron al dividir 800 kg ha<sup>-1</sup> entre 1200 kg ha<sup>-1</sup> en maíz y 600 kg ha<sup>-1</sup> entre 800 kg ha<sup>-1</sup> en frijol.

Cuando la RET ≤ 1, no existen ventajas en la asociación sobre la siembra de los unicultivos. Sin embargo, cuando la RET es > 1, entonces se necesitará una mayor área de terreno por parte de los unicultivos para lograr el mismo rendimiento que cuando se utiliza la asociación de las especies componentes. En el ejemplo, la RET es igual a 1.42, esto indica que se necesita 42% más de superficie para alcanzar, en condiciones de unicultivo, un rendimiento similar al de cultivos asociados; lo anterior puede ilustrarse gráficamente en la figura 3.

Generalmente, para lograr valores de la RET superiores a 1 se requiere que los recursos suelo, agua y/o nutrimentos sean limitantes y que las especies que se establezcan de manera conjunta difieran tanto en su dosel como en su patrón de crecimiento radical.

FIGURA 3. Ilustración del significado de la razón equivalente de la tierra (tomado de Vandermeer, 1989).



### Eficiencia en el uso de los recursos

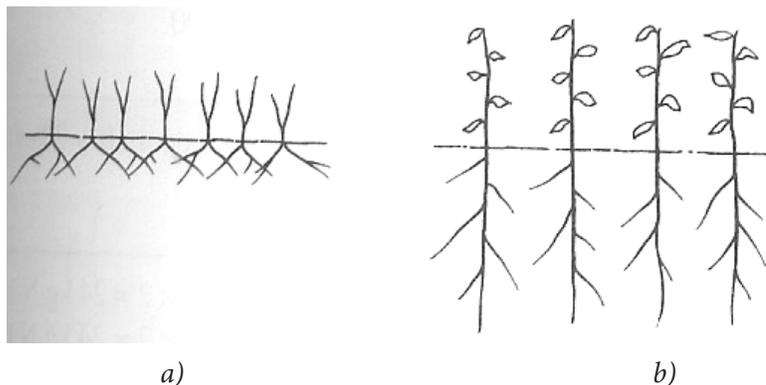
Una adecuada asociación de especies debería incrementar la producción por unidad de superficie al comparar este sistema con los cultivos solos. El rendimiento final de los cultivos componentes de la asociación es un indicador del éxito que se tiene para aprovechar los recursos bajo las condiciones ambientales específicas para un determinado patrón de cultivo. Dos aspectos son funda-

mentales para lograr que la asociación de especies tenga éxito: la competencia y la complementación. La siembra simultánea de dos o más especies es una de las prácticas de manejo agronómico que determina la capacidad de un cultivo o cultivos para aprovechar los recursos, pudiendo afectar de manera importante la interceptación de la radiación y el uso del agua. La competencia generada por cultivos que comparten un mismo espacio se define como un proceso mediante el cual los cultivos limitan el recurso mutuamente, de tal manera que éste no satisface su demanda y genera así una reducción en la supervivencia, el crecimiento y el rendimiento de las plantas individuales del cultivo o su fecundidad. Se pueden mencionar dos tipos de competencia: *interespecífica*, es decir, entre individuos de especies diferentes, e *intraespecífica*, entre individuos de la misma especie (Loomis y Connor, 2002; Grace, 2004).

Para incrementar la producción de materia seca y el rendimiento agronómico es prioritario que los cultivos asociados se “complementen” mutuamente en el uso de los insumos para la producción agrícola. La complementación en el uso de los recursos en los cultivos asociados puede surgir de dos maneras: a través del uso de diferente espacio y a través de la cohabitación parcial en el tiempo. La complementación en el uso de espacios diferentes es posible cuando los recursos del suelo son limitantes y las especies de la mezcla presentan marcadas diferencias en el hábito de crecimiento de la raíz. Con una mezcla de especies A y B, los recursos del suelo no utilizados por las raíces superficiales de A pueden ser captados por el sistema radical profundo de B; así las dos especies pueden complementarse mutuamente y el rendimiento de los combinados puede exceder el de los unicultivos de cualquiera de las especies (Loomis y Connor, 2002) (figura 4).

La complementación, a través de la cohabitación parcial en el tiempo, se puede establecer cuando una sola especie no es capaz de utilizar por completo la

FIGURA 4. *Especies con sistema radical superficial (a), y especies con sistema radical profundo (b), podrían complementarse mutuamente en una mezcla binaria (tomado de Loomis y Connor, 2002).*



estación de cultivo; la duración del crecimiento se puede extender añadiendo otras especies. Sin embargo, en esta relación la producción del cultivo principal es equivalente a la que produciría bajo condiciones de monocultivo, mientras que el cultivo secundario tendría un rendimiento menor al que se esperaría si se estableciera como cultivo solo (Loomis y Connor, 2002).

En términos de competencia, la complementación ocurre cuando cada especie componente de la asociación no experimenta un efecto negativo en su crecimiento y desarrollo al crecer junto a otra. La hipótesis de que el sistema asociado es capaz de elevar los rendimientos ha sido derivada de diversas observaciones y se basa en el hecho de que los cultivos componentes de la asociación son capaces de complementarse y hacer un mejor uso de los insumos para la producción agrícola que cuando crecen separadamente. En ese sentido, Fukai y Trenbath (1993) indican que las ventajas en las asociaciones de cultivo son mayores cuando los cultivos componentes de la misma difieren significativamente en la duración del crecimiento. Los recursos más importantes para la producción agrícola se describen a continuación.

### Radiación solar

Se podría considerar que la agricultura es el arte y la ciencia de aprovechar la energía solar a través de las plantas. Éstas pueden utilizar una parte de dicha energía para transformarla en energía química representada por los fotoasimilados. Una parte de éstos se utilizan para la respiración, la fotorrespiración, y el resto, que representa la fotosíntesis neta, se fija como materia seca. El hombre busca que estos fotosintatos sean canalizados preferentemente al rendimiento agronómico (Kohashi, 1996).

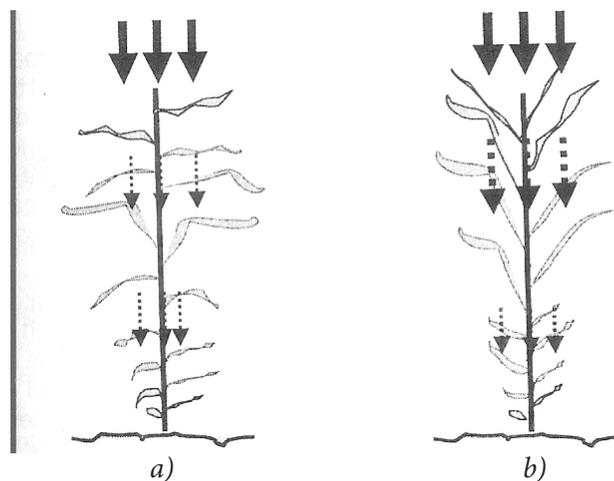
El crecimiento de un cultivo es producto de la división y la elongación celular de los órganos diferenciados. Estos procesos son el resultado de la producción, transporte y acumulación de fotoasimilados (obtenidos en la fotosíntesis) y los nutrientes. Los fotoasimilados provienen de la fotosíntesis, proceso por el cual la energía solar es transformada en energía química y tiene lugar principalmente en las láminas de las hojas (Cárcova *et al.*, 2003). La tasa de crecimiento de un cultivo (biomasa acumulada por unidad de tiempo) resulta del balance de dos procesos contrapuestos: la fotosíntesis (ganancia de  $\text{CO}_2$ ) y la respiración (pérdida de  $\text{CO}_2$ ). Debido a que la fracción de carbono fijado que se destina a la respiración es relativamente constante, un incremento en la radiación interceptada por el cultivo se traduce en un aumento proporcional en la tasa de crecimiento (Cárcova *et al.*, 2003). La cantidad de radiación solar interceptada (RI) acumulada por un cultivo depende de la duración del ciclo y de la dinámica de intercepción de dicho cultivo (Sinclair y Muchow, 1999). Esta última está ligada fuerte-

mente al índice de área foliar (IAF), definido como el área foliar por unidad de área sembrada (Escalante y Kohashi, 1993; Maddonni y Otegui, 1996). El IAF se genera con la aparición y expansión de las hojas; es el producto del número de hojas y del tamaño de las mismas. Para lograr una mayor radiación interceptada en un cultivo, es importante generar en forma temprana un IAF que permita interceptar rápidamente la mayor proporción de radiación incidente; además, es esencial que este IAF se mantenga el mayor tiempo posible (Cárcova *et al.*, 2003).

Escalante (1999), al estudiar el girasol bajo condiciones de secano, y Keating y Carberry (1993), en el estudio de cereales y leguminosas encontraron una relación positiva entre la radiación interceptada y el área foliar del cultivo. Así, para incrementar la interceptación de radiación incidente en un cultivo, Escalante y Kohashi (1993), y Maddonni y Otegui (1996), encontraron que es muy importante que los valores del IAF se mantengan la mayor cantidad de tiempo posible durante el desarrollo del cultivo.

Por otro lado, la siembra simultánea de dos o más plantas altera la captación de luz de cada una de las especies componentes de la asociación. Los efectos del sombreado en la fisiología y morfología del vegetal han sido estudiados en forma amplia por diversos investigadores. Hawkins (1982) resume de manera adecuada los efectos del sombreado en la fisiología y la estructura de las hojas. Generalmente las hojas que se desarrollan en la sombra son delgadas, aumentan su área foliar, su disposición en la planta es planófila (perpendiculares al tallo) (figura 5) y su tasa fotosintética por unidad de área es baja (captan menos radiación solar).

FIGURA 5. Esquema de la radiación incidente (líneas continuas) y transmitida (líneas punteadas) en una cubierta vegetal planófila (a) y erectófila (b) (tomado de Cárcova *et al.*, 2003).



El sombreado reduce la intercepción de luz, por lo tanto la producción de biomasa es baja y la distribución de fotoasimilados hacia el rendimiento agronómico es deficiente. Por ejemplo, Gardner y Craker (1981) encontraron que el tamaño de la hoja de frijol no sufre cambios significativos cuando crece asociado con maíz, aunque la intercepción de luz y la materia seca total de ambas especies disminuyen.

Para minimizar el efecto de sombreado en los cultivos asociados deben elegirse especies que se “complementen fisiológicamente”, es decir, combinar especies que utilicen procesos fotosintéticos  $C_4$  y  $C_3$ . El primer tipo de especies se adapta a menudo mucho mejor a los ambientes soleados, como por ejemplo la parte superior de los doseles en combinación, mientras que las últimas se adaptan mejor a condiciones más sombreadas (Willey, 1990).

Chang y Shibles (1985) indican que las especies asociadas producen una mayor cantidad de materia seca ya que explotan mejor el ambiente (luz) que cuando crecen separadamente. Trenbath (1986) observó que el dosel formado por las especies sembradas simultáneamente utiliza la energía solar más eficientemente con respecto a sus unicultivos, incrementando la producción de biomasa. Squiere (1990) observó que el dosel mezclado en los cultivos asociados capta y utiliza mejor la radiación incidente superando ampliamente en eficiencia a las leguminosas y ligeramente a los cereales sembrados en condiciones de unicultivo. Reddy *et al.* (1989) reportan un incremento en la radiación interceptada por parte del sistema asociado para lograr una mayor cobertura de terreno. Shivaramu y Shivashankar (1994) trabajaron con la siembra simultánea de girasol y soya con el objetivo de estudiar la estructura del dosel resultante y relacionarlo con la cantidad de radiación interceptada, para lo cual generaron combinaciones con distintas densidades y patrones de siembra. Encontraron una cubierta vegetal óptima (la cual capta 95% de  $RI$ ) cuando sembraron una densidad equivalente a 75% de cada uno de los cultivos solos correspondiente. Tsubo y Walker (2004) han encontrado una mayor producción de biomasa en las especies combinadas (28%) en relación con sus “cultivos solos”, esto debido a un mayor porcentaje de radiación interceptada. Morales *et al.* (2006) reportaron que con un índice de área foliar combinado de 9.0 en la asociación de girasol Victoria con frijol Michoacán se logró 96% de radiación interceptada superando a sus respectivos unicultivos (Michoacán y Victoria), los cuales sólo interceptaron 80 y 85% de la radiación incidente.

Así, la mayor producción de materia seca producida por los cultivos asociados incrementa la eficiencia en el uso de la radiación ( $EUR$ ), la cual es definida como la capacidad de formar materia seca vegetal producida por unidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo, es decir, la producción de cada gramo de materia seca por megajoule ( $MJ$ ) interceptado (Fukai y Trenbath, 1993).

Kohashi (1996) menciona que la asociación maíz-frijol ha sido uno de los métodos tradicionales de cultivo que utiliza el agricultor. En un estudio que realizó este investigador sobre el método, sembró en surcos a 0.8 m la variedad de frijol de guía Negro-150 tanto en unicultivo como en asociación con maíz. Al evaluar la eficiencia en el uso de la radiación de frijol en ambos sistemas de siembra, la eficiencia fue de  $0.5\text{g MJ}^{-1}$  en asociación, y de  $0.72\text{g MJ}^{-1}$  en unicultivo. Sin embargo, al considerar conjuntamente los cultivos de frijol y maíz (asociados) la eficiencia fue de  $2.73\text{g MJ}^{-1}$ , indicando que en la asociación la población de plantas hace un uso más eficiente de la radiación fotosintéticamente activa.

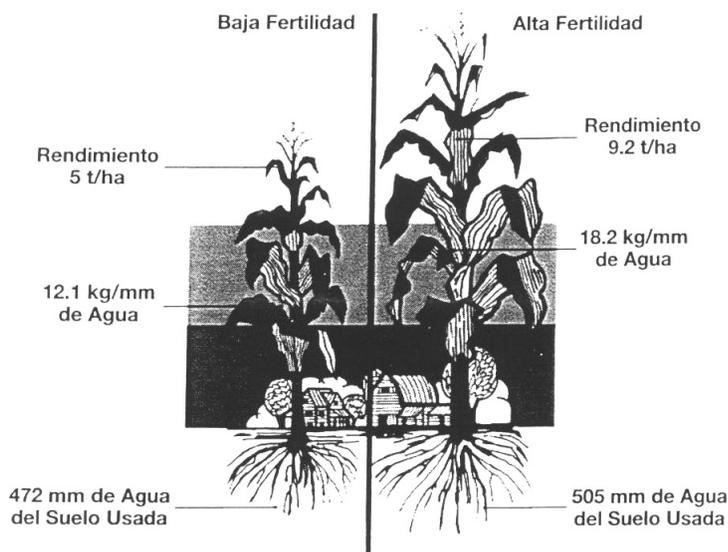
## Nitrógeno

En las plantas, el nitrógeno (N) se requiere principalmente para la síntesis de proteínas, tanto estructurales como enzimáticas. Las enzimas a su vez son las responsables de la síntesis de otras proteínas y de los intermediarios metabólicos, tanto estructurales como de almacenamiento, incluidos los carbohidratos, ácidos grasos y pigmentos. Todos estos componentes del cuerpo de la planta son necesarios para el crecimiento y la producción vegetal (Lamsfus *et al.*, 2004).

A nivel de unicultivo la aplicación de distintos niveles de N afecta su crecimiento y desarrollo. Las deficiencias en N reducen la producción de biomasa y rendimiento de semilla porque se disminuye la expansión foliar y la cantidad de radiación interceptada, además de la eficiencia en el uso de la radiación y la eficiencia en el uso del agua (figura 6) (Muchow, 1988; Uhart y Andrade, 1995; Andrade *et al.*, 1996; Sinclair y Muchow, 1999; Maddoni *et al.*, 2003).

La mayor productividad de los cultivos asociados sobre los cultivos solos ha sido atribuida a un mejor uso de los insumos agrícolas. El mejor arreglo espacial que se logra en la siembra simultánea de dos o más especies y la aplicación adecuada de N son prácticas importantes de manejo que incrementan el porcentaje de radiación interceptada al lograrse un buen dosel y una mayor cobertura de terreno (Keating y Carberry, 1993). Ennin *et al.* (2002), al evaluar el sistema combinado de maíz y soya con dos niveles de nitrógeno ( $0$  y  $160\text{ kg N ha}^{-1}$ ) encontraron que con el suministro de N se incrementó el porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada, la cual superó los cultivos solos de maíz y soya en 4 y 5% respectivamente, lo que se tradujo en un incremento de materia seca de la combinación de especies sobre los unicultivos en 38%. Olalde *et al.* (2002) indican que con altas aplicaciones de nitrógeno ( $200\text{kg ha}^{-1}$ ) y una mayor cobertura vegetal obtenida por altas densidades (tal como ocurre en el sistema asociado) intercepta un mayor porcentaje de radiación produciendo más biomasa y rendimiento de semilla.

FIGURA 6. *El nitrógeno incrementa el número de raíces, el área foliar, la eficiencia en el uso del agua y el rendimiento agronómico en las plantas cultivadas (tomado de Potash and Phosphate Institute, 1997).*



Sin embargo, la respuesta al fertilizante nitrogenado en los cultivos asociados no ha sido suficientemente detallada. El suministro de N en los cultivos múltiples donde se incluye una leguminosa debe ser considerado ya que existe evidencia de que una aplicación mínima o excesiva de N podría modificar de manera significativa la respuesta de este sistema de producción a la adición de este elemento.

En algunas ocasiones la adición de N en las siembras combinadas donde se incluye una leguminosa puede favorecer el crecimiento excesivo de la otra especie componente de la asociación, generando una fuerte competencia sobre la leguminosa y causando un detrimento en el comportamiento del sistema asociado (Fukai y Trenbath, 1993). Asimismo, un exceso de N puede ser antagonista en la fijación de nitrógeno atmosférico por parte de la leguminosa (Cenpukdee y Fukai, 1991). En contraste, con un mínimo de fertilizante nitrogenado el crecimiento de la leguminosa es menos restringido en relación con la otra especie componente del sistema, lo cual podría favorecer la producción de biomasa y rendimiento en este agrosistema (Fukai y Trenbath, 1993).

En estudios recientes, Zhang y Li (2003) reportan una complementación *interepecífica* en el uso de este elemento en la asociación maíz-haba, en donde la leguminosa incrementó la absorción de N por parte de la gramínea. Asimismo, Li *et al.* (2003) indican que existe 20% de absorción de N adicional en ambas especies del sistema binario maíz-haba, en relación con sus respectivos unicultivos.

Aunque las ventajas en rendimiento de los cultivos asociados son más notorias bajo condiciones de una menor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, éstas no necesariamente desaparecen cuando aumenta la fertilidad de N. Las mayores ventajas en rendimiento de los cultivos múltiples se obtienen cuando el N como fertilizante se aplicó en dosis consideradas como adecuadas para satisfacer completamente la demanda del cultivo componente de la asociación que no es una planta leguminosa.

## Fósforo

El desarrollo del área foliar es muy sensible a la aplicación de fósforo ya que deficiencias en este elemento reducen la expansión foliar, así como el número de hojas y el índice de área foliar (Lynch *et al.*, 1991; Usuda y Shimogawara, 1991). En ese sentido, Fletcher *et al.* (2004) mencionan que la deficiencia de fósforo afecta el tamaño de las hojas y la tasa de aparición de las mismas en maíz. Radin y Eidenbock (1984) han demostrado que la deficiencia de fósforo reduce la expansión foliar en algodón. Colomb *et al.* (2000) reportan que las plantas que crecen en suelos con baja concentración de fósforo desarrollan un menor índice y duración de área foliar. Rodríguez *et al.* (2000), en el caso del trigo, mencionan que bajo condiciones de deficiencia de fósforo se reduce la tasa de expansión foliar y la disponibilidad de asimilados para el crecimiento de la hoja. La deficiencia de fósforo generalmente disminuye la expansión y duración foliar limitando la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA), lo cual disminuye la eficiencia de conversión de RFA en materia seca (Colomb *et al.*, 2000). Fletcher *et al.* (2004) indican que cuando la disponibilidad de fósforo en las plantas de maíz es mínima, la radiación interceptada por el dosel vegetal es menor reduciendo significativamente el rendimiento de semilla. Asimismo, el suministro de fósforo y el efecto que éste tiene en la eficiencia en el uso del agua (EUA), ha sido descrito en un limitado número de cultivos.

Sin embargo, poco se conoce acerca de la influencia del fósforo en la eficiencia en el uso de los recursos, así como en la producción de biomasa y rendimiento en los cultivos asociados; pero en las pocas investigaciones realizadas en estos cultivos se concluye que la adición de tal elemento en este patrón de siembra es muy importante.

Morris y Garrity (1993) y Manzarul *et al.* (2003) han encontrado que en los cultivos asociados los cultivos componentes de la asociación absorben 40% más de fósforo en relación con sus cultivos solos, lo que ocasiona un incremento en la materia seca y en el rendimiento agronómico. Asimismo, el rendimiento de grano de maíz aumentó cuando fue asociado con cacahuate (*Arachis hypogea* L.), principalmente porque se incrementó la absorción de fósforo (El Dessougi *et al.*, 2003).

En experimentos de campo, la haba (*Vicia fabae* L.) facilita la absorción de fósforo al maíz y trigo cuando son sembrados simultáneamente con la leguminosa (Li *et al.*, 2003). El lupino blanco (*Lupinus albus*) “exuda” ácidos orgánicos que movilizan rápidamente el fósforo y lo ponen disponible al trigo cuando se siembra intercalado con “lupinus” (Kamh *et al.*, 1999). Mahapatra *et al.* (1991), en la asociación de chícharo gandul (*Cajanus cajan*) y arroz (*Oryza sativa*), mostraron un incremento de 60% en la producción de biomasa cuando aplicaron 27 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, lo cual sugiere un mayor dosel cuando se aplicó este elemento; sin embargo, en este estudio no se presentaron datos de radiación interceptada. Resultados similares en la producción de biomasa son reportados por Mason y Leihner (1987), quienes encontraron un incremento de 40% de materia seca al aplicar 22 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la siembra combinada de casava (*Manihot esculenta* Crantz) con *Vigna unguiculata*.

Por otra parte, en muchos suelos agrícolas el fósforo orgánico constituye 30-80% del fósforo total. La gran fracción de fósforo orgánico (aproximadamente, 50%) se encuentra en forma de “fitina” y sus derivados (Dalal, 1978). La fuente de fósforo orgánico puede ser utilizada por la planta después de que el fosfato es hidrolizado (Gilbert y Knight, 1999). El garbanzo (*Cicer arrientum* L.) puede facilitar la absorción de fósforo orgánico cuando es asociado con diversas especies. Li *et al.* (2003) reportan un incremento en la absorción de fósforo en trigo asociado con garbanzo.

## Agua

El abatimiento de los mantos freáticos y los bajos volúmenes de agua en las presas en nuestro país hacen necesario generar estrategias que conduzcan a la elevación de los rendimientos económicos con un uso más eficiente de este recurso. Dentro de las alternativas para aumentar la producción mencionamos el mejoramiento genético, las labores culturales (arreglos topológicos, densidad de siembra, niveles de fertilidad, manejo adecuado de la humedad del suelo, etc.) y los cultivos asociados.

Por otra parte, la relación entre producción y disponibilidad hídrica está condicionada por las características de las plantas, por su capacidad para absorber agua a diversos niveles de potencial en el suelo, por conducir agua hacia las hojas y por regular los intercambios a través de los estomas, la forma, el tamaño y la disposición e inclinación de las hojas (Terradas *et al.*, 2001).

En años pasados, el incremento en el rendimiento de los cultivos múltiples ha sido observado en un número sustancial de estudios en ambientes semiáridos. De este hecho se concluye que el incremento en la productividad de los cultivos componentes de la asociación se debe a la estabilidad de este sistema de producción bajo condiciones adversas y a la buena elección de las especies que se sembrarán conjuntamente. Se ha observado que las ventajas de los cultivos

asociados debidas a un mejor uso del agua se registran más frecuentemente cuando se desarrollan en condiciones subóptimas para el crecimiento. Esto indicaría que si el recurso que es limitante en tal situación (agua) es provisto a través de riego, la ventaja del sistema asociado podría desaparecer. Por este motivo, el empleo de este sistema de producción se ha planteado como una alternativa para reducir la utilización de insumos externos. Sin embargo, se conoce que las diferencias en el sistema radical, profundidad y dispersión de raíces, así como su densidad son factores que afectan la competencia por agua entre los cultivos componentes de la asociación. Una planta con una raíz profunda explorará partes más internas del perfil del suelo que otra que tenga una raíz superficial, minimizando la competencia por este recurso.

Por otra parte, la mayor cobertura producida por la mezcla de doseles en los cultivos asociados puede disminuir la cantidad de luz solar que alcanza la superficie del suelo, de manera que un mayor volumen de agua útil para el suelo se canaliza como transpiración a través de los cultivos antes de perderse como evaporación proveniente del suelo (Willey, 1990).

Morris y Garrity (1993) proponen dos estrategias para que las especies componentes de un cultivo múltiple puedan “captar” agua de una manera más eficiente: la primera consiste en sembrar el cultivo primario (el de mayor interés para el productor) a una densidad de población óptima, mientras que el cultivo secundario debe ser plantado a una densidad más baja que la óptima. Con esta acción, la competencia del cultivo secundario en relación con el primario es menor. La segunda estrategia consiste en que cuando los dos cultivos tienen un ciclo vegetativo semejante (especies concurrentes) deben ser sembrados a una densidad menor en relación con sus unicultivos, aunque su rendimiento será inferior.

Por otro lado, la eficiencia en el uso del agua (EUA) se define como la cantidad de materia seca producida por unidad de agua consumida (evapotranspirada). Terradas *et al.* (2001) la expresa como la cantidad de carbono absorbido por unidad de volumen de agua transpirada, y se mide adecuadamente en  $\text{mmols CO}_2 \text{ mol agua}^{-1}$ . En la mayoría de los casos, los valores de eficiencia varían entre 0.9 y 1.5.

Bajo condiciones de temporal, la EUA de los cultivos asociados es superior a la de los cultivos solos, sobre todo cuando se “mezclan” cereales con leguminosas. Corroborando lo anterior, Morris y Garrity (1993) han reportado valores en la eficiencia en el uso del agua superiores entre 18 y 99% en las asociaciones de cultivos (maíz-frijol, maíz-haba, etc.), respecto a sus unicultivos.

## Consideraciones adicionales

No se trata de sustituir el monocultivo por los cultivos asociados, ya que el primero ha demostrado ser muy eficiente en la producción de alimentos y es pieza

fundamental en la agricultura intensiva. En las regiones donde prevalecen los grandes valles con un alto nivel de fertilidad del suelo, buena mecanización y utilización de fertilizante, el unicultivo constituye la mejor alternativa para los productores agrícolas.

En aquellos predios donde la precipitación pluvial es irregular y escasa, el suelo es delgado y poco fértil, las labores de cultivo no se pueden mecanizar, el periodo de heladas es corto y la presencia de factores bióticos tales como plagas y enfermedades constituyen un grave problema, los cultivos asociados resultan una buena opción para los agricultores de escasos recursos económicos ya que el establecimiento de dos o más especies de manera simultánea garantizan al productor al menos la cosecha de uno de esos cultivos componentes de la asociación.

En ese sentido, es de suma importancia que el futuro profesional de la agromonía conozca los principios básicos de los cultivos asociados para poder orientar adecuadamente a los productores de campo en el establecimiento de este tipo de cultivos. El estudiante al conocer la importancia de la radiación solar, agua y nutrientes minerales (nitrógeno y fósforo, principalmente) podrá recomendar cuáles especies son las más adecuadas para ser sembradas en asociación a fin de que hagan un uso eficiente de los insumos agrícolas. La implementación de cultivos asociados permitirá al productor proporcionar un manejo sostenible del suelo y de los recursos naturales de la región, respetando en gran medida su entorno y ambiente.

## Conclusiones

Los sistemas agrícolas en México incluyen cultivos intensivos, los cuales demandan, en exceso, aporte de materia y energía. Los investigadores, enfocando al unicultivo, establecen rendimientos potenciales, posibles y reales, satisfaciendo las necesidades alimentarias de hoy en día, sin embargo, el deterioro del suelo y la contaminación ambiental son factores que influirán negativamente en el futuro. Se concluye que los cultivos asociados presentan una menor dependencia de insumos, se complementan en el uso de los mismos y proporcionan una mayor estabilidad de los ecosistemas.

## Bibliografía

Cárcova, J., G. Abeledo y P. M. López (2003), "Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes", en E. Satorre, R. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin (eds.), *Producción de cultivos de granos. Bases multifuncionales*

- para su manejo*, Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, pp. 75-95.
- Cenpukdee, U., y S. Fukai (1991), "Effects of Nitrogen Supply on Cassava/Pigeon Pea Intercropping with Three Contrasting Cassava Cultivars", *Fert. Res.*, 29: 275-280.
- Chang, J. F., y R. M. Shibbles (1985), "The Effect of Fertilization and Population Density", *Field Crop Res.*, 12: 114-154.
- Colomb, B., J. R. Kiniry y P. Debaeke (2000), "Effect of Soil Phosphorus on Leaf Development and Senescence Dynamics of Fields-Grown Maize", *Agron. J.*, 92: 428-435.
- Dalal, R. C. (1978), "Organic Phosphorus", *Advances in Agronomy*, 29: 83-117.
- El Dessougi, H., A. Dreele y N. Claassen (2003), "Growth and Phosphorus Uptake of Maize Cultivated Alone, in Mixed Culture with Other Crops or after Incorporation of their Residues", *J. of Plant Nut. and Soil Sci.*, 166: 254-261.
- Ennin, S. A., M. D. Clegg y C. A. Francis (2002), "Resource Utilization in Soybean/Maize Intercrops", *African Crop Sc. J.*, 10 (3): 251-261.
- Escalante, E. J. A. (1999), "Área foliar, producción de materia seca y su asignación en los órganos de frijol en función del nitrógeno", XLV Reunión anual del programa cooperativo centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales, Guatemala, Guatemala, p. 37.
- , y J. Kohashi S. (1993), "El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos", Colegio de Posgraduados, Montecillo, México, 84 pp.
- Fletcher, A., D. Moot y P. Stone (2004), "Canopy Development in Phosphorus Deficient Sweet Corn", en <http://www.regional.org.au/au/asa/c/5/fletcher.htm>. Consultado el 12 de marzo de 2007.
- Fukai, S., y B. R. Trenbath (1993), "Processes Determining Intercrop Productivity and Yield Components", *Field Crops Res.*, 34: 247-271.
- Grace, B. J. (2004), "Competencia y facilitación", en: M. J. Reigosa R., N. Pedrol B. y A. Sánchez M. (eds.), "La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis", Paraninfo, Madrid, España, pp. 443-479.
- Gilbert, G. A., y J. D. Knight (1999), "Acid Phosphatase Activity in Phosphorus Deficient white Lupin Roots", *Plant, Cell and Environment*, 22: 801-809.
- Gardner, T. R., y L. E. Craker (1981), "Bean Growth and Light Interception in a Bean-Maize Intercrop", *Field Crops Res.*, 4: 313-320.
- Hawkins, A. F. (1982), "Light Interception, Photosynthesis and Crop Productivity", *Outlook Agric.*, 11: 104-113.
- Kamh, M., W. J. Horst, F. Amer, H. Mustafa y P. Maier (1999), "Mobilization of Soil and Fertilizer Phosphate by Cover Crops", *Plant and Soil*, 211: 19-27.
- Keating, B. A., y P. S. Carberry (1993), "Resource Capture and Use in Intercropping: Solar Radiation", *Field Crops Res.*, 34: 273-301.
- Kohashi, S. J. (1996), "Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus*

- vulgaris* L. y su relación con el rendimiento”, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México, 42 pp.
- Lamsfus, C., B. Lasa, P. M. Aparicio Tejo e I. Irigoyen (2004), “Implicaciones ecofisiológicas y agronómicas de la nutrición nitrogenada”, en: M. J. Reigosa R., N. Pedrol B. y A. Sánchez M. (eds.), “La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis”, Paraninfo, Madrid, España. pp. 361-385.
- Li, L., F. S. Zhang, X. L. Li, P. Christie, J. H. Sun, S. C. Yang y C. X. Tang (2003), “Interespecific of Nutrient Facilitation Uptake by Intercropped Maize and Faba Bean”, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 65 (1): 61-71.
- Loomis, R. S., y D. J. Connor (2002), *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 35-64.
- Lynch, J., A. Lauchli y E. Epstein (1991), “Vegetative Growth of the Common Bean in Response to Phosphorus Nutrition”, *Crop Sci.*, 31: 380-387.
- Maddoni, G. A., y M. E. Otegui (1996), “Leaf Area, Light Interception and Crop Development in Maize”, *Field Crop Res.*, 48: 81-87.
- Maddoni, A. G., P. Vilariño e I. G. Salamone (2003), “Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta”, en E. Satorre, R. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin. (eds.), *Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo*, Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, pp. 441-477.
- Mahapatra, P. K., U. N. Dihshit, N. K. Pradhan y S. K. Uttaray (1991), “Effect of Phosphorus on Pigeon Pea (*Cajanus cajan*) and Rice (*Oryza sativa*) Intercropping”, *Indian J. Agric. Sci.*, 61: 308-310.
- Manzarul, S. A., S. A. Shah y M. Akhter (2003), “Varietal Differences in Wheat Yield and Phosphorus Use Efficiency as Influenced by Method of Phosphorus Application”, *J. Sci. Technol.*, 25 (2): 175-181.
- Martínez, R. C. (1997), “Análisis de la habilidad competitiva de variedades de maíz (*Zea mays* L.) y poblaciones de haba (*Vicia faba* L.)”, tesis de maestría en fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM, Toluca, México, 112 pp.
- Mason, S. C., y D. E. Leihner (1988), “Yield and Land Use Efficiency of a Cassava/Cowpea Intercropping System Grown at Different Phosphorus Rates”, *Field Crops Res.*, 18 (4): 215-226.
- Morris, R. A., y D. P. Garrity (1993), “Resource Capture and Utilization in Intercropping”, *Field Crops Res.*, 34: 319-334.
- Muchow, R. C. (1988), “Effect of Nitrogen Supply on the Comparative Productivity of Maize and Sorghum in a Semi-Arid Tropical Environment. II Radiation Interception and Biomass Accumulation”, *Field Crops Res.*, 18: 17-30.
- Olalde, G. V. M., J. A. Escalante, E. P. Sánchez, G. L. Tijerina, Ch. E. M. Engleman y A. A. Mastache L. (2000), “Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido”, *Terra*, 18 (1): 51-59.

- Radin, J. W., y M. P. Eidenbock (1984), "Hydraulic Conductance as a Factor Limiting Leaf Expansion of Phosphorus Deficient Cotton Plants", *Plant Physiol.*, 75: 372-377.
- Reddy, S. N., E. Reddy, V. M. Reddy, M. S. Reddy y P. Reddy (1989), "Row Arrangement in Groundnut/Pigeon Pea Intercropping", *Tropic. Agric.*, 66: 309-312.
- Sagarpa (2002), "Servicio de información estadística, agroalimentaria y pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola por distrito de desarrollo", Toluca, México.
- Sarandón, S. J., y M. A. Chamorro (2003), "Policultivos en los sistemas de producción de granos", en E. Satorre, R. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin (eds.), *Producción de cultivos de granos. Bases multifuncionales para su manejo*, Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, pp. 353-370.
- Sinclair, T. R., y R. Muchow (1999), "Radiation Use Efficiency", *Advances in Agronomy*, 65: 215-265.
- Trenbath, B. R. (1986), "Resource Use By Intercrops", en C. A. Francis (ed.), *Multiple Cropping Systems*, McMillan, Nueva York, pp. 82-95.
- Tsubo, M., E. Mukhala, H. O. Ogindo y S. Walker (2003), "Productivity of Maize-Bean Intercropping in Semi-Arid Region of South Africa", *Water*, 29 (4): 381-388.
- Tsubo, M., y S. Walker (2004), "Shade Effects on *Phaseolus vulgaris* L. Intercropped with *Zea mays* L. under Well-Watered Conditions", *J. Agron. Crop Sci.*, 190 (3): 168-176.
- Uhart, S. A. y F. H. Andrade (1995), "Nitrogen Deficiency in Maize: I. Effects on Crop Growth, Development, Dry Matter Partitioning and Kernel Set", *Crop Sc.*, 35: 1376-1383.
- Usuda, H., y K. Shimogawara (1991), "Phosphate Deficiency in Maize: I. Leaf Phosphate Status, Expansion, Photosynthesis and Carbon Partitioning", *Plant Cell Physiol.*, 32: 497-504.
- Vandermer, J. H. (1989), *The Ecology of Intercropping*, Cambridge University Press., Cambridge.
- Villalobos, F. J., L. Mateos, F. Orgaz y E. Federes (2002), *Fitotecnia. Bases y tecnologías de la producción agrícola*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 349-373.
- Willey, R. W. (1990), "Resource Uses in Intercropping Systems", *Agric. Water Management*, 17: 215-231.
- Willey, R. W., y D. S. Osiru (1972), "Studies on Mixture of Maize and Beans with Particular Reference to Plant Populations", *J. Agric. Sci.*, 79: 519-529.
- Zhang, F. S., y L. Li (2003), "Using Competitive and Facilitative Interactions in Intercropping Systems Enhances Crop Productivity and Nutrient-Use Efficiency", *Plant and Soil.*, 248 (1-2): 305-312.

# Manejo sustentable de plagas de algunos cultivos de importancia económica en el Estado de México

OMAR FRANCO MORA,  
ÁLVARO CASTAÑEDA VILDÓZOLA  
JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE\*

## Resumen

La creciente demanda de productos hortícolas saludables y de bajo riesgo para la salud humana representa un desafío para los productores agrícolas del Estado de México, en especial cuando se requiere de insumos de bajo impacto al ambiente y sustentables para controlar plagas. Ante esta enorme oportunidad, en el presente capítulo se indican los resultados obtenidos con el uso de hongos antagonistas nativos para el manejo de *Sphacelia* spp. (Teleomorfo: *Claviceps gigantea*) en maíz (*Zea mays*); con el uso de insumos biorracionales y biológicos (*Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp.) en el manejo de manchas foliares causados por diversos hongos en cempasúchitl (*Tagetes erecta*); así como con el embolsado de frutos en chirimoya (*Annona cherimolla*) como barrera física para el control del barrenador de frutos *Talponia batesi* (Lepidoptera: Tortricidae); y con el uso de abonos para la mejora de calidad hortícola de *Lilium* sp. Los resultados indican que las diferentes estrategias de manejo sustentable tienen el potencial de ser incluidas como parte del manejo integrado de cada cultivo y, sobre todo, representan alternativas sustentables de fácil acceso para los productores hortícolas.

*Palabras clave:* control biológico, control biorracional, embolsado de frutos y potencializadores orgánicos.

## Introducción

Las actuales condiciones de mercado de productos agropecuarios exigen alimentos sanos e inocuos, lo que obliga a buscar alternativas de manejo de plagas (insectos, patógenos y malezas) con menor impacto al ambiente y salud humana, lo que lleva a un menor uso de plaguicidas de origen sintético. La menor

\* Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C. P. 50200, México.

utilización conlleva al fomento de organismos de control biológico natural que son los responsables de regular directamente las poblaciones de insectos plaga. Efecto similar se observa con el menor uso de fungicidas sintéticos que impiden la proliferación de organismos antagonistas responsables de regularizar de manera natural la microflora del suelo. Paralelamente, la cría de insectos benéficos (depredadores y parasitoides) y de hongos antagonistas ha sido exitosa y empieza a despertar interés entre los productores; sin embargo, su implementación en campo ha presentado limitaciones que ha impedido su desarrollo. Por esta razón se buscan alternativas que complementen la eficiencia del control como es el uso de abonos orgánicos y lixiviados que potencializan las defensas de la planta (Guillermo, 2015).

En este escenario de nuevas propuestas de manejo de plagas, los centros de investigación como el de la Facultad de Ciencias Agrícolas han enfocado sus recursos para el desarrollo de tecnologías de manejo alternativo como es el uso de controladores biológicos, biorracionales, de origen físico y potencializadores. En este sentido la Facultad de Ciencias Agrícolas a través del cuerpo académico Cultivos Básicos y Hortalizas, así como estudiantes de licenciatura y maestría, comparten sus avances de investigación y desarrollo de tecnologías para productores locales o nacionales que se interesen por ellas. En este capítulo se abordarán temas en fertilización orgánica y control biológico mediante uso de antagonistas o productos biorracionales, así como barreras físicas mediante el embolsado de frutos; todas estas propuestas se realizan bajo un manejo sustentable que busca minimizar el uso indiscriminado de agroquímicos y hacer resaltar la búsqueda de alternativas para una agricultura más sana al hombre, al ambiente y primordialmente productiva.

A continuación se mencionan los avances significativos que han desarrollado los integrantes del cuerpo académico Cultivos Básicos y Hortalizas con estudiantes licenciatura y maestría.

### Uso alternativo de abono en ornamentales

En México, la floricultura es una actividad con alta tasa de retorno de capital (Ramírez y Chávez, 2014). *Lilium* (L); es una de las especies más explotadas; en 2014 su valor de producción nacional fue aproximadamente de 300 millones de pesos (Sagarpa, 2012; SIAP, 2014). Si bien para el productor es importante la mejora continua del manejo agronómico, existe preocupación por ambientalistas y autoridades sanitarias por el empleo de excesivas cantidades de plaguicidas y fertilizantes (Oliva *et al.*, 2005; Martínez-Luna *et al.*, 2014). Por ello existe interés multidisciplinario por el ejemplo ecológico, económico y horticultural para optimizar los insumos de producción en la floricultura del Estado de Mé-

xico. Particularmente, el uso excesivo de fertilizantes causa contaminación de los yacimientos de agua y reduce la materia orgánica del suelo, entre otros factores (Pérez y Aguilar, 2012; Singh y Ryan, 2015; Yu *et al.*, 2016); y eleva el costo de producción (Yu *et al.*, 2016). Desde el punto de vista calidad, la dosificación correcta de nutrimentos contenidos en fertilizantes y/o abonos puede modular aspectos de calidad ornamental, es decir, color, tamaño, olor, producción de metabolitos secundarios y vida poscosecha (Rodríguez Landero *et al.*, 2012; Ying *et al.*, 2014).

El uso de abonos orgánicos representa una alternativa viable que busca maximizar los recursos, reducir el impacto de los insumos agrícolas en el ambiente, así como limitar el riesgo en la salud tanto del productor como del consumidor (Félix-Herrán *et al.*, 2008). En diferentes productos agrícolas, la aplicación de abonos orgánicos ha sido exitosa. En conjunto con el fertilizante químico, el humus de lombriz incrementó el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (Álvarez-Solís *et al.*, 2010). En gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus) se observó mayor crecimiento de la planta con la aplicación de lixiviado de composta (Dos Santos *et al.*, 2016); mientras que la aplicación de lombricomposta redujo la pérdida de peso poscosecha en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) (Hernández Fuentes *et al.*, 2010).

A nivel mundial, existe demanda por productos hortícolas cultivados orgánicamente (Burnett *et al.*, 2016); debido a la importancia económica, social y de salud pública de la floricultura en el sur del Estado de México, es importante observar la respuesta en cuanto a factores de calidad hortícola de cultivos ornamentales, particularmente de *Lilium*, a la adición de abonos orgánicos. Guillermo (2015) cultivó bajo condiciones experimentales de invernadero *Lilium* Pensacola abonando con lixiviado de lombricomposta (LL) (456 mg N/maceta/20 días), LL más 180 mg Zn/maceta/20 días (LL + Zn), o fertilización química (FQ) con 213 mg N/maceta/20 días; los costos de abono o fertilización no difirieron entre sí más de 10%. A la cosecha, ambos abonados con LL incrementaron más de 10 cm la altura de la planta, pero presentaron, ambos, cuatro unidades SPAD (por sus siglas en inglés, análisis de desarrollo suelo-planta [*soil, plant analysis development*]) menos que el índice de verdor foliar de FQ. Por otro lado, los tallos abonados con lixiviado de lombriz no requirieron de la aplicación de fungicidas, mientras que los tallos con FQ requirieron de cuatro aplicaciones de fungicidas para disminuir la incidencia de *Botrytis* sp. Además, los tallos de LL duraron de tres a cuatro días más en florero que los tallos de FQ; sin embargo, las hojas de los tallos de FQ mantuvieron su índice de verdor por 18 días, mientras que los tallos de LL, en dicha fecha, perdieron de 50 a 33% de su verdor para LL + Zn y LL, respectivamente.

En un cultivo posterior con *Lilium* Concador se empleó FQ, mientras que el lixiviado de lombriz se aplicó completo cada 20 días (LL 100%) o a la mitad de la

dosis del experimento anterior cada 10 días (LL 50%). Los 456 mg N/maceta, proporcionados por LL, pueden distribuirse en una aplicación cada 20 días o dividirse en 50% cada 10 días y aumentan la altura de la planta y la vida poscosecha, y disminuyen la incidencia de *Botrytis* sp.; sin embargo generan menor índice de verdor foliar y se presenta alta tasa de clorosis foliar en poscosecha. La calidad de follaje en poscosecha fue mejor cuando se tuvo FQ, tratamiento que contenía menor dosis de N, pero mayor de P y K, en relación con LL (Guillermo, 2015). Así, las condiciones propias de cada cultivo de *Lilium* como los nutrimentos aplicados en cada tratamiento de este trabajo y, posiblemente, las condiciones ambientales de cada ciclo de cultivo, sean factores a considerar para las recomendaciones de fertilización en plantas de este género.

El trabajo de Guillermo (2015) sugiere el potencial de uso de lixiviado de lombriz para producir plantas de *Lilium* de mayor tamaño y de mayor vida poscosecha, así como menor presencia de *Botrytis* sp.; sin embargo, con la desventaja de mayor presencia de clorosis foliar en la poscosecha. Como se indicó, el costo de la aplicación química y el abonado no difirió más de 10% en el costo; así, cuando los lilis abonados no requirieron de la aplicación de fungicidas para controlar *Botrytis* sp., el costo de producción fue menor para aquellos abonados con lixiviado de lombriz. En trabajos posteriores se sugiere comparar la adición de la misma cantidad de, al menos, los tres macronutrimentos, es decir nitrógeno, fósforo y potasio, con fuentes químicas y orgánicas, así como la sinergia entre la fertilización química y la orgánica.

### Alternativas biológicas de manejo de enfermedades del suelo

Las enfermedades radiculares son uno de los problemas fitosanitarios más recurrentes en los diferentes cultivos del Estado de México, en especial en ornamentales y hortalizas, aunque en los últimos años se ha incrementado la incidencia de enfermedades en la producción de grano, específicamente en maíz. Meléndez-Carbajal (2015) reporta que dentro de la diversidad de enfermedades que afectan al maíz de Valles Altos, existe una que ha cobrado gran importancia en variedades de maíz criollo e híbridos sembrados en el Valle de Toluca, considerada la mayor región productora del Estado de México: el llamado “diente de caballo” o “Ergot”, ocasionada por el hongo *Claviceps gigantea* (Fuentes *et al.* 1964) (Anamorfo *Sphacelia* spp.), enfermedad endémica y propia de esta región desde hace muchos años (Romero, 1993); aunque también se reporta en el estado de Michoacán y Amecameca, Estado de México (Fuentes *et al.*, 1964). Con la introducción de nuevos híbridos al Valle de Toluca para incrementar la productividad de este cultivo, se reportan fuertes daños por la enfermedad, alcanzando incidencias de 100% en localidades como Metepec, Calimaya, Tenango del Valle

y Almoloya de Juárez. Por las características del sistema de producción de maíz, pocas son las alternativas de control que se han implementado, salvo la eliminación del esclerocio al momento de la cosecha manual o al momento de realizar el cernido o selección del grano cosechado. Otra enfermedad recurrente en la producción del grano de maíz es la pudrición de mazorca ocasionada por *Fusarium verticilloides* (Teleomorfo: *Gibberella fujikuroi*), que llega alcanzar pérdidas de 15-20% del producto final en México, y el Estado del México no es la excepción (De León, 2008). Para ambas enfermedades, una posible alternativa de control es el uso de hongos antagonistas nativos, que representan una opción de origen biológico para el control de las dos enfermedades, sobre todo en las etapas que permanecen en el suelo; es decir, que permita reforzar el manejo de ambas enfermedades. En este sentido, Meléndez Carbajal (2015) reporta el aislamiento e identificación de hongos antagonistas nativos con capacidad de inhibir a *Claviceps gigantea* en su fase anamórfica (*Sphacelia* spp.) y *Fusarium verticilloides* provenientes de suelos naturalmente infestados de las localidades de Calimaya (San Andrés), Almoloya de Juárez (Mina México) y Villa Victoria (Laguna seca) del Estado de México, por medio de la confrontación *In vitro* entre los hongos antagonistas y los patógenos, considerando cinco repeticiones de cada confrontación. Los resultados indicaron que 10 cepas se comportaron como antagonistas, siete pertenecieron al género *Penicillium* spp., uno a *Pythium* spp. y uno a *Alternaria* spp. De las cuales, siete cepas de *Penicillium* spp. y *Pythium* spp. presentaron una mayor capacidad antagonista contra *Fusarium verticilloides*; mientras que dos cepas de *Penicillium* spp., las cepas *Pythium* spp., *Alternaria* spp. y *Trichoderma* spp., mostraron antagonismo contra *Sphacellia* spp. Los anteriores resultados sugieren la posibilidad de usar los referidos hongos como agentes de control biológico nativo a través del incremento de las cepas para su posterior aspersión e inoculación al suelo, o bien a través de la adición de materia orgánica al suelo que les permitan ser usadas como sustrato que induzca el incremento del inóculo natural del suelo, considerando que todos los antagonistas determinados presentan una etapa saprófita.

### Alternativas biorracionales de manejo en enfermedades foliares

Una de las actividades agrícolas de mayor importancia en el Estado de México es la floricultura, que aporta 80% de las ornamentales exportadas a los Estados Unidos y Canadá, y 61.5% del valor total de la producción de ornamentales del país (Sagarpa, 2013). La superficie sembrada va incrementándose año con año, explorando nuevas áreas. A pesar de las condiciones climáticas poco favorables para la producción de ornamentales en el Valle de Toluca, el cempasúchitl y el gladiolo son las especies que destacan como promisorias debido a la adaptación

que han mostrado a cielo abierto. La flor de cempasúchil es utilizada en las festividades de día de muertos, así como en la industria para la elaboración de colorantes, harinas y dulces (Del Villar *et al.*, 2007); de igual forma tiene demanda en la elaboración de alimento para aves y para aumentar el color de la yema del huevo (Méndez García, 2009); además es una especie apreciada por su capacidad de repeler plagas (insectos, hongos y nematodos) (Gómez Rodríguez y Zavaleta Mejía, 2001). Sin embargo, a pesar de esta característica también es atacada por insectos, hongos, nematodos y fitoplasmas, capaces de reducir de manera significativa los rendimientos (Romero, 1996).

En el Valle de Toluca se ha observado la prevalencia de algunas enfermedades del follaje como cenicilla por *Oidium* spp., mildiu asociado con *Plasmopara* spp., mancha foliar por *Septoria* spp., y tizón foliar ocasionado por *Alternaria* spp., que en algunos ciclos llegan a afectar la calidad estética del follaje de forma significativa, ameritando realizar algún tipo de control. Actualmente, en las prácticas de manejo de plagas en la agricultura se busca que las diferentes alternativas de control sean altamente eficientes y sustentables, con un especial cuidado al ambiente; es por ello que se ha enfatizado la búsqueda de alternativas de tipo biológico y/o biorracional. Uno de los trabajos pioneros en el control de enfermedades del follaje en ornamentales de campo abierto es el desarrollado por Vázquez Moreno (2016), que tuvo por objeto controlar enfermedades foliares ocasionadas por *Plasmopara* spp., *Septoria* spp. y *Alternaria* spp., con productos elaborados a base de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. en cultivo cempasúchil establecido en el Valle de Toluca, bajo condiciones de cielo abierto. Para tal fin, se establecieron y evaluaron programas de aspersión siguiendo un patrón de combinaciones de los dos agentes biológicos con bicarbonato de potasio y tiabendazol, así como un testigo absoluto. Se realizaron muestreos en un intervalo de 10 a 15 días, para evaluar la variable severidad media ponderada, basándose en escalas diagramáticas de seis clases para cada uno de estos patógenos. Los resultados indicaron que *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. presentaron la capacidad de reducir la severidad ocasionada por *Plasmopara* spp. y *Alternaria* spp., mientras que *Bacillus* spp. tuvo potencial para ser utilizado en el control de *Septoria* spp.; efecto similar se determinó con bicarbonato de potasio. De tal forma que los programas de aspersión a base de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* redujeron la severidad ocasionada por *Plasmopara* spp. y *Alternaria* spp. en el Valle de Toluca, presentando valores de severidad media ponderada similar a los determinados con tiabendazol y con bicarbonato de potasio. También se observó que los productos biológicos *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* permitieron buena expresión de severidad por *Septoria*, pero es importante mencionar que en los programas de aspersión donde se asperjaban en forma combinada, aplicando inicialmente *Bacillus* y después *Trichoderma*, decreció la severidad, caso contrario cuando se aplicó primeramente *Tricho-*

*derma* y después *Bacillus*, que no se logró reducir la severidad. Por otro lado, cuando se utilizaron de forma combinada, independientemente de su orden, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* mostraron la capacidad de reducir la severidad ocasionada por *Alternaria*. Los resultados encontrados permiten considerar a *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* como un agente promisorio en el control biológico de las enfermedades foliares en cempasúchitl a campo abierto.

Los resultados encontrados indican que las alternativas de manejo de enfermedades de origen biológico y biorracional y representan herramientas factibles de ser implementadas para el control de enfermedades, que inducirá el manejo ecológico y sustentable de la agricultura en el Valle de Toluca.

### Manejo físico de insectos plaga en frutales

En el Estado de México, el chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.: Anonaceae), se cultiva a nivel traspatio y en huertos familiares; sus frutos son muy apreciados por su agradable sabor y buen precio que alcanzan en el mercado local; sin embargo, en los últimos años la incidencia de plagas ha reducido significativamente la calidad y el valor comercial de los frutos; el barrenador de frutos *Talponia batesi* (Lepidoptera: Tortricidae), representa una de las principales limitantes para el cultivo de esta especie frutal; previamente este insecto fue documentado en Guatemala, Costa Rica y Venezuela. En México se tienen registros de su presencia en Morelos, Puebla, Querétaro, Oaxaca, Veracruz, Hidalgo, Guanajuato, Michoacán (Castañeda Vildózola *et al.*, 2013); en estos estados es el principal insecto plaga y las pérdidas que se le atribuyen son de 33 a 100% de la producción de frutos de chirimoya (Castañeda-Vildózola *et al.*, 2013).

De acuerdo con Castañeda Vildózola *et al.* (2013), los frutos que muestran daño ocasionado por *T. batesi*, como primer signo se observa un orificio de entrada de 1.0 mm de diámetro de color negro del que fluye una secreción de consistencia gomosa que es un signo visible de la introducción de una larva en el interior del fruto; posteriormente se aloja en las semillas y se alimenta del endospermo, destruyéndolo en su totalidad. Próxima a la pupación, la larva barreña hacia el exterior del fruto para abandonarlo. En esta etapa es común la presencia de numerosos orificios de salida de 2.0 mm de diámetro, que es un indicativo de que las larvas lo abandonaron para pupar en el exterior. La pupación ocurre en una cápsula de residuos vegetales construido previamente por la larva. El adulto de *T. batesi* es una palomilla de hábitos nocturnos que en el día permanece oculta en las hojas de los árboles.

Las medidas de control implementadas para reducir los daños causados por *T. batesi* se basan en insecticidas químicos de amplio espectro, a pesar de la

existencia de otras opciones de control como el embolsado de frutos; sin embargo, su uso aún no se ha implementado como parte de un programa de manejo integrado de plagas en cultivos frutales de alto valor comercial. Estudios realizados por Carneiro y Becerril (1993), Broglio Micheletti *et al.* (2001), Peña *et al.* (2002), Toledo Pereira *et al.* (2009) demostraron que el embolsado de frutos es una práctica rentable, eficiente y ecológica para el control de insectos barrenadores de las especies *Cerconota anonella* y *Bephratelloides cubensis*, consideradas como plagas primarias de anonáceas de clima tropical. Sin embargo, el material más apropiado para la elaboración de las bolsas constituye una parte importante del objetivo de estudio de muchos investigadores. Además, el tipo de bolsa y material tiene un efecto significativo en el fruto ya que puede funcionar en una determinada especie o en otro caso incidir negativamente sobre el fruto (Sharma *et al.*, 2014) (cuadro 1).

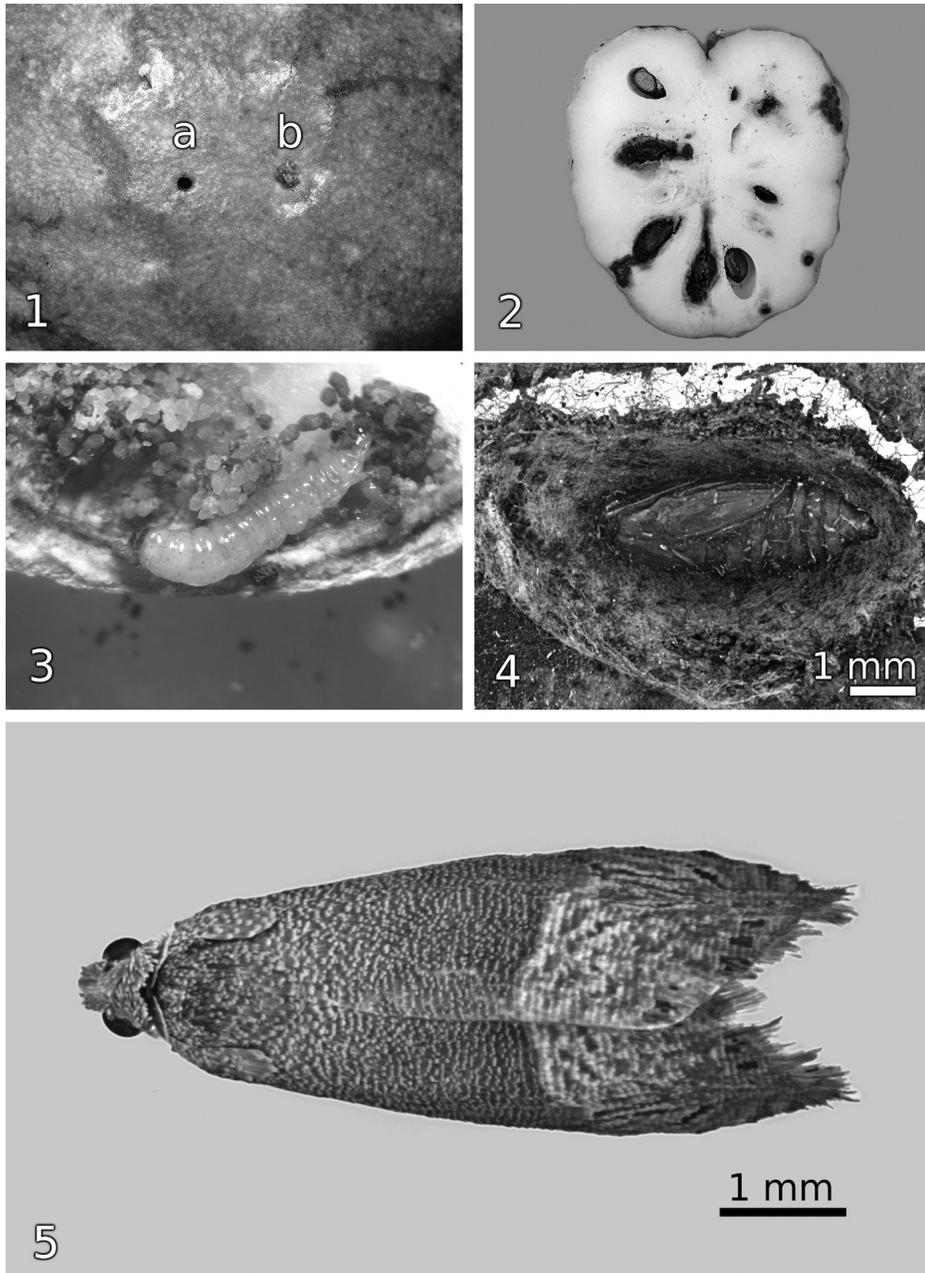
Como parte de las actividades de enseñanza, investigación y servicio por parte de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, a través de las experiencias del cuerpo académico Cultivos Bá-

CUADRO 1. Efecto de diferentes tratamientos de embolsado en características<sup>1</sup> fenotípicas en frutos de chirimoya en tres variedades: Bays, Concha Lisa y Selene

Cultivar	Tratamiento	OS	TS	SD	PT	DE	DP
Bays	Testigo	34.80 <sup>a</sup>	63.55	50.40a	747.20	34.84	17.82
	Polipropileno	16.60 <sup>b</sup>	61.25	21.60b	794.04	36.31	18.09
	Polietileno	6.20 <sup>c</sup>	66.80	10.80c	764.59	35.28	18.78
	Encerado	2.40 <sup>d</sup>	55.55	4.80d	678.67	33.83	16.63
Concha lisa	Testigo	33.40 <sup>a</sup>	51.80	52.40a	627.03	32.11	16.33
	Polipropileno	15.20 <sup>b</sup>	51.66	27.40b	607.90	35.40	17.80
	Polietileno	4.80 <sup>c</sup>	49.05	8.60d	486.73	31.84	16.19
	Encerado	4.20 <sup>d</sup>	58.00	10.40c	521.61	32.82	16.71
Selene	Testigo	27.00 <sup>a</sup>	49.35	28.80a	823.94	36.55	18.25
	Polipropileno	9.40 <sup>b</sup>	57.70	13.40b	1083.17	40.78	20.60
	Polietileno	4.20 <sup>d</sup>	49.30	7.00d	1228.49	43.36	22.00
	Encerado	5.20 <sup>c</sup>	48.12	8.20c	1000.72	38.69	19.40

<sup>1</sup> Promedio marcado con letras distintas en la misma columna denotan diferenciación significativa ( $P < 0.05$ ). OS: orificios de salida ocasionados por *T. batesi*; TS: total de semillas; SD: semillas dañadas; PT: peso total; DE: diámetro ecuatorial y DP: diámetro polar.

Tomado de García Nava *et al.*, 2016, *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*.



FIGURAS 1a y 1b) Orificios de entrada y salida causados por la larva de *Talponia bates*; 2) Fruto de chirimoya mostrando daño en la pulpa y las semillas; 3) Larva alimentándose de la semilla; 4) Pupa; 5) Adulto en vista dorsal (tomado de Castañeda et al., 2013), *Southwestern Entomologist*, 2013.

sicos y Hortalizas se realizaron actividades de manejo del cultivo del chirimoyo con la finalidad de incrementar la productividad del cultivo y reducir el efecto de plagas implementando medidas sustentables afines con el ambiente como la polinización manual para incrementar la cantidad y calidad de frutos y control de plagas. La baja productividad del chirimoyo se atribuye a la dicogamia protoginica y a la falta de insectos polinizantes eficientes que trae como consecuencia un limitado amarre de frutos a causa de una mala polinización en condiciones normales de cultivo; esta metodología mejoró la producción de frutos en 80% según Apolonio Rodríguez (2015). Dominada la técnica de la polinización manual, se procedió a reducir el impacto de insectos plaga, como el barrenador de frutos *Talponia batesi*, mediante la implementación de embolsado de frutos. En este experimento se utilizaron 400 frutos para su evaluación; se seleccionaron visualmente para realizar el embolsado tomando en cuenta la ausencia de perforaciones atribuidas a *T. batesi* y que presentaran un diámetro de 2.5-3.5 cm o su equivalente a cinco semanas después de haber realizado la polinización manual de las flores. El embolsado se llevó a cabo de julio a septiembre de 2012, debido a que los frutos tuvieron distintas fechas de polinización y por lo tanto distintos periodos de desarrollo. Se embolsaron 270 frutos con los siguientes tratamientos: embolsado con polietileno (25.5 × 35 cm), embolsado con papel encerado (23.5 × 26.5 cm) y embolsado con polipropileno (23.5 × 26.5 cm). Los frutos empleados como testigos no se embolsaron y se evaluaron 30 frutos por cultivar y/o selección.

El embolsado de frutos, sin importar el material de elaboración de las bolsas, redujo significativamente el número de perforaciones y semillas dañadas ocasionadas por *T. batesi* en los tres materiales de chirimoya evaluados (cuadro 1). Las otras variables morfológicas mostraron diferencias distintivas en cada cultivar y/o selección como era de suponerse y a lo reportado previamente por Anderson y Richardson (1990).

Los tratamientos con bolsas de papel encerado y polietileno tuvieron una eficacia de 70 y 60%; los tratamientos con polipropileno y con el testigo fueron los más afectados con 82 y 92% de fruta dañada. Los resultados obtenidos difieren de los reportados previamente por Broglio Micheletti *et al.* (2001) y Toledo Pereira *et al.* (2009) para el control de *Bephratelloides pomorum* y *C. anonella* en guanábana, saramuyo y atemoya. La eficacia del embolsado contra las plagas señaladas fue de 80 a 90% y pueden atribuirse a la capacidad de las larvas de *T. batesi* de perforar las bolsas, principalmente las de polipropileno, y causar el mayor número de perforaciones en el fruto.

Los resultados obtenidos por cultivar y/o selección (cuadro 1) difirieron en cuanto a la efectividad de los tratamientos. En las variedades Concha lisa y Bays se observó que el tratamiento con mejores resultados fueron las bolsas de papel encerado con el menor número de orificios de salida (4.2 y 2.4); mientras que

Selene tuvo mejor efecto con el polietileno con un promedio de orificios de salida de 4.2 por fruto, pero en las tres variedades embolsadas con polipropileno fue el menos efectivo seguido del testigo.

El tipo de material en la elaboración de las bolsas juega un papel importante en la reducción de daños atribuidos a plagas. Broglio Micheletti *et al.* (2001) concluyeron que el embolsado de frutos con tela y papel impermeable redujeron significativamente el número de perforaciones atribuidas a *B. pomorum* y *C. anonella* en frutos de guanábana, cuantificando en promedio 0.38 a 3.26 perforaciones por fruto. Resultados similares fueron reportados por Hernández-Fuentes *et al.* (2008), quienes reportaron 1.6 perforaciones de *B. cubensis* por fruto de guanábana con el uso de embolsados con tela de organza.

El embolsado con polipropileno no fue el mejor tratamiento; *T. batesi* logró ovipositar sobre los frutos embolsados con este material y las larvas perforaron las bolsas, provocando daño en los frutos; aunque este tipo de material favoreció una mejor coloración de los frutos. Este comportamiento fue reportado previamente por Hernandez *et al.* (2013), quienes concluyeron que el embolsado de frutos de durazno con polipropileno mejoró la calidad estética de los frutos, pero el daño por moscas de la fruta (*Anastrepha* sp. y *Cerartitis capitata*) fue mayor que en los otros tratamientos evaluados. El embolsado con papel encerado tuvo la desventaja de infestarse por hongos en el interior y exterior de la bolsa, lo cual afectó la piel de los frutos aunque no la pulpa; el material exhibió resistencia a las lluvias, pero algunas bolsas se rompieron de la parte lateral en las dos últimas semanas previas a la cosecha a causa de daños mecánicos por las ramas y el desarrollo de los frutos; por otra parte las bolsas de polietileno permitieron la visualización y facilitaron la manipulación de los frutos para embolsar e identificar el momento adecuado de cosecha; sin embargo permitieron acumulación de agua, favoreciendo un ambiente de mayor humedad; como consecuencia también hubo problemas por hongos (Nava García *et al.*, 2016).

Para el número de semillas dañadas el embolsado de frutos con papel encerado y polietileno presentaron un menor porcentaje con respecto al polipropileno y éste a su vez tuvo mejores resultados que los frutos sin embolsar. Referente al tipo de cultivar, el número de semillas dañadas por tratamiento de la variedad Concha lisa fue la que presentó mayor daño seguida de Bays y Selene; cabe mencionar que esto pudiera reflejar que el insecto no tiene una preferencia por el número de semillas como se sospechaba, puesto que la variedad Bays mostró mayor peso total de las semillas seguida de Concha lisa y Selene; esto aunado a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) en el número total de semillas por variedad, reflejando que *T. batesi* no fue selectivo al elegir un fruto por la cantidad de semillas presentes. El tamaño final del fruto por cultivar en términos de diámetro y peso en los tratamientos de embolsado no fueron más altos que en el control, por lo que el embolsado con estos

tratamientos no favoreció un aumento en el crecimiento de los frutos (Nava García *et al.*, 2016).

La relación más representativa en cuanto al control de *T. batesi* se observó entre el número de semillas dañadas y los orificios de salida, por lo que conforme se incrementó el número de larvas de *T. batesi* se incrementó el número de semillas dañadas por fruto, trayendo como resultado no sólo la afectación de la calidad externa, sino también del interior y hasta la pérdida total del fruto; esto se notó al observar que el daño que causa el barrenador en el interior del fruto propicia la contaminación de la pulpa con excretas y favorece el ataque por microorganismos oportunistas como hongos; aunado a que el promedio de los 50 frutos en observación para la cuantificación de orificios de entrada fue de 11.7 orificios por fruto, con mayor incidencia en los meses de julio y agosto (Nava García *et al.*, 2016).

El embolsado de frutos de chirimoya, independientemente del tipo de material utilizado, es una técnica eficiente para el control de *T. batesi*; los tratamientos de encerado y polietileno mostraron ser efectivos en contra del ataque por este insecto, evitando el daño externo e interno; además evitó la deformación del fruto por los orificios de entrada; en trabajos posteriores se sugiere la aplicación de un biofungicida previo al embolsado como lo menciona Coelho *et al.* (2008) para evitar daños por patógenos.

## Conclusiones

La creciente demanda de alimentos por una población creciente obliga al uso indiscriminado de insumos de origen sintético que traen como consecuencia alteraciones ambientales que finalmente se revierten negativamente al hombre. La polinización artificial y el embolsado de frutos implementados en el cultivo de chirimoya son una muestra de mejora en la productividad y sanidad de los frutos a cosechar; estas medidas sustentables pueden contribuir en la mejora económica de los productores locales, haciendo más rentable el cultivo de esta especie frutal, altamente cotizada y apreciada en los mercados locales de México y en el mercado internacional.

Finalmente, las diferentes alternativas sustentables de manejo de insectos plagas y enfermedades descritas en el presente capítulo permiten sugerir su posible uso como una alternativa adicional en el manejo ecológico de plagas de sistemas orgánicos o en el tradicional manejo integrado de liliun, cempasúchitl, maíz y chirimoya, que redunden en una reducción en los costos de producción así como en un menor impacto en la contaminación del ambiente.

## Bibliografía

- Álvarez Solís, J. D., D. A. Gómez Velasco, N. S. León Martínez y F. A. Gutiérrez Miceli (2010), "Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz", *Agrociencia*, 44: 575-586.
- Anderson, P., y A. Richardson (1990), "Which Cherimoya Cultivar is Best?", *Orchardist of New Zealand*, 63: 17-19.
- Apolonio, I., A. Castañeda, O. Franco, E. J. Morales, y A. González (2015), "Influencia de la fuente de polen y su efectividad en la calidad de frutos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.)", *Agron. Costarric.*, 39 (1): 61-69.
- Broglia Micheletti, A. G., S. de Melo Agra, G. V. S. Barbosa y F. L. Gomes (2001), "Controle de *Cerconota anonella* (Sepp.) (Lep.: Oecophoridae) e de *Bephratelloides pomorum* (Fab.) (Hym.: Eurytomidae) em frutos de graviola (*Annona muricata* L.)", *Rev. Bras. Frut.*, 23: 722-725.
- Burnett, S. E., N. S. Mattson y K. A. Williams (2016), "Substrates and Fertilizers for Organic Containers Production of Herbs, Vegetables, and Herbaceous Ornamental Plants Grown in Greenhouses in the United States", *Sci. Hort.*, 208: 111-119.
- Carneiro, J. S., y E. F. Becerril (1993), "Controle das brocas dos frutos (*Cerconota anonella*) e das sementes (*Bephratelloides maculicolis*) da graviola no planalto da Ibiapaba, CE", *Ana. Soc. Entomol. Bras.*, 22: 155-160.
- Castañeda Vildózola, A., O. Franco Mora, J. Valdez Carrasco, S. Aguilar Medel, S. Ortiz Curiel y C. Ruiz Montiel (2013), "New Records of Cherimola Fruit Borer *Talponia batesi* Heinrich (Lepidoptera: Tortricidae) in Mexico", *Southwest Entomol.*, 38: 535-540.
- Coelho, L. R., S. Leonel y B. W. Crocomo (2008), "Avaliação de diferentes materiais no ensacamento de pêssegos", *Rev. Bras. Frut.*, 30: 822-826.
- Dos Santos, F. T., F. Ludwig, L. A. M. Costa, M. S. S. M. Costa, M. B. Remor y P. E. R. Silva (2016), "Growth Analysis of Potted Gerbera Conducted with Mineral Fertilization and Organic Fertigation", *Cienc. Inv. Agra.*, 43: 415-425.
- Félix Herrán, J. A., R. R. Sañudo Torres, G. E. Rojo Martínez, R. Martínez Ruiz y V. Olalde Portugal (2008), "Importancia de los abonos orgánicos", *Ra Ximhai*, 4: 57-67.
- García-Nava, E. S., A. Castañeda Vildózola, O. Franco Mora, J. R. Sánchez Pale, R. Vaca Paulín y L. M. Hernández Fuentes (2016), "Control de *Talponia batesi* Henrich (Lepidoptera: Tortricidae) mediante embolsado de frutos en chirimoya (*Annona cherimola* MILL.)", *Bol. Mus. Entomol. Uni. Valle* 17 (1):1-7.
- Gómez Rodríguez, O., y E. Zavaleta Mejía (2001), "La asociación de cultivos,

- una estrategia más para el manejo de enfermedades, en particular con *Tagetes spp*”, *Rev. Mex. Fitopatol*, 19 (1): 94-99.
- Guillermo, G. A. (2015), “Evaluación de la calidad de *Lilium cv. Pensacola* abonado con lixiviados de lombrihumus”, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM, Toluca, Estado de México.
- Fuentes, S. F., M. de L. de la Isla, A. J. Ullstrup y E. Rodríguez A. (1964), “*Claviceps gigantea*, A New Pathogen of Maize in México”, *Phytopathology* 54: 379-381.
- Hernandes, J. L., B. G. Constantino y P. M. J. Júnior (2013), “Controle de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em cultivo orgânico de ameixa pelo ensacamento dos frutos com diferentes materiais”, *Rev. Bras. Frut.*, 35: 1209-1213.
- Hernández Fuentes, A. D., M. R. Campos y J. M. Pinedo Espinoza (2010), “Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus”, *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcos.*, 11: 82-91.
- Hernández Fuentes, L. M., N. Bautista Martínez, J. L. Carrillo Sánchez, H. Sánchez Arroyo, M. A. Urías López y M. D. Salas Araiza (2008), “Control del barrenador de las semillas, *Bephratelloides cubensis* Ashmead (Hymenoptera: Eurytomidae) en guanábana, *Annona muricata* L. (Annonales: Annonaceae)”, *Acta Zool. Mex.*, 24: 199-206.
- León, C. de (2008), “Principales enfermedades”, en C. de León, C., y R. Rodríguez Montessoro (eds.) *El cultivo del maíz. Temas selectos*, Mundi-Prensa, México, 127 pp.
- Martínez Luna, G., F. Mejía Sánchez, J. H. Serment Guerrero y J. Castillo Cadena (2014), “Quality Spermatic Alterations in Floriculturist Exposed to Pesticides in Villa Guerrero, State of Mexico”, *Amer. J. Agr. For.*, 2: 284-288.
- Meléndez Carbajal, B. (2015), “Control biológico de *Claviceps gigantea* Fuentes et al. y *Fusarium verticilloides* (Sacc.) Nirenberg con hongos antagonistas nativos del valle de Toluca, México, en condiciones *in vitro*”, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM, Toluca Estado de México, 82 pp.
- Méndez García, E. F. (2009), “Cultivo de marigol (*Tagetes erecta* L.) en el Perú: presente y futuro”, tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado, Lima, Perú, 114 pp.
- Oliva, M., C. Rodríguez J. y G. Silva (2005), “Estudio exploratorio de los problemas de salud humana derivados del uso de plaguicidas en Bella Vista, Estado de México, México”, *Man. Integ. Plag. Agroecol*, 76: 71-80.
- Peña, J. E., H. Nadel, M. Barbosa Pereira y D. Smith (2002), “Pollinators and Pests of *Annona* Species”, en J. E. Peña, J. L. Sharp y M. Wysoky (eds.),

- Tropical Fruit Pest. Biology, Economic Importance, Natural Enemies and Control*, CAB International, Londres, pp. 197-222.
- Pérez, E. R., e I. A. Aguilar (2012), *Agricultura y contaminación del agua*, UNAM, México, 288 pp.
- Ramírez, Z. G., y J. L. Chávez, S. (2014), “Mejoramiento genético de ornamentales en el Estado de México”, Gobierno del Estado de México, Toluca, México, 16 pp.
- Rodríguez Landero, A. C., O. Franco Mora, E. J. Morales Rosales, D. J. Pérez López y A. Castañeda Vildózola (2012), “Efecto del 1-MCP en la vida poscosecha de *Lilium* spp. fertilizado foliarmente con calcio y boro”, *Rev. Mex. Cienc. Agr.*, 3: 1623-1628.
- Romero, C. S. (1993), *Hongos fitopatógenos*, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México, 347 pp.
- Romero, C. S. (1996), *Plagas y enfermedades de ornamentales*, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México, 244 pp.
- Sagarpa (2012), “Garantizada la disponibilidad de flores para cubrir la demanda nacional”, comunicado de prensa 098/12, México, en <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Documents/B0122012.pdf>. Consultado el 14 de febrero de 2012.
- , (2013), boletín de prensa, Delegación Federal del Estado de México, en <http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/edomex/boletines/2013/octubre/Documents/B0602013.pdf>. Consultado el 2 de abril de 2017.
- Sharma, R. R., S. V. R. Reddy y M. J. Jhalegar (2014), “Pre-Harvest Fruit Bagging: A Useful Approach for Plant Protection and Improved Post-Harvest Fruit Quality-A Review”, *J. Hortic Sci. Biotech*, 89:101-113.
- SIAP (2014), “Cierre de la producción agrícola por cultivo”, en <http://infosiap.siap.gob.mx>. Consultado el 13 de agosto de 2016.
- Singh, B., y J. Ryan (2015), “Managing Fertilizers to Enhance Soil Health”, IFA, París, Francia, 23 pp.
- Toledo Pereira, M. C., N. Bandeira, R. C. A. Júnior, S. Nietzsche, M. X. de Oliveira Júnior, C. D. Alvarenga, T. M. dos Santos y J. R. Oliveira (2009), “Efeito do ensacamento na qualidade dos frutos e na incidência da broca-dos-frutos da atemoieira e da pinheira”, *Bragantia*, 68: 389-396.
- Vázquez Moreno, C. (2016), “Manejo de enfermedades foliares con *Trichoderma* spp. *Bacillus subtilis* en cempasúchil (*Tagetes erecta*) del Valle de Toluca”, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, 77 pp.
- Villar Martínez, A. A. del, M. Á. Serrato Cruz, A. Solano Navarro, M. L. Arenas Ocampo, A. G. Quintero Gutiérrez, J. L. Sánchez Millán, S. Evangelista Lozano, A. Jiménez Aparicio, F. A. García Jiménez y P. E. Vanegas Es-

- pinoza (2007), “Carotenoides en *Tagetes erecta* L. La modificación genética como alternativa”, *Rev. Fitot. Mex.*, 30 (2): 109-118.
- Ying, K., J. R. Bai, X. D. Kong, X. Y. Dou y N. Y. Wang (2014), “Floral Scent Composition of *Lilium* ‘Regale’ Wilson”, *Acta Hort.*, 1027: 81-86.
- Yu, L. H., J. Wu, H. Tang, Y. Yuan, S. M. Wang, Y. P. Wang, Q. S. Zhu, S. G. Li y C. B. Xiang (2016), “Overexpression of *Arabidopsis* NLP7 Improves Plant Growth under Both Nitrogen-Limiting and-Sufficient Conditions by Enhancing Nitrogen and Carbon Assimilation”, *Sci. Rep.*, 6: 27795.

## *Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum* en la producción sustentable de *Chrysanthemum* spp. cv polaris white

MARTÍN RUBÍ ARRIAGA,<sup>1\*</sup> ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA,<sup>1</sup>  
VÍCTOR OLALDE PORTUGAL,<sup>2</sup> DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ,<sup>1</sup>  
JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ DÁVILA<sup>1</sup> y FRANCISCO GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ

### Resumen

El Estado de México aporta 44% (6 731 ha) de la superficie establecida con cultivos ornamentales en México y se ubica como líder en esta actividad; el crisantemo (*Chrysanthemum* spp.) se cultiva en 43.7% de esta superficie y es el principal producto. Para satisfacer la calidad, volumen y continuidad que requiere el mercado, los productores de esta especie desarrollan programas basados en un elevado consumo de productos químicos, como los fertilizantes, que originan serios problemas al ambiente; el uso de biofertilizantes es una alternativa para su sustitución parcial. Con el propósito de estudiar los efectos de *Bacillus subtilis*, *Glomus fasciculatum* y sus interacciones con la época de inoculación y la dosis de fertilización sobre el crecimiento y la calidad de flor en *Chrysanthemum* cv. Polaris white, en 2015 bajo cubierta plástica se establecieron 36 tratamientos en un diseño completamente al azar, en un arreglo factorial  $2 \times 2 \times 3 \times 3$ . Los tratamientos con ambos simbiontes más 50% de fertilización química incrementaron 20.6% el diámetro de la flor, 11% la intensidad del color, 36% el contenido de fenoles, 65.8% sólidos solubles, 11.72% N y 17% K en tallo, y sin fertilizante 48.14% de N en flor, 24 y 25.6% de P en tallo y en flor, respectivamente, y 16.6% de K en flor. Ambos microorganismos rizosféricos interactuaron positivamente para mejorar la calidad de la flor con menos fertilizantes químicos.

*Palabras clave:* rizobacterias, micorrizas, calidad de la flor, agricultura sustentable.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIEAF), Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, km 15.5 carretera Toluca-Ixtlahuaca, C. P. 50200.

<sup>2</sup> Cinvestav-IPN, Unidad Irapuato, Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Laboratorio de Bioquímica Ecológica, Unidad Irapuato, km. 9.6, libramiento norte carretera Irapuato-León, Irapuato, Guanajuato, C. P. 36500.

\* Autor para correspondencia: mrubia@uaemex.mx; m\_rubi65@yahoo.com.mx. Tel. (52 722) 2965518 exts. 193 o 127.

## Introducción

México dedica 15 221 hectáreas a la producción de ornamentales; de ellas 6 731 ha, equivalentes a 44% de la superficie, se encuentran en el Estado de México, por lo que éste ocupa el liderazgo nacional en la producción de flor de corte, y la horticultura ornamental se ha convertido en un detonador de su economía. En esta entidad mexiquense prevalece el cultivo de 19 especies; el crisantemo (*Chrysanthemum* spp.) se ha consolidado como la de mayor importancia al ocupar una superficie sembrada de 2 942.5 ha que representan 43.7% de la superficie florícola estatal; se producen 15 329 173.73 gruesas con un valor de producción de 2 146 997.860 pesos, que superan dos veces la superficie del gladiolo (*Gladiolus* spp.) y cinco la de rosa (*Rosa* spp.), ubicadas en segundo y tercer lugar, respectivamente (Anónimo, 2013).

Con el propósito de satisfacer las demandas de calidad, volumen y continuidad que requieren los mercados nacional e internacional, los productores de crisantemo han establecido programas de manejo basados en el uso indiscriminado de fertilizantes, que colateralmente ocasionan degradación en los componentes del sistema (Chang *et al.*, 2010; Rubí *et al.*, 2012a). Ante los problemas ocasionados al medio ambiente, la salud humana y la economía, resulta necesario fortalecer el desarrollo sustentable en la producción de ornamentales basado en la búsqueda de alternativas eficientes y económicas que permitan enfrentar un mercado cada día más exigente, en el cual los consumidores demandan flores cultivadas de manera adecuada y donde la nutrición cobra un papel fundamental (Chang *et al.*, 2010).

Una alternativa importante para lograr tal fin es el uso de los hongos micorrizico arbusculares (HMA) y las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) (Olalde y Mena, 2009; Jaizme Vega y Rodríguez Romero, 2008; Vessey, 2003; Ferrol *et al.*, 2002). Los primeros forman una asociación mutualista al colonizar la raíz de las plantas, lo cual contribuye al abastecimiento de los requerimientos de nutrientes y agua; éstos forman hifas capaces de explorar un mayor volumen de suelo que las raíces mismas (Smith *et al.*, 2011), y se han utilizado para mejorar la producción de un importante número de cultivos ornamentales (Perner *et al.*, 2007; Callejas *et al.*, 2009; Maya Matsubara, 2013).

Entre las rizobacterias destaca *Bacillus subtilis*, una bacteria gram positiva que posee la capacidad de formar esporas y coloniza raíces, por lo que participa activamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas al involucrarse en mecanismos de solubilización y asimilación de nutrimentos, entre ellos los fosfatos; asimismo participa en la síntesis de metabolitos y reguladores de crecimiento y también modifica la estructura de la raíz (Cárdenas *et al.*, 2007; Olalde y Mena, 2009), parámetros involucrados en la producción de jitomate (*Lycopersi-*

con *esculentum* Mill.) (Mena y Olalde, 2007), azafrán (*Crocus sativus*) (Sharaf *et al.*, 2008) y crisantemo (*Chrysanthemum* spp.) (Tan, 2005).

Recientes investigaciones han mostrado la utilidad de la inoculación conjunta con *B. subtilis* y *G. fasciculatum* en la producción agrícola (Olalde y Mena, 2009; Main y Franco, 2011) e incluso en ornamentales (Cárdenas *et al.*, 2007; Rubí *et al.*, 2009; 2012a,b); pero es necesario generar mayor conocimiento sobre esta alternativa nutricional para la producción sustentable de cultivos ornamentales sin incrementar los costos económicos y los daños ambientales.

Con base en lo anterior se estableció el presente trabajo para estudiar los efectos de *Bacillus subtilis*, *Glomus fasciculatum* y sus interacciones con inóculo, época de aplicación y dosis de fertilización en las variables de crecimiento y calidad de la flor en *Chrysanthemum* cv. Polaris withe.

## Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló de febrero a junio de 2015 bajo condiciones de cubierta plástica en una parcela ubicada en la localidad Loma de Acuitlapilco, en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México, México, localizada a una altitud de 2 400 m, entre 18° 54' norte y 99° 47' oeste, con una temperatura promedio de 28° C durante el día y 10° C por la noche.

### *Material biológico*

Se utilizaron plantas de *Chrysanthemum* cv. Polaris white, provenientes de la empresa Plantamar ubicada en el municipio de Tenancingo, Estado de México; éstas fueron propagadas por enraizamiento de esquejes y tenían una edad aproximada de dos semanas.

### *Plantación*

El trasplante se realizó en camas de un metro de ancho por 30 m de longitud, previamente preparadas y desinfectadas con Iodomín (Alquilfenox I polietoxietanol-yodo, equivalente a 90 g con 17.5 g de yodo), en dosis de 1 l ha<sup>-1</sup>; las plantas se colocaron a una distancia de 15 y 10 cm entre líneas. El riego se aplicó cada cuatro días.

### *Inoculación*

Ésta se realizó alrededor del cuello de la raíz de cada planta; se utilizaron 2 ml de una suspensión con 1x10<sup>7</sup> ufc\*mL de *Bacillus subtilis* BEB-LSbs (BS-13) (ab-

sorbancia 0.1 a 535 nm) por planta. Se distribuyeron 2 g de inóculo constituido de un suelo limoso con 73 esporas por gramo de *Glomus fasciculatum* y fragmentos de raíz con 50% de colonización. La inoculación con ambos se efectuó en tres ocasiones; un día, 20 días y 40 días después del trasplante. Ambos inóculos fueron proporcionados por el Laboratorio de Bioquímica Ecológica del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Unidad Irapuato.

### *Manejo agronómico*

A excepción de la inoculación y de la fertilización en los tratamientos correspondientes, el manejo agronómico en las unidades experimentales correspondió al que aplican los productores en esta especie, basado en riegos, control de malezas manual, tutorado, desbotonado y control fitosanitario. Por planta se aplicó el tratamiento de fertilización utilizado tradicionalmente por el productor; 2.5 g de fosfato diamónico (18-46-00), 2.5 g de triple 18 y 2.5 g de 15-5-20 a los 15, 70 y 90 días del trasplante, respectivamente.

### VARIABLES EVALUADAS

#### *Variables vegetativas*

Número de brotes (NB): se contabilizó en 30 plantas a la quinta semana del trasplante. Altura de la planta (cm) (AP): medida en 30 plantas, desde la base del tallo hasta el ápice floral.

#### *Variables de calidad*

Diámetro de la inflorescencia (cm) (DF): registrada al cosechar, en 18 unidades experimentales, utilizando un vernier digital mod. CD-6" C Mitutoyo. Peso fresco (g) (PF): con una balanza digital Sartorius i 1800 ésta se registró diariamente en 18 unidades experimentales desde el corte hasta que terminó la vida en florero. Índice de verdor (unidades spa) (SP): con un medidor de clorofila (Chlorophyllmeter SPAD-502 modelo Konica-Minolta) se registraron los datos en tres inflorescencias, el primero y último día que permanecieron en el florero, en las tres primeras hojas (parte apical). Color de la inflorescencia (L, a, b): con un fotocolorímetro Chroma Meter CR-400 Modelo Konica-Minolta, cada tercer día se registró una lectura tres veces. Fenoles ( $\text{mg g}^{-1}$  PF) (F): Se utilizó el método Folin ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994), citado por Barrón-Yáñez *et al.* (2011). Sólidos solubles ( $^{\circ}$  Bx) (SS): se molió un gramo de hoja en 10 ml de

agua destilada y se realizó por triplicado el análisis con un refractómetro Pocket Refractometer PAL-1 Modelo ATAGO, en una muestra colocada sobre el cristal de refracción; éste se limpió con agua destilada y se secó perfectamente con un papel toalla para tomar la siguiente lectura.

### *Variables de nutrición*

Concentración de N, P, K (ppm): Se lavaron varias veces hojas, tallos e inflorescencias de tres plantas con una solución jabonosa al 2% y se enjuagaron con agua destilada; posteriormente se dejaron escurrir en papel revolución para ser secadas en una estufa de circulación forzada a 60° C durante 72 horas; cada parte (tallo con hojas e inflorescencias) se maceraron por separado de acuerdo con el método descrito por Alcántar y Sandoval (1999). Más tarde se realizaron los análisis de Nitrógeno total, fósforo y potasio con los métodos de Kjeldahl, de Vanadato-Molibdato Amarillo y de Emisión de llama-Flamometría, respectivamente (Alcántar y Sandoval, 1999).

### *Diseño experimental*

Este experimento se estableció en un diseño completamente al azar, en un arreglo factorial, 2x2x3x3: el factor A fue *B. subtilis* (50 y 100%), el factor B tuvo a *G. fasciculatum* (50 y 100%), el factor C correspondió a la fertilización química (0, 50 y 100%) y el factor D fueron épocas de inoculación (1, 20 y 40 días después del trasplante) (DDT). Cada uno de los 36 tratamientos tuvo tres repeticiones, cada repetición constó de 32 plantas y una planta fue una unidad experimental. El tratamiento testigo no consideró inoculación ni fertilización (cuadro 1).

Para cada variable se realizó un análisis de varianza y las medias de cada factor de estudio fueron comparadas con la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 5%. Además se realizó un análisis de componentes principales (ACP), empleando el programa descrito por Sánchez (1995) y aplicado por González *et al.* (2010) y Rubí *et al.* (2012a,b). Esta metodología multivariada permite la inspección de una matriz de datos para el cálculo de varianzas y correlaciones aproximadas; los tratamientos se asignaron a las hileras y las variables a las columnas. En una gráfica del biplot se representó simultáneamente en dos dimensiones; el mayor porcentaje de la variación de los datos originales para determinar visualmente si existieron patrones entre los tratamientos como resultado de los valores de las variables; qué variables separaron los grupos definidos y qué relación existió entre las variables. El ACP se obtuvo con el Sistema para Análisis Estadístico (SAS/IML) y la gráfica del biplot se generó con el programa Microsoft Excel (González *et al.*, 2010; Rubí *et al.*, 2012a, b).

CUADRO 1. *Tratamientos establecidos en campo.*

Trat.	*B. s	**G. f	***F. Q	****E. I	Trat.	*B. s	**G. f	***F. Q	****E. I
1	50	50	SF		19	100	50	SF	
2	50	50	50	1 DDT	20	100	50	50	1 DDT
3	50	50	100		21	100	50	100	
4	50	50	SF		22	100	50	SF	
5	50	50	50	20 DDT	23	100	50	50	20 DDT
6	50	50	100		24	100	50	100	
7	50	50	SF		25	100	50	SF	
8	50	50	50	40 DDT	26	100	50	50	40 DDT
9	50	50	100		27	100	50	100	
10	50	100	SF		28	100	100	SF	
11	50	100	50	1 DDT	29	100	100	50	1 DDT
12	50	100	100		30	100	100	100	
13	50	100	SF		31	100	100	SF	
14	50	100	50	20 DDT	32	100	100	50	20 DDT
15	50	100	100		33	100	100	100	
16	50	100	SF		34	100	100	SF	
17	50	100	50	40 DDT	35	100	100	50	40 DDT
18	50	100	100		36	100	100	100	

\*B. s: *B. subtilis*, 1 ml por planta = 50% y 2 ml = 100%, \*\*G. f: *G. fasciculatum*, 1 g por planta como 50% y de 2 g = 100%, \*\*\*F. Q: fertilización química, 1.25 g = 50% y 2.5 g = 100%, SF: sin fertilización y \*\*\*\*E. I: épocas de inoculación, 1, 20 y 40 días después del trasplante.

## Resultados

### *Variables vegetativas*

En número de brotes hubo diferencias significativas  $p \leq 0.05$  (cuadro 2), entre tratamientos: el tratamiento 100% de *B. subtilis* + 100% de *G. fasciculatum* + 100% de la fertilización química aplicado a los 20 días del trasplante presentó los mejores resultados. En altura de planta también se encontró significancia estadística ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos, y el mejor resultado se obtuvo con 100% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 100% de fertilización química

CUADRO 2. Cuadrados medios, significancia estadística de los valores de F, media aritmética y coeficiente de variación (CV) para las variables vegetativas y de esfuerzo reproductivo.

F.V	NB	AP	DF	L	A	B	PF	SP	SS	F	NT	FT	PT	NF	FF	PY
Trat	0.16*	47.8*	39.1**	6.13ns	0.67**	5.4**	6.58**	14.29ns	0.016*	0.054ns	0.055**	59.42**	1735**	0.036**	6.58**	2147*
Rep	0.03ns	7.2ns	1.3ns	5.35ns	0.01ns	0.3ns	2.18ns	2.74ns	0.012ns	0.907**	0.002ns	15.6ns	280ns	0.009ns	2.18ns	5.86ns
Error	0.94	30.5	12.3	5.18	0.34	2.4	1.85	17.47	0.007	0.057	0.006	14.58	580	0.008	1.85	834
Media	3.28	50.9	106	89.1	-4.68	15.6	15.29	6.98	0.49	1.26	1.35	45.95	446	0.57	15.29	543
C. V. (%)	9.34	10.8	3.2	2.55	-12.62	9.88	8.9	6.74	17.44	18.96	5.97	8.31	5.3	15.52	8.9	5.3

FV = fuente de variación, NB = número de brotes, AP = altura de la planta, DF = diámetro de la inflorescencia, L, A y B = color de la inflorescencia, PF = peso fresco, SP = índice de verdor (SPA), SS = sólidos solubles, F = fenoles, NT = nitrógeno en tallo, FT = fósforo en tallo, PT = potasio en tallo, NF = nitrógeno en inflorescencia, FF = fósforo en inflorescencia, PY = potasio en inflorescencia.

aplicado un día después del trasplante; la altura promedio fue de 58.16 cm, y ésta superó en un 25.53% al control (cuadro 3).

### *Variables de calidad*

En diámetro de la inflorescencia el tratamiento que mejores resultados presentó es el conformado por 100% de la rizobacteria + 100% del HMA + 50% de fertilizante químico, aplicado 20 días después del trasplante (cuadros 2 y 3); éste tuvo un valor de 11.45 cm y superó en 20.6% al control. En los parámetros (a) (brillantez) y (b) (intensidad) se obtuvo significancia estadística  $p \leq 0.05\%$ , y los mejores resultados los arrojaron los tratamientos 100% de rizobacteria + 50% del hongo + 100% de fertilización química, al primer día del trasplante, y 100% de la rizobacteria + 50% del hongo + 50% de fertilizante químico aplicado un día después del trasplante, respectivamente. En el parámetro (L) (luminosidad) no hubo significancia estadística (cuadros 2 y 3).

En peso fresco de la planta los mejores resultados se encontraron en la aplicación de 50% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 00% de fertilizante químico, aplicados un día posterior al trasplante; el valor promedio fue de 18.0 g, y éste superó al control en 25.8%. Para Índice de verdor (Unidades SPA) destacó la aplicación de 50% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 50% de fertilizante químico, a los 20 días de la plantación, que fue superior en 14.2% al control. En sólidos solubles los mejores tratamientos tuvieron 100% de *B. subtilis* + 100% de *G. fasciculatum* + 50% de fertilizante aplicados a los 20 días del trasplante y 50% de *B. subtilis* + 100% de *G. fasciculatum* + 50% de fertilizante químico aplicados a los 40 días de la plantación, con un incremento de 65.8% con respecto al control. En fenoles el mejor tratamiento fue 100% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 50% de fertilización química, aplicados a los 20 días de la plantación, con un valor de 36.06% mayor que el control.

### *Variables de nutrición*

En tallo hubo significancia estadística entre tratamientos (cuadro 2), para N, P y K: en N con la aplicación de 100% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 50% de fertilizante químico, suministrados a los 20 días de la plantación; se alcanzó la mayor concentración (11.72%) superior al testigo. Para fósforo (P) 50% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 00% de fertilizante químico al día siguiente de la plantación y 50% *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 100% de fertilizante químico a los 40 días del trasplante (24.1 y 22.9%, respectivamente) superaron al control. Para potasio (K) 100% de *B. subtilis* + 100% de *G. fasciculatum* + 50% de fertilizante químico aplicados a los 40 días de establecido el experimento mostró los mejores resultados (17.0% más que el control).

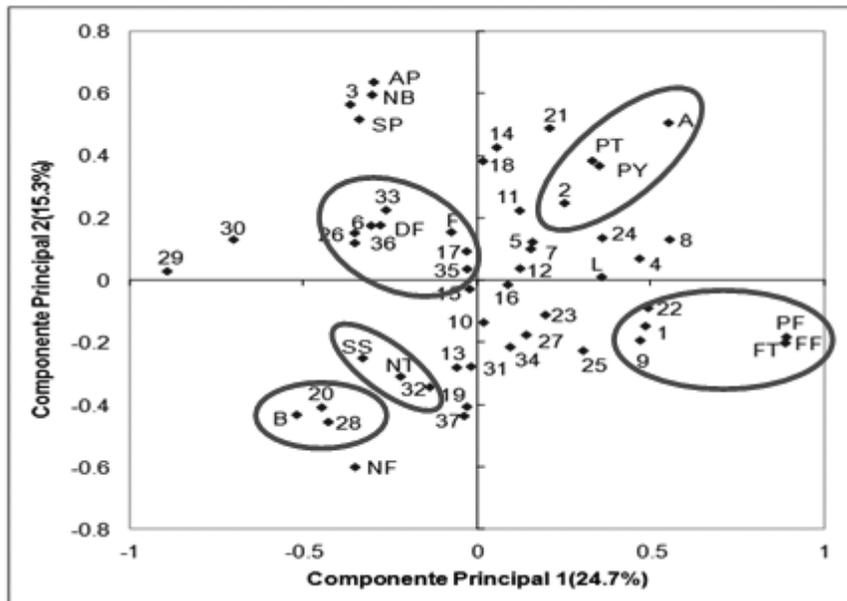
En la inflorescencia 100% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 00% de fertilizante químico, aplicados un día después de la plantación, permitió alcanzar una concentración de 0.80 de N, superior al testigo en 48.14%. En P los mejores resultados se obtuvieron con 50% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 00% de fertilizante químico suministrados el día siguiente del trasplante y con 50% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 100% de fertilizante químico a los 40 días del trasplante, superior al testigo en 25.6%. Para K 50% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 00% de fertilizante químico, aplicados 40 días después del trasplante, superó estadísticamente al resto de los tratamientos (16.68% mayor que el control).

*Análisis de componentes principales*

Esta metodología multivariada permitió verificar que la dispersión de los 37 tratamientos y las 16 variables en los cuatro cuadrantes del biplot sugiere que entre éstos y en sus interrelaciones existen diferencias significativas (figura 1).

El CP1 se explicó principalmente por PF, FF y FT y el CP2 se asoció más estrechamente con AP, NB, SP, A y NF (figura 1). Las 16 variables evaluadas se clasifican en cuatro grupos, uno para cada cuadrante del biplot. El tratamiento 3 (50%

FIGURA 1. Interrelaciones entre 37 tratamientos (*B. subtilis* + *G. fasciculatum* + fertilización química y época de inoculación) y 16 variables registradas en crisantemo cv Polaris White.



CUADRO 3. Comparación de medias de tratamientos con la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) ( $p \leq 0.05$ ).

Núm. Trat.	Variables																
	NB	AP	DF	L	A	B	PF	SP	SS	F	NT	FT	PT	NF	FF	PY	
1	3.12d-i	49.29a-f	101.9k	88.96a	—	4.81b-h	16.1a-g	18.0a	61.2a-d	0.45c-f	1.34a-e	1.07p	53.66a	431.3d-j	0.45j-l	18.00a	530.3c-i
2	3.29a-i	54.83a-f	105.2f-k	89.73a	—	4.21a-d	14.6e-j	16.0a-f	62.6a-d	0.43d-f	1.19b-e	1.28h-m	48.33a-f	446.0a-i	0.44kl	16.00a-f	548.6a-h
3	3.62a-c	55.54a-c	106.3d-k	87.96a	—	4.57b-h	15.5b-i	12.6h-j	64.2a-c	0.38f	1.38a-e	1.31g-m	38.33j-l	461.6a-f	0.41l	12.66b-j	568.0a-d
4	2.92h-i	44.46f	106.2d-k	90.18a	—	4.11a-c	13.6g-j	16.0a-f	62.2a-d	0.43d-f	1.09de	1.20m-o	48.00a-g	465.3a-d	0.47i-l	16.00a-f	572.3a-c
5	3.39a-h	51.67a-f	110.3a-f	89.74a	—	4.63b-h	15.5b-i	16.6a-e	65.9a	0.50b-f	1.12b-e	1.29h-m	50.33a-e	444.0c-i	0.54e-l	16.66a-e	546.0b-h
6	3.29a-i	57.37ab	103.7i-k	89.61a	—	4.88c-h	15.9a-g	13.6g-j	63.6a-c	0.41ef	1.30a-e	1.34f-l	41.00i-l	425.3e-j	0.51f-l	13.66g-j	523.0d-i
7	3.27b-i	47.04c-f	106.9c-k	90.01a	—	4.54a-h	15.2c-j	15.3c-g	64.0a-c	0.46c-f	1.28a-e	1.41c-h	46.66c-i	483.3ab	0.64b-g	15.33c-g	594.3a
8	3.43a-g	53.79a-e	105.0f-k	90.38a	—	4.04a-c	13.9f-j	17.6ab	60.5a-d	0.45c-f	1.10c-e	1.36e-k	53.00ab	452.3a-g	0.50g-l	17.66ab	553.0a-g
9	2.96g-i	49.79a-f	105.6e-k	88.98a	—	5.19e-i	17.1a-d	18.0a	60.7a-d	0.49b-f	1.27a-e	1.07op	54.00a	462.6a-e	0.50g-l	18.00a	568.6a-d
10	3.10d-i	48.75b-f	110.1a-f	87.93a	—	4.80b-h	16.2a-f	15.0d-g	58.8b-d	0.47b-f	1.00e	1.25k-n	45.33d-i	460.0a-f	0.60d-i	15.00d-g	565.6a-e
11	3.41a-h	50.87a-f	106.2d-k	90.03a	—	4.55b-h	15.5b-i	15.3c-g	63.3a-d	0.47b-f	1.33a-e	1.14n-p	47.00b-i	459.6a-f	0.53e-l	15.33c-g	565.3a-e
12	3.60a-d	54.58a-d	104.3g-k	20.26a	—	4.28a-e	14.8d-j	14.6e-h	61.0a-d	0.60ab	1.15b-e	1.40d-i	44.66e-i	431.3d-j	0.67a-e	14.66e-h	530.3c-i
13	2.850i	46.12d-f	103.0j-k	89.54a	—	5.29f-i	17.4abc	14.6e-h	61.5a-d	0.51b-f	1.29a-e	1.26j-n	44.00f-j	466.6a-d	0.65b-f	14.66e-h	574.0a-c
14	3.25b-i	51.66a-f	104.2g-k	89.15a	—	4.31a-e	14.5e-j	14.0f-j	61.8a-d	0.45c-f	1.48a-c	1.52a-d	42.00g-k	480.3a-c	0.26m	14.00f-j	590.6ab
15	3.08e-i	52.21a-f	105.3f-k	89.17a	—	4.62b-h	15.4b-j	15.0d-g	61.6a-d	0.43d-f	1.41a-d	1.37e-k	44.66e-i	428.6d-j	0.55e-l	15.00d-g	527.3c-i
16	3.52a-e	51.37a-f	106.4c-k	89.69a	—	4.74b-h	16.2a-f	15.6b-g	58.4b-d	0.51b-f	1.20b-e	1.14n-p	47.00b-i	439.0d-j	0.52f-l	15.66b-g	540.0c-i
17	3.42a-g	53.75a-e	109.2a-i	88.42a	—	4.83b-h	16.4a-e	16.0a-f	63.8a-c	0.69a	1.25b-e	1.25k-n	48.00a-g	457.3a-f	0.52e-l	16.00a-f	562.3a-e
18	3.73a-b	53.96a-e	107.5b-k	90.06a	—	4.28a-e	14.6e-j	15.0d-g	63.5a-d	0.48b-f	1.231b-e	1.231n	45.00e-i	465.3a-d	0.53e-l	15.00d-g	539.0c-i
19	3.16c-i	44.10f	109.4a-h	88.41a	—	0.82b-h	16.7a-e	15.0d-g	56.8d	0.52b-e	1.23b-e	1.49a-d	45.00e-i	480.3a-c	0.80a	15.00d-g	557.3a-f
20	3.23c-i	52.79a-f	108.2b-j	88.47a	—	5.50h-i	18.2a	14.6e-h	62.6a-d	0.43d-f	1.08de	1.49a-e	43.33f-j	402.6j	0.77ab	14.66e-h	495.3i
21	3.52a-d	58.16a	108.1b-j	89.87a	—	3.59a	12.9j	15.3c-g	60.4a-d	0.42ef	1.41a-d	1.20m-p	46.00d-i	460.6a-f	0.52f-l	15.33c-g	533.3c-i
22	3.16c-i	44.29f	104.9g-k	88.89a	—	4.38a-g	14.9d-j	17.0a-d	60.2a-d	0.40ef	1.26b-e	1.49a-e	50.66a-e	480.0a-c	0.58d-k	17.00a-d	590.3ab

23	3.12d-i	55.50a-c	11.3a-e	90.06a	—	4.57b-h	15.6b-h	17.3a-c	62.3a-d	0.47b-f	1.66a	1.62a	52.33a-c	425.6e-j	0.62c-h	17.33a-c	523.6d-i
24	3.08e-i	54.12a-e	109.1a-i	89.62a	—	4.35a-f	14.7d-j	17.0a-d	64.1a-c	0.42ef	1.22b-e	1.43c-g	51.33a-d	466.3a-d	0.58d-k	17.00a-d	573.3a-c
25	3.31a-i	45.38e-f	103.8h-k	90.06a	—	4.75b-h	16.2a-f	17.0a-d	60.7a-d	0.47b-f	1.41a-d	1.44b-g	50.33a-e	458.0a-f	0.57d-k	17.00a-d	530.0c-i
26	3.39a-h	51.42a-f	108.7b-i	88.99a	—	5.18e-i	17.2a-d	14.0f-j	64.9ab	0.58a-c	1.32a-e	1.35f-l	42.33f-k	466.3a-d	0.48h-l	14.00f-j	540.0c-i
27	3.54a-e	52.46a-f	105.3f-k	89.99a	—	4.75b-h	15.9a-h	17.0a-d	61.2a-d	0.42ef	1.30a-e	1.38e-k	50.66a-e	417.3g-j	0.72a-d	17.00a-d	513.3f-i
28	3.14c-i	44.42f	103.6i-k	89.60a	—	5.93i	16.7a-e	13.6g-j	62.2a-d	0.60ab	1.31a-e	1.51a-d	41.33h-l	444.3b-i	0.76a-c	13.66g-j	546.3b-h
29	3.54a-e	57.16ab	112.7ab	87.49a	—	5.31f-i	18.3a	12.3i-j	64.5ab	0.56a-d	1.20b-e	1.38e-k	36.66k-l	410.0ij	0.64b-g	12.33ij	504.3hi
30	3.44a-f	53.58a-e	109.8a-g	89.65a	—	5.32g-i	17.8ab	12.0j	62.7a-d	0.51b-f	1.50ab	1.27l-m	35.33l	450.3a-h	0.64b-g	12.00j	553.6a-g
31	2.96g-i	50.62a-f	108.8a-i	89.21a	—	4.44a-g	15.1b-j	15.3c-g	60.9a-d	0.48b-f	1.13b-e	1.53a-c	45.33d-i	423.3f-j	0.71a-d	15.33c-g	520.3e-i
32	2.89j	46.79c-f	114.5a	87.65a	—	4.87b-h	15.9a-g	15.6b-g	61.8a-d	0.68a	1.39a-d	1.34f-l	47.33b-h	413.0h-j	0.59d-j	15.66b-g	508.0g-i
33	3.77a	53.50a-e	107.2b-k	89.29a	—	5.10d-i	16.7a-e	14.6e-h	65.9a	0.50b-f	1.18b-e	1.35f-l	44.00f-j	458.0a-f	0.60d-i	14.66e-h	559.6a-f
34	3.40a-h	46.08d-f	104.9f-k	89.31a	—	3.95ab	13.4h-j	15.3c-g	59.0b-d	0.50b-f	1.16b-e	1.56ab	46.33c-i	403.0j	0.61d-i	15.33c-g	495.6i
35	3.14c-i	49.21a-f	112.1a-c	89.47a	—	4.50a-g	15.4b-j	14.6e-h	60.9a-d	0.58a-c	1.10c-e	1.39d-j	43.33f-j	484.3a	0.54e-l	14.66e-h	559.0a-f
36	3.46a-f	54.17a-e	111.7a-d	81.88b	—	4.15a-d	13.1i-j	14.3f-i	64.7ab	0.44d-f	1.22b-e	1.49a-e	44.00f-j	418.0g-j	0.76a-c	14.33f-i	514.0f-i
37	3.02f-i	46.33d-f	94.9l	89.09a	—	4.97c-i	16.5a-e	14.3f-i	57.7c-d	0.41ef	1.22b-e	1.45b-f	43.66f-j	414.0g-j	0.54e-l	14.33f-i	509.3g-i

NB = número de brotes, AP = altura de la planta, DF = diámetro de la inflorescencia, L, A y B = color de la inflorescencia, PF = peso fresco, SP = índice de verdor (SPA), SS = sólidos solubles, F = fenoles, NT = nitrógeno en tallo, FT = fósforo en tallo, PR = potasio en tallo, NF = nitrógeno en inflorescencia, FF = fósforo en inflorescencia, PY = potasio en inflorescencia.

*B.subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 100% FQ-1 DDT) fue el más sobresaliente en AP, NB y SP. Los tratamientos 2 (50% *B.subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% FQ-1 DDT), 8 (50% *B.subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% FQ - 40 DDT), 21 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 100% FQ - 1 DDT) y 24 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 100%FQ - 20 DDT) fueron los mejores en PT, PY y A. Los tratamientos 1 (50% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 00 FQ - 1 DDT), 9 (50% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 100 FQ - 40 DDT) y 22 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 00% FQ - 20 DDT) sobresalieron en PE, FF y FT. Los tratamientos 19 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 00% FQ - 1 DDT) y 32 (100% *B. subtilis* + 100% *G. fasciculatum* + 50% FQ - 20 DDT) exhibieron los mejores resultados para NT y SS y los tratamientos 20 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% FQ - 1 DDT) y 28 (100% *B. subtilis* + 100% *G. fasciculatum* + 00% FQ - 1 DDT) fueron los mejores en NF y B.

## Discusión

### *Variables vegetativas*

La promoción en la emisión del número de brotes (NB) por planta y en la altura de la planta (AP) en *Chrysanthemum* cv. Polaris white que originaron los tratamientos que involucraron ambos simbiontes adquiere mayor relevancia; éstos están implicados en un incremento en la producción al obtener un mayor número de tallos florales por unidad de superficie con mayor crecimiento, parámetro de primordial valor en la comercialización de esta especie. Estos resultados coinciden con los reportados en *Lilium* por Rubí *et al.* (2009; 2012a,b) y pueden atribuirse al enlace entre el suelo y las plantas que establecen los HMA donde actúan como una extensión de la superficie radical con lo que favorecen los procesos de absorción y movilización de agua, nutrientes y reguladores del crecimiento (Smith y Smith, 2011). Efectos similares en la promoción del crecimiento de la planta por la misma cepa de *B. subtilis* han sido reportados por Cárdenas *et al.* (2007) en *Tagetes erecta* quienes lo atribuyen a la participación de esta rizobacteria en la síntesis de auxinas y secreción de pequeños péptidos de actividad deaminasa ACC (Jiménez, 2004). Hechos afines fueron obtenidos en crisantemo (*Chrysanthemum* spp.) bajo condiciones *in vitro* e *in vivo* con *Bacillus* spp. (Tan, 2005) y en azafrán (*Crocus sativus*) (Sharaf *et al.*, 2008). En ambos se sugiere que el mecanismo de estimulación del crecimiento no es del todo conocido, pero que diferentes especies de *Bacillus* participan en la producción de ácido giberélico, ácido indol 3 acético y citocininas que pueden ser los agentes estimulantes del crecimiento, aunado a su capacidad para solubilizar fosfatos (Aslantas *et al.*, 2007; Bhromsiri y Bhromsiri, 2010).

### *VARIABLES DE CALIDAD*

Aunque la mejora en el crecimiento es importante, la calidad de la inflorescencia en crisantemo cv. Polaris white impacta directamente en el precio de venta. De esta manera diámetro de la inflorescencia (DF), peso fresco (PF), color de la inflorescencia (A, B), índice de verdor (unidades SPA) (SP), sólidos solubles (SS) y contenido de fenoles (F) resultan fundamentales para incrementar los ingresos de los floricultores.

La coinoculación con *B. subtilis* y *G. fasciculatum* estimuló todos los factores de calidad de la flor de crisantemo cv. Polaris white analizados: los tratamientos 20 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% FQ + 1 DDT), 21 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 100% FQ + 1 DDT), 5 (50% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% FQ + 20 DDT), 17 (50% *B. subtilis* + 100% *G. fasciculatum* + 50% FQ + 40 DDT), 32 (100% *B. Subtilis* + 100% *G. fasciculatum* + 50 FQ + 20 DDT) y 23 (100% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% FQ + 20 DDT), mostraron una participación clara sobre los parámetros de calidad citados. Diámetro de la inflorescencia (DF), peso fresco (PF), color de la inflorescencia (A, B), sólidos solubles (SS) y contenido de fenoles (F) están vinculados a una mayor calidad comercial; Olalde y Mena (2009) coinciden en que la apariencia es el medio para juzgar la calidad de un producto y ésta se caracteriza principalmente por la ausencia de defectos, mayor tamaño y mejores dimensiones en forma y color. En el presente estudio un mayor diámetro de la inflorescencia reflejó un mayor tamaño de este órgano y mayor peso fresco (PF). Esto y la mayor intensidad y brillantez en el color (valores de A y B) de las flores representan mejores oportunidades de ingresar a mercados más exigentes, donde los consumidores demandan flores prácticamente perfectas. Una mayor vida de la flor implica flores con condiciones aceptables para su comercialización por más días y más tiempo en que las flores presentan características adecuadas en el florero del consumidor, lo cual puede estar relacionado por una parte al mayor valor presentado en las unidades SPA que indica un mayor índice de verdor que se relaciona con plantas más verdes con mayor actividad fotosintética, proceso fisiológico en el que los microorganismos utilizados han demostrado una estrecha vinculación (Rubí *et al.*, 2009; 2012a) que se refleja en mejor tamaño, calidad y vida de la flor, a lo que se puede sumar el mayor valor en el contenido de fenoles encontrado; Barrón-Yáñez *et al.* (2011) mencionan que existe una clara relación entre éstos y la actividad antioxidante de los extractos de las plantas: a mayor contenido de compuestos fenólicos mayor actividad antioxidante, y quizás una mayor vida útil de la flor. Lo anterior implica mayores ventajas desde el corte de la flor y comercialización hasta su vida en florero.

### *Variables de nutrición*

La mayor concentración de N, P y K cuantificado en inflorescencia y en tallo estuvo estrechamente relacionada con la participación eficiente de los simbiontes utilizados, individual o colectivamente.

El N es un elemento esencial de los aminoácidos, que forman los péptidos y las proteínas, importantes en la síntesis enzimática y en todo el metabolismo; éste se encuentra también en las purinas y pirimidinas de los ácidos nucleicos, esenciales para la síntesis de proteínas, porfirinas de las clorofilas y en los fitocromos, que son indispensables para la fotosíntesis y la respiración, así como en coenzimas, nucleótidos, amidas y ureidos (Torres Olivar, 2014; Marschner, 2012). Atul Nayyar *et al.* (2009) demostraron que las hifas de las micorrizas pueden transportar nitrógeno del suelo a las raíces. El contenido de N observado en el presente estudio puede atribuirse a la participación de los simbiontes, pero diversos factores influyen de manera directa en su asimilación por los HMA como la disponibilidad de agua, su concentración en el suelo (Azcón *et al.*, 2008) y las fuentes utilizadas ( $\text{NO}_3$  o  $\text{NH}_4$ ) (Ngwene *et al.*, 2012).

El P forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas; es constituyente del ATP y de muchas coenzimas (NAD y FAD), indispensables en reacciones redox. El P interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía. Se localiza, entre muchos otros compuestos, en los fosfolípidos que participan activamente en la formación de las membranas, tanto a nivel de mitocondrias y cloroplastos, como de plasmalema y otros organelos. Es constituyente de nucleoproteínas y participa en la división celular y en la transferencia de características hereditarias por los cromosomas, como constituyente del ADN y del ARN. Se presenta en otros compuestos “ricos en energía” como guanina trifosfato (GTP), uridina trifosfato (UTP) y citosina trifosfato (CTP), que unen procesos endergónicos a procesos exergónicos (intercambio de energía). La fotosíntesis, la glucólisis, el ciclo de Krebs, la  $\beta$ -oxidación, la oxidación directa de la glucosa y la descomposición de los carbohidratos involucran reacciones de fosforilación (Marschner, 2012; Tian *et al.*, 2013). Lo anterior justifica el uso de ambos microorganismos utilizados (Cárdenas *et al.*, 2007; Rubí *et al.*, 2012a,b; Tian *et al.*, 2013).

La relación estrecha que existió entre K con las variables de calidad de flor pone de manifiesto la eficiente participación de los microorganismos utilizados en su absorción, como lo han demostrado Bhromsiri y Bhromsiri (2010) y Rubí *et al.* (2009; 2012a, b). El K es un activador de enzimas y osmorregulador y es indispensable en la fotosíntesis debido a que la fosforilación fotosintética y la oxidativa en la respiración lo requieren, promueve una eficiente movilización de fotosintatos desde las hojas, favorece la liberación de las proteínas sintetizadas por los ribosomas, facilita la unión del ARNm con el ribosoma y es esencial

para el uso eficiente del N. El  $\text{NO}_3$  es tomado por las raíces de las plantas vía un proceso activo y su absorción puede ser afectada por la influencia del K en la movilización de fotosintatos necesarios para apoyar este proceso (Zörb *et al.*, 2014; Anschütz *et al.*, 2014).

### *Análisis de componentes principales*

Esta metodología multivariada explicó 40% de la variación original en los componentes principal 1 (24.7%) y 2 (15.3%). Los tratamientos 29 (100% *B. subtilis* + 100% de *G. fasciculatum* + 50% de FQ, 1DDT) y 8 (50% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% FQ, 40DDT) con valores negativos y positivos, respectivamente, explicaron la mayor variabilidad asociada al CP1. La variabilidad representada en el CP2 se asoció negativamente con el tratamiento 28 (100% *B. subtilis* + 100% *G. fasciculatum* + 50% FQ, 1 DDT) y positivamente con los tratamientos 3 (50% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 100% FQ, 1 DDT) y 21 (100 *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 100% FQ, 1 DDT). En el biplot también se detectó correlación positiva entre potasio en tallo (PT) y potasio en inflorescencia (PY) y color de la inflorescencia (A) con valores positivos en los CP1 y CP2. Diámetro de la inflorescencia (DF), fenoles (F), índice de verdor (SP), número de brotes (NB) y altura de la planta (AP) con correlaciones positivas, presentaron valores negativos en la CP1 y positivos en la CP2. En ambas coordenadas negativas de los CP1 y CP2 sólo se identificó nitrógeno en inflorescencia (NF), nitrógeno en tallo (NT), sólidos solubles (SS) y color de la inflorescencia (B). Peso fresco (PF), fósforo en tallo (FT) y fósforo en inflorescencia (FF), con correlaciones positivas, tuvieron coordenadas positivas en el CP1 y negativas en el CP2 (figura 1).

El tratamiento 2 conformado por 50% *B. subtilis* + 50% *G. fasciculatum* + 50% de FQ, aplicados al primer día del trasplante, indica una asociación positiva entre los simbiontes utilizados con las variables potasio en tallo (PT), potasio en inflorescencia (PY) y color de la inflorescencia. Estos hechos se explican como se indicó anteriormente al considerar las funciones que este elemento desarrolla (Anschütz, 2014; Zörb, 2014; Marshner, 2012).

Los tratamientos 17, 26 y 35 (50% de *B. subtilis*, 100% de *G. fasciculatum*, 50% de FQ, a los 40 días del trasplante; 100% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 50% de FQ, a los 40 días del trasplante; 100% de *B. subtilis* + 100% de *G. fasciculatum* + 50% de FQ aplicado a los 40 días después del trasplante) marcan una estrecha relación con DF y F. Este hecho resulta de interés pues la participación de los microorganismos favoreció el tamaño de la inflorescencia, parámetro altamente valorado en la comercialización de crisantemo, pero con el uso de 50% menos del fertilizante que normalmente utilizan los productores, lo que se traduce en ahorro de recursos económicos y un menor daño al ambiente. Resultados que coinciden con los obtenidos por Cárdenas *et al.* (2007) en *Tagetes*

*erecta* y por Rubí *et al.* (2012a,b) en *Lilium* sp, y pueden atribuirse a la participación conjunta de la rizobacteria y el HMA (Barea *et al.*, 2005; Frey *et al.*, 2007; Toldjander *et al.*, 2007; Artursson *et al.*, 2006).

El tratamiento 32 (100% de *B. subtilis* + 100% de *G. fasciculaum* + 50% de FQ, aplicados a los 20 días después del trasplante), presenta una correlación significativa con NT y SS, comportamiento que puede atribuirse a los simbioses empleados cuya participación en la asimilación de N ha sido demostrada en trabajos anteriores (Ngwene *et al.*, 2012; Atul-Nayyar *et al.*, 2009; Rubi *et al.*, 2012a, b). Los tratamientos 20 y 28 (100% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum* + 50% de FQ, y 100% de *B. subtilis* + 100% del HMA + 00 de FQ, ambos aplicados un día después del trasplante) tienen estrecha interrelación con el color (B) (azul/amarillo).

Además los tratamientos 1 y 22 (50% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum*, aplicados el día 1 después del trasplante y 100% de *B. subtilis* + 50% de *G. fasciculatum*, aplicados a los 20 días del trasplante, ambos sin FQ) estuvieron estrechamente asociados a FT, FF y PF; este hecho subraya la estrecha participación del fósforo en la conformación de estructuras vegetativas y reproductivas (Tian *et al.*, 2013), cuya solubilización y movilización están vinculadas directamente con los microorganismos utilizados que participan en la regulación de la expresión de genes transportadores de P (Smith *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2013).

## Conclusiones

El crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de flor de crisantemo (*Chrysanthemum* spp) cv. Polaris White fue mejor o similar cuando se aplicaron *Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum* que el de los tratamientos que recibieron la fertilización tradicional. Este hecho sugiere que la biofertilización puede reemplazar o sustituir parcialmente los sistemas de manejo tradicional con base en el fertilizante químico para la producción de flores de corte de esta especie bajo las condiciones de producción directa en suelo predominante en esta región florícola del territorio mexicano.

## Bibliografía

- Alcántar, G., y Sandoval M. (1999), "Manual de análisis químico de tejido vegetal", publicación especial 10, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México, 156 pp.
- Anónimo (2013), Secretaría de Desarrollo Agropecuario, información básica sector florícola 2013, Sedagro, 15 pp.
- Artursson, V., R. D. Finlay, y J. K. Jansson (2006), "Interactions between Arbuscu-

- lar Mycorrhizal Fungi and Bacteria and their Potential for Stimulating Plant Growth”, *Environmental Microbiology*, 8 (1), pp. 1-10.
- Aslantas, R., R. Çakmakçı Y F. Şahin (2007), “Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Young Apple Tree Growth and Fruit Yield under Orchard Conditions”, *Scientia Horticulturae*, 111 (4), pp. 371-377.
- Anschütz, U., D. Becker y S. Shabala (2014), “Going beyond Nutrition: Regulation of Potassium Homeostasis as a Common Denominator of Plant Adaptive Responses to Environment”, *Journal of Plant Physiology*, 171, pp. 670-687.
- Atul Nayyar, A., C. Hamel, K. Hanson y J. Germida (2009), “The Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Links N Mineralization to Plant Demand”, *Mycorrhiza*, 19 (4), pp. 239-246.
- Azcón, R., R. Rodríguez, E. Amora-Lazcano y E. Ambrosano (2008), “Uptake and Metabolism of Nitrate of Mycorrhizal Plants as Affected by Water Availability and N Concentration in Soil”, *European Journal of Soil Science*, 59, pp. 131-138.
- Barea, J. M., M. J. Pozo, R. Azcón y C. Azcón Aguilar (2005), “Microbial Co-operation in the Rhizosphere”, *Journal of Experimental Botany*, 56 (417), pp. 1761-1778.
- Barrón Yáñez, R. M., M. del R. García Mateos, M. R. Soto Hernández, T. Colinas León y G. Kite (2011), “Flavonoides y Actividad Antioxidante”, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34 (3), pp. 151-157.
- Bhromsiri, C., y A. Bhromsiri (2010), “The Effects of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth, Development and Nutrient Uptake of Different Vetiver Ecotypes”, *Thai Journal of Agricultural Science*, 43 (4), pp. 239-249.
- Callejas, B. A., A. M. Castillo, M. T. Colinas, M. del C. González, J. Pineda y L. A. Valdez (2009), “Sustratos y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena”, *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 15 (1), pp. 57-66.
- Cárdenas, A., A. Estrada y V. Olalde (2007), “Yield and Quality Enhancement of Marigold Flower by Inoculation with *Bacillus subtilis* and *Glomus fasciculatum*”, *Journal of Sustainable Agriculture*, 31, pp. 21-31.
- Chang, K. H., Y. W. Rung, C. C. Keng, F. H. Ting y S. C. Ren (2010), “Effects of Chemical and Organic Fertilizers on the Growth, Flower Quality and Nutrient Uptake of *Anthurium Andreanum*, Cultivated for Cut Flower Production”, *Scientia Horticulturae*, 125 (3), pp. 434-441.
- Ferrol, N., J. M. Barea y C. Azcón Aguilar (2002), “Mechanisms of Nutrient Transport Across Interfaces in Arbuscular Mycorrhizas”, *Plant and Soil*, 244, pp. 231-237.
- Finlay, R. D. (2008), “Ecological Aspects of Mycorrhizal Symbiosis: with Special

- Emphasis on the Functional Diversity of Interactions Involving the Extraradical Mycelium”, *Journal of Experimental Botany*, 59 (5), pp. 1115-1126.
- Frey, P., J. Garbaye y M. Tarkka (2007), “The Mycorrhiza Helper Bacteria Revisited”, *New Phytol.*, 176 (1), pp. 22-36.
- González, A., D. de J. Pérez, J. Sahagún, O. Franco, E. J. Morales, M. Rubí, F. Gutiérrez y A. Balbuena (2010), “Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle de Toluca-Atacomulco, México”, *Agronomía Costarricense*, 34 (2), pp. 129-143.
- Gutiérrez, D. M., C. A. Ortiz y A. Mendoza (2008), “Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimentación animal”, Simposio de Metrología.
- Jaizme Vega, M., y A. Rodríguez Romero (2008), “Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrícicos y bacterias rizosféricas) en agroecosistemas de las Islas Canarias”, *Agroecología*, 3, pp. 33-39.
- Jiménez, M. R. (2004), “Péptidos secretados por *Bacillus subtilis* que modifican la arquitectura de la raíz de *Arabidopsis thaliana*”, tesis de doctorado en biotecnología de plantas, Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato, México, 85 pp.
- Main, G., y J. Franco (2011), “Efecto de la bacteria *Bacillus subtilis* y el hongo micorrízico arbuscular *Glomus fasciculatum* en la fertilización fosfórica en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* ssp. andigena)”, *Revista Latinoamericana de la Papa*, 16 (2), pp. 250-269.
- Marschner, P. (2012), *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3ª ed., Elsevier Ltd., 645 pp.
- Maya, M. A., y Y. Matsubara (2013), “Influence of Arbuscular Mycorrhiza on the Growth and Antioxidative Activity in Cyclamen under Heat Stress”, *Mycorrhiza*, 23 (5), pp. 381-390.
- Mena, H. G., y V. Olalde (2007), “Alteration of Tomato Fruit Quality by Root Inoculation with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs”, *Scientia Horticulturae*, 113 (1), pp. 103-106.
- Ngwene, B., E. Gabriel E. y E. George (2012), “Influence of Different Mineral Nitrogen Sources ( $\text{NO}_3^-$ -N vs.  $\text{NH}_4^+$ -N) on Arbuscular Mycorrhiza Development and N Transfer in a *Glomus intraradices*-cowpea Symbiosis”, *Mycorrhiza*, 23 (2), pp. 107-17.
- Olalde, V., y V. H. Mena (2009), “Rhizosphere Microorganisms and their Effect on Fruit Quality”, en *Post Harvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables and Flowers*, Gopinadhan, Paliyath, Dennis, P. Murr, Avtar K. Anda y Susan Lurie, 482 pp.
- Perner, H., D. Schwarz, C. Bruns, P. Mäder y E. George (2007), “Effect of Arbus-

- cular Mycorrhizal Colonization and Two Levels of Compost Supply on Nutrient Uptake and Flowering of Pelargonium Plants”, *Mycorrhiza*, 17, pp. 469-474.
- Rubí, M., A. González, A. M. Castillo, V. Olalde, B. G. Reyes y L. I. Aguilera (2009), “Respuesta de *ilium* sp. al fósforo y su relación con *Glomus fasciculatum* y *Bacillus subtilis*”, *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 78, pp. 91-100.
- Rubí, M., A. González, V. Olalde, B. G. Reyes, A. M. Castillo, D. de J. Pérez y L. I. Aguilera (2012a), “Interrelación entre fósforo, *Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum* con la calidad en *Lilium*”, *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 81, pp. 59-68.
- Rubí, M., A. González, V. Olalde, B. G. Reyes, A. M. Castillo, D. de J. Pérez y L. I. Aguilera (2012b), “Contribución de fósforo al mejoramiento de calidad en *Lilium* y la relación con *Glomus fasciculatum* y *Bacillus subtilis*”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (1), pp. 125-139.
- Sánchez, G. J. (1995), “El análisis biplot en clasificación”, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 18, pp. 188-203.
- Sharaf, M., S. Elkholy, J. A. Fernández, H. Junge, R. Cheetham, J. Guardiola y P. Weathers (2008), “*Bacillus subtilis* FZB24 Affects Flower Quantity and Quality of Saffron (*Crocus sativus*)”, *Planta Medica*, 74 (10), pp. 1316-1320.
- Smith, S. E., F. A. Smith (2011), “Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales”, *Ann. Rev. Plant Biol.*, 62, pp. 227-250.
- Smith, S. E., I. Jakobsen, M. Gronlund y F. A. Smith (2011), “Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition”, *Plant Physiology*, 156 (3), pp. 1050-1057.
- Tan, D. (2005), “Positive Effects of *Bacillus* spp. on the Growth of *Chrysanthemum* spp. *in vitro* and *ex vitro*”, *Propagation of Ornamental Plants*, 5 (3), pp. 146-150.
- Tian, H., R. A. Drijber, X. Li, D. N. Miller y B. J. Wienhold (2013), “Arbuscular Mycorrhizal Fungi Differ in their Ability to Regulate the Expression of Phosphate Transporters in Maize (*Zea mays* L.)”, *Mycorrhiza*, 23 (6), pp. 507-514.
- Toljander, J. F., B. D. Lindahl, L. R. Paul, M. Elfstrand y R. D. Finlay (2007), “Influence of Arbuscular Mycorrhizal Mycelial Exudates on Soil Bacterial Growth and Community Structure”, *FEMS Microbiol Ecol*, 61 (2), pp. 295-304.
- Torres Olivar, V., O. G. Villegas Torres, M. L. Domínguez Patiño, H. Sotelo-Na-

- va, A. Rodríguez Martínez, R. M. Melgoza Alemán, L. A. Valdez Aguilar y I. Alia Tejacal (2014), "Role of Nitrogen and Nutrients in Crop Nutrition", *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4, pp. 29-37.
- Vessey, J. K. (2003), "Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biofertilizers", *Plant and Soil*, 255, pp. 571-586.
- Zörb, C., M. Senbayram y E. Peiter (2014), "Potassium in Agriculture-Status and Perspectives", *Journal of Plant Physiology*, 171, pp. 656-669.

## Los bioplásticos como recubrimientos sustentables de frutas y hortalizas

MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAIN,<sup>1\*</sup>

DORA LUZ PINZÓN MARTÍNEZ,<sup>1</sup>

ANA TARÍN GUTIÉRREZ IBÁÑEZ,<sup>1</sup>

ENRIQUE DANIEL ARCHUNDIA VELARDE<sup>1</sup>

TANIA NOHEMÍ AMBRIZ VIDAL<sup>1</sup>

### Resumen

Uno de los principales retos que enfrenta la agricultura es el de prolongar la vida de anaquel de los productos agrícolas (frutas y hortalizas), los cuales son altamente afectados por agentes como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, luz y microorganismos; sin embargo también son afectados por la respiración, transpiración y producción de etileno del mismo producto; en ambos casos se ven afectadas las características sensoriales (color, olor, sabor y textura), las cuales son consideradas el principal factor a tomar en cuenta a la hora de elegirlos. Este tipo de circunstancias generan pérdidas económicas al ser rechazado el producto, además de poner en riesgo la salud por contaminación microbiana. Dentro del mercado actual existe una infinidad de productos, como empaques y embalajes, que son empleados por su fácil acceso y bajo costo de producción para la conservación de estos productos. Sin embargo, generan problemas ambientales al provenir del petróleo, ya que tardan miles de años en desintegrarse y afectan con ello la vida de la biodiversidad de los ecosistemas, donde es depositado. Algunas investigaciones indican que este tipo de cubiertas pueden transferir sustancias químicas tóxicas al producto y afectar la salud. Una alternativa novedosa para estos recubrimientos es la utilización de los denominados bioplásticos, bases poliméricas generadas a partir de compuestos naturales, que según su origen pueden cumplir las mismas funciones protectoras de los plásticos, sin generar daños ambientales, ya que son de alta degradabilidad. Por tal motivo, el objetivo de este capítulo es hacer una revisión bibliográfica de bases poliméricas provenientes de desechos de la industria agropecuaria con potencial para desarrollar biopelículas o bio-recubrimientos de productos como frutas y hortalizas, con lo que se generaría una producción agropecuaria sustentable.

*Palabras clave:* vida de anaquel, frutas, hortalizas, biopelículas.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario El Cerrillo, Toluca, México, C. P. 50090, México.

\* Autor de correspondencia: nekkane16@hotmail.com.

## Introducción

### Importancia de frutas y hortalizas en la alimentación humana

Las frutas y hortalizas son elementos básicos en toda canasta familiar; la OMS recomienda un consumo de 400 g/día de éstas. Estudios muestran el enorme impacto potencial del aumento en la ingesta de frutas y hortalizas, como medida de prevención en la incidencia de numerosas enfermedades no transmisibles que provocan aproximadamente 2.8 millones de muertes cada año (FAO, 2011).

Las frutas y las hortalizas juegan un papel importante en la alimentación diaria de los seres humanos, ya que desde el inicio de los tiempos estos alimentos se han caracterizado por ser los primeros que el hombre incluyó en su dieta. Son fuente de vitaminas y minerales, que ayudan en la regulación de varios procesos como el mantenimiento de huesos, músculos y tejido sanguíneo, así como en el fortalecimiento del sistema inmunológico (Pelayo, 2003). Las vitaminas y minerales son compuestos que el organismo humano no puede producir y deben ser proporcionados a través de los alimentos, en este caso por frutas y hortalizas, principalmente. Cuando la alimentación no satisface las necesidades de estos compuestos, se pueden desarrollar enfermedades por deficiencia. Los minerales son elementos químicos imprescindibles para el normal funcionamiento metabólico y se pueden dividir en macro y microminerales, como sodio, potasio, calcio, magnesio, y en cantidades menores cobre, yodo, hierro, cobalto, zinc y selenio (FAO, 2011).

El estilo de vida diaria y las demandas actuales del mercado han encaminado a los productores a cumplir con las exigencias de los consumidores. Con esto se tienen frutas y hortalizas todo el año, sin importar la estación. Dichos productos deben ser de buena calidad, tomando en cuenta un empaque atractivo que contenga un alimento que parezca recién cortado.

Por lo que hoy en día la conservación de alimentos juega un papel importante, ya que se deben aprovechar todas las ventajas de los productos y, con ello, sus propiedades nutrimentales (Leyva *et al.*, 2011). Así como tecnologías de conservación de alimentos más acordes con el medio ambiente.

### Vida de anaquel en frutas y hortalizas

La vida de anaquel o vida útil de frutas y hortalizas se define como el periodo a partir de la fecha de corte durante el cual éstas mantienen una calidad aceptable. Esto se refiere a que el alimento se conserve apto para el consumo, desde

el punto de vista sanitario, y mantenga sus características sensoriales y funcionales por encima del grado límite de calidad previamente establecido como aceptable (Badui, 1999). Las tendencias actuales de los consumidores por alimentos sanos y de conveniencia promueven un mayor consumo de frutas y hortalizas, donde destacan productos frescos. Sin embargo, por su naturaleza estos productos pueden ser muy susceptibles a diferentes alteraciones que afectan su calidad. El mejor procedimiento de conservación es la refrigeración con humedades relativas altas (80-95%); sin embargo, si el procedimiento no se realiza de una manera adecuada las pérdidas de peso en los productos pueden ser mayores a 10%. De igual manera, se puede disminuir la concentración de ácido ascórbico, caroteno y otros cambios, como la degradación de almidón y proteínas, así como el aumento de ácidos libres, como ocurre en la coliflor, la lechuga y las espinacas (Giraldo, 1999).

En el mundo actual, la adquisición de productos frescos no es una opción muy viable, ya que el tiempo que las familias destinan a las compras es también limitado. Por ello, el suministro de los alimentos que los consumidores requieren es imposible sin el uso de los medios de preservación y empaques para prolongar la vida de anaquel, las características particulares de cada fruta y hortaliza (Leyva *et al.*, 2011), y, por supuesto, prolongar la salud al consumidor.

### Pérdidas económicas y de la salud humana

El manejo inadecuado en la conservación de frutas y hortalizas puede repercutir severamente y generar cuantiosas pérdidas económicas e incluso en la salud humana. Las pérdidas de alimentos afectan la seguridad alimentaria, la calidad, la inocuidad, el desarrollo económico y el ambiente. Las causas exactas de las pérdidas de alimentos varían en las diferentes partes del mundo y dependen sobre todo de las condiciones específicas y la situación de cada país. En términos generales, las pérdidas de alimentos están influenciadas por la elección tomada en la producción de cultivos y sus patrones, la infraestructura y la capacidad internas, las cadenas comerciales y los canales de distribución, así como por las compras de los consumidores y las prácticas en el proceso de alimentos (FAO, 2012). Estas pérdidas conducen al desperdicio de recursos utilizados en la producción, como tierra, agua, energía e insumos. Producir comida que no va a consumirse supone emisiones innecesarias de CO<sub>2</sub> además de pérdidas del valor añadido de los alimentos producidos. En el ámbito económico, las pérdidas de alimentos que pueden evitarse tienen un impacto negativo directo en los ingresos, tanto de agricultores como de consumidores (FAO, 2012).

La imposibilidad de cumplir con estándares mínimos de inocuidad alimentaria puede llevar a estas pérdidas y en casos extremos a impactos en la situación de

seguridad alimentaria de un país. Factores como toxinas de origen natural, agua contaminada y uso de pesticidas pueden provocar que los alimentos no sean inocuos (FAO, 2012). Las condiciones antihigiénicas de manejo y almacenamiento, junto con el adecuado control de temperatura, también dan origen a la descomposición rápida de frutas y hortalizas y afecta directamente la salud humana.

### Importancia de las características sensoriales en la compra de productos de frutas y hortalizas

La aceptación de un alimento depende de muchos factores, entre los que destacan sus propiedades sensoriales como color, el primer contacto (vista), sabor, aroma, textura y hasta el sonido que se genera durante su consumo (Badui, 1999). Así, la selección de alimentos por parte de los consumidores está determinada por los sentidos de la vista, olfato, tacto y gusto. Lo anterior, junto con los reportes de diversas investigaciones científicas de los últimos decenios han demostrado que una dieta rica en frutas y hortalizas protege contra numerosos tipos de cáncer y disminuye la incidencia de las cardiopatías coronarias, lo que enfatiza la importancia del consumo habitual de estos alimentos (Belitz, 1997). Por lo tanto, unido a un notable aumento de la disponibilidad de estos productos durante todo el año en el mercado mundial, se ha incrementado el consumo de frutas y hortalizas frescas en los últimos 20 años (OMS y FAO, 2007).

### Factores que afectan las características sensoriales de frutas y hortalizas

Un aspecto fundamental que se debe tener en cuenta en el manejo poscosecha de frutas y hortalizas es que éstas continúan vivas. En tal sentido, en la fruta u hortaliza cosechada continúa la respiración, la maduración y, en algunos casos, se inician procesos estructurales y bioquímicos. Asimismo, el producto cosechado está constantemente expuesto a la pérdida de agua debido a la transpiración y a otros fenómenos fisiológicos (Arias y Toledo, 2000). Los factores capaces de provocar alteraciones importantes en las características sensoriales de frutas y hortalizas pueden ser divididos en biológicos (microorganismos y enzimas), factores físicos (luz y calor) y factores químicos (agua y oxígeno) (Leyva *et al.*, 2011).

## Importancia del oxígeno y CO<sub>2</sub> en las características sensoriales de frutas y hortalizas

Bajos niveles de O<sub>2</sub> en el ambiente pueden inducir procesos de fermentación en las frutas y ocasionar la producción de malos olores y sabores, así como su deterioro. Esto es común cuando la ventilación del ambiente en el cual se encuentran las frutas es deficiente. Estos cambios también son favorecidos por altas temperaturas (Arias y Toledo, 2000).

La acumulación de CO<sub>2</sub> puede retrasar el normal ablandamiento y pérdida del color verde de algunas frutas. En otros casos, se observa decoloración y deterioro internos por la acumulación de este gas en la atmósfera de almacenamiento; así como también mal sabor y depresiones superficiales en la cáscara de la fruta (*pitting*) (FAO, 2012).

## Importancia del crecimiento de microorganismos en frutas y hortalizas

Algunos de los microbios patógenos asociados con frutas y hortalizas frescas son *Salmonella* spp., *Shigella* spp., cepas patógenas de *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, virus de hepatitis A y parásitos, tales como el género *Cyclospora*, *Entamoeba* y *Giardia*. Algunos de estos patógenos están asociados al entorno agrícola, mientras que otros pueden proceder de trabajadores infectados o agua contaminada. Debido a la capacidad de los patógenos de sobrevivir y proliferar en los productos frescos, es importante que la industria de frutas y hortalizas precortadas, siga las buenas prácticas de higiene para garantizar la inocuidad microbiológica de sus productos. Las hortalizas tienen en general un pH entre 5 y 6, mientras que las frutas muestran un valor menor a 4.5. Por lo tanto, las bacterias crecen más rápido que los mohos y levaduras sobre la mayoría de las hortalizas, y viceversa en el caso de las frutas. La alteración de las frutas y hortalizas frescas se denomina enfermedad poscosecha debido a que son partes vivas de las plantas y aunque éstas suelen poseer algunas defensas naturales contra la infección microbiana, en la práctica son de bajo impacto (Mossel *et al.*, 2003).

## Respiración

Mediante la respiración las frutas y las hortalizas obtienen la energía necesaria para desarrollar una serie de procesos biológicos indispensables. El proceso respiratorio ocurre a expensas de las sustancias de reserva (azúcares, almidones, entre otras) las que son oxidadas, con el consiguiente consumo de oxígeno y

producción de dióxido de carbono. Adicionalmente, la respiración genera calor (calor vital) que al ser liberado al medio que rodea la fruta puede afectarla. En general, cuanto mayor es el ritmo respiratorio del producto, menor es su vida útil (Arias y Toledo, 2000).

### Almacenamiento y producción de etileno en frutas y hortalizas

La refrigeración reduce la velocidad del metabolismo, mantiene el sabor, el valor nutritivo y puede disminuir la incidencia de las podredumbres. Sin embargo, algunas frutas y hortalizas sufren lesiones debido al frío con la consiguiente pérdida de calidad. El aire debe circular dentro de la cámara refrigeradora y se requiere una humedad entre 90 y 95% para evitar el secado de las frutas y hortalizas. Aunque, si se mantiene una humedad más alta, aumentará el número y tipo de microbios a pesar de la baja temperatura. El ajuste de la humedad relativa permite equilibrar la disminución del crecimiento microbiano y la pérdida de humedad del producto (Jay *et al.*, 2005).

Por otra parte el almacenamiento en una atmósfera modificada extiende la vida útil del producto, mientras se mantenga la temperatura baja. Por ejemplo en las manzanas bajo ciertos niveles de dióxido de carbono, se restringe el crecimiento de organismos aerobios como los mohos (Mossel *et al.*, 2003). La mayoría de las frutas se almacenan a 2° C y otras requieren una temperatura ligeramente más elevada. El deterioro durante la comercialización es variable y puede llegar hasta 50% de las hortalizas y algunas frutas (Jay *et al.*, 2005).

El etileno es una sustancia natural (hormona) producida por las frutas. Aun a niveles bajos menores que una parte por millón (ppm), éste es fisiológicamente activo. Asimismo, ejerce una gran importancia sobre los procesos de maduración y senescencia de las frutas e influye en la calidad de las mismas. Por lo tanto, la formación de la zona de desprendimiento de la fruta del resto de la planta (abscisión), también es regulada por esta sustancia (Jay *et al.*, 2005).

### Importancia de los empaques

El envasado de alimentos se ha usado a través de los tiempos para proteger los productos alimenticios de su entorno y para mantener su calidad (Granda *et al.*, 2013). Desde la Antigüedad el envasado es una técnica fundamental para conservar la calidad, reducir al mínimo el deterioro y limitar el uso de aditivos. El envase preserva la forma y la textura del alimento que contiene, evita que pierda sabor o aroma, prolonga el tiempo de almacenamiento y regula el contenido de

agua o humedad (Núñez, 2013). Los envases protegen los alimentos de una serie de agentes externos procedentes del ambiente como calor, humedad, luz, microorganismos, suciedad, gases, olores indeseables, insectos, partículas de polvo o emisiones de gases. Este mismo, permite a los fabricantes ofrecer información sobre las características del producto envasado, contenido nutricional, composición y constituye un buen vehículo para transmitir a los usuarios información sobre estos puntos. Debe tener una forma, tamaño correcto y contar con una presentación atractiva a los ojos del consumidor (López, 2013).

Los envases hoy en día han llegado a tener un alto grado de perfeccionamiento, derivado de la extensa oferta de materiales para fabricarlos y de los alimentos. Sin embargo, la mayoría está hecho de plástico sintético y tiene un uso generalizado gracias a sus buenas propiedades mecánicas y su eficacia como barrera al oxígeno y al agua (Granda *et al.*, 2013).

La mercadotecnia, por su parte, ha generado una cerrada competencia en el sector porque un envase, además de contener, transportar y proteger el producto, debe mostrar una imagen que pueda venderse y ser atractivo al variado gusto de los consumidores. Ya que en muchos casos trascienden las fronteras (Araujo, 2014). Este crecimiento desmedido en la utilización de materiales sintéticos por parte de las industrias alimentarias ha ocasionado severos daños de contaminación, debido a la poca biodegradabilidad con que cuentan tales empaques sintéticos (Granda *et al.*, 2013; Araujo, 2014).

## Plásticos, beneficios y perjuicios de su uso

Los materiales más comúnmente utilizados para el envasado de alimentos y bebidas son los plásticos derivados del petróleo, un material considerado no renovable (Rubio y Guerrero, 2012). Los plásticos constituyen toda una familia de materiales con diversos usos. Sus propiedades les permiten ser moldeados en infinidad de formas para generar miles de productos. El plástico ha remplazado otros materiales, por su bajo costo, poco peso, permeabilidad, durabilidad e higiene (Téllez, 2012). Igualmente, genera una gran cantidad de residuos al ser un material de baja degradabilidad, que llega a tardar hasta miles de años en desintegrarse. La contaminación de este tipo de residuos se debe fundamentalmente al gran nivel de consumo y la incapacidad de la naturaleza de degradar estos productos rápidamente con lo que se ve afectada la biodiversidad del lugar donde son depositados (Núñez, 2013). Una alternativa a este problema es el reciclaje; sin embargo, no todos pueden reutilizarse y por otra parte muchas empresas no tienen el hábito de reutilizar cuando es poco atractivo económicamente. Lo anterior se origina por los altos costos que se generan cuando el material viene muy contaminado o mezclado (Téllez, 2012).

Los plásticos pueden transportar hacia el alimento ciertos compuestos no deseables, como por ejemplo plastificantes o aditivos (Nerín, 2009). Por ello resulta de gran interés el desarrollo de alternativas a los plásticos convencionales, considerando la utilización de biopolímeros, una buena opción con aplicación en el campo de los envases (Núñez, 2013).

## Biopolímeros en lugar de plásticos

En la búsqueda de nuevos materiales más amigables con el medio ambiente podemos encontrar los denominados biopolímeros; éstos son bases poliméricas que se obtienen a partir de los residuos generados de la pesca, la agricultura o la ganadería. Desde un punto de vista ecológico el aprovechamiento de residuos resulta interesante, ya que se consigue obtener un rendimiento y valorizar estos desechos, reducir su cantidad y por lo tanto los costes y problemas de su eliminación (López, 2013). La naturaleza de estos compuestos es muy variada; son principalmente de origen proteico (gelatina, proteína del suero de la leche, zeína, gluten, proteína de soja, entre otras fuentes), polisacáridos (celulosa, gomas, almidón, quitosano, agar, pectinas, entre otros) y lipídicos (ceras, grasas, aceites) o los denominados sintéticos, que son polímeros obtenidos de las bases poliméricas antes mencionadas, pero transformados por la acción de un microorganismo. Ejemplo de compuestos como estos últimos son los polihidroxialcanatos y el ácido poliláctico, ambos bioplásticos, que tienen la particularidad de ser productos de alta degradación (Rubio y Guerrero, 2012). Para que un biopolímero pueda ser denominado biodegradable debe ser descompuesto por la acción de microorganismos, enzimas, luz solar o degradación química en bióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa. Igualmente, los productos resultantes pueden ser obtenidos en un periodo determinado (Rubio y Guerrero, 2012; Núñez, 2013). Dentro de los biopolímeros comúnmente utilizados en la agricultura se pueden nombrar dos principalmente: las películas y los recubrimientos. Éstos son definidos en función de cómo son expuestos a las frutas y hortalizas.

Un recubrimiento o cobertura comestible es una capa formada como un revestimiento sobre el alimento, mientras que una película es una capa ya prefabricada que se aplica sobre el producto. De forma general puede decirse que los recubrimientos se aplican en forma líquida sobre el alimento, normalmente por inmersión del producto en una solución con capacidad filmogénica. Por otro lado, las películas son elaboradas como láminas sólidas y se aplican posteriormente sobre el alimento como una envoltura (Núñez, 2013). Las propiedades funcionales de las películas o recubrimientos son iguales a los de los empaques no biodegradables o sintéticos. Entre los principales usos se tiene que actúan

como barrera a la humedad, al oxígeno, al dióxido de carbono, a la presencia de microorganismos y como agentes extraños al producto (Morin, 2010).

### Principales componentes de biopelículas y recubrimientos comestibles

La elaboración de los envases comestibles requiere al menos de un componente capaz de formar una matriz estructural. Esta capacidad la poseen algunos biopolímeros y lípidos, por tanto, suelen ser la base de los envases comestibles. Muchas veces resulta imprescindible agregar aditivos como los plastificantes a la formulación de estos envases, puesto que sin ellos la película resultante sería excesivamente frágil y muy poco flexible. Además de los plastificantes se pueden incluir otros aditivos, tal vez no tan estrictamente necesarios como los anteriores, pero que su inclusión en la formulación supone una mejora en las propiedades tecnológicas y funcionales de las envolturas (López, 2013).

### Proteínas en las biopelículas y recubrimientos comestibles

Los materiales a base de proteínas consisten en redes macromoleculares continuas, de baja humedad y regularmente ordenadas. Para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles a base de proteína se han utilizado de diferente origen, tanto animal como vegetal. Así, se pueden encontrar en la literatura películas de gelatina, caseína, proteína aislada o concentrada del suero lácteo, gluten de trigo y proteína de soya, entre otras (López, 2013; Araujo, 2014). Las interacciones entre proteínas necesitan ser numerosas y uniformes. La probabilidad de formación de enlaces intermoleculares depende de la forma de la proteína y de las condiciones de proceso. Los biopolímeros proteicos forman redes macromoleculares tridimensionales que se estabilizan mediante diversos tipos de enlaces (interacciones electrostáticas, puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, enlaces covalentes y puentes disulfuro), los cuales dependen de la composición aminoacídica de las proteínas participantes. Los enlaces se pueden favorecer durante el procesado, tanto por las soluciones en las que se encuentra como por el tratamiento térmico y modo de secado. Asimismo, la forma de la proteína es de gran importancia para la formación de estas redes que conforman la matriz. Las proteínas de alto peso molecular y fibrilar, como el colágeno, la gelatina y las proteínas miofibrilares, pueden formar redes más amplias con buenas propiedades mecánicas. En cambio, las proteínas globulares, frecuentemente de bajo peso molecular, tales como las proteínas aisladas de soya y las proteínas sarcoplásmi-

cas, usualmente necesitan desdoblarse antes de la formación de la red (Rubio y Guerrero, 2012; López, 2013; Araujo, 2014).

También se puede modificar la estructura de la proteína por desnaturalización y agregación, para ofrecer variaciones en las propiedades que generan al constituir la red filmogénica. Todas estas variables y la gran diversidad de características de las distintas proteínas permiten obtener un amplio abanico de posibilidades y propiedades de las películas constituidas a partir de estos biopolímeros. En general, si bien las películas a base de proteínas presentan buenas propiedades de barrera frente al oxígeno y el dióxido de carbono, son susceptibles a la humedad (López, 2013).

### Hidratos de carbono en las biopelículas y recubrimientos comestibles

Las películas de polisacáridos tienen buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales seleccionados. Sin embargo, no son buena barrera para la humedad. Tienen varios orígenes: celulosa y derivados, almidones y derivados, pectina y arabinosilanos, gomas procedentes de algas (alginatos o carragenatos), gomas procedentes de microorganismos (pululano, xantano o gelan) y quitosano, proveniente de desechos de la industria pesquera (Morin, 2010; Núñez, 2013). Las propiedades de las películas formadas por dichas biomoléculas dependen de la estructura de las mismas, ya que el número de puentes de hidrógeno o el peso molecular afectan las propiedades finales de las películas. Los polisacáridos pueden ser lineales o ramificados y se componen de la repetición de un mismo monosacárido o varios (homoglucanos o heteroglucanos).

También se pueden encontrar polisacáridos con carga neutra (por ejemplo agar, metilcelulosa), carga negativa (alginato de sodio, carragenano, pectina) o carga positiva (quitosano), debido a los grupos químicos unidos a los monosacáridos (Morin, 2010; Núñez, 2013). Estas características estructurales determinan las diferencias entre un polímero y otro así como su incompatibilidad entre polisacáridos o entre diferentes componentes (por ejemplo proteínas, minerales, ácidos y lípidos), e incluso determinan sus propiedades formadoras de películas y sus características de este tipo de materiales vienen determinadas también por la estructura del polisacárido, ya que influye el número de enlaces de hidrógeno intermoleculares establecidos entre las cadenas del polímero. El peso molecular del polisacárido también juega un papel importante en las propiedades finales de las películas. Los polímeros lineales de alto peso molecular y de carácter no iónico forman películas fuertes, como es el caso del agar y la metilcelulosa. En cambio, los polisacáridos más ramificados, con o sin carga iónica, forman películas más débiles (Núñez, 2013; López, 2013).

## Lípidos y ceras en las biopelículas y recubrimientos comestibles

Se utilizan generalmente como agentes de recubrimiento para conferir brillo a productos de confitería o frutas. Las ceras son comúnmente ocupadas como recubrimiento de frutas y vegetales para retardar la respiración y la pérdida de humedad (Morin, 2010). La principal función de las cubiertas lipídicas es obstruir el transporte a la humedad debido a su baja polaridad. Por el contrario, la hidrofobicidad característica de los lípidos da lugar a la formación de películas gruesas y frágiles. Consecuentemente, las películas a base de estas moléculas deben combinarse con proteínas y polisacáridos para mejorar las características mecánicas (Rubio y Guerrero, 2012). La mayor o menor eficacia para actuar como barrera depende de la composición química del lípido en cuestión, es decir, de la presencia de elementos polares, longitud de la cadena hidrocarbonada y el grado de insaturación o acetilación (López, 2013).

Por otro lado, las películas elaboradas a partir de lípidos (ceras, aceites, entre otros) y poliésteres (poli-D- $\beta$  hidroxibutirato y ácido poliláctico) tienen buenas propiedades de barrera. Estas moléculas permiten el vapor de agua, pero normalmente son poco flexibles y opacas. Además, las películas de lípidos tienden a presentar enranciamiento y gran fragilidad (Núñez, 2013).

## Biopelículas en frutas y hortalizas

Aplicar recubrimientos comestibles a frutas y hortalizas a partir de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas, así como mezclas de éstos, disminuye su tasa de respiración, retarda su pérdida de peso por deshidratación y prolonga las pérdidas de firmeza y prolongación causadas por microorganismos. Además, se inhibe el empardeamiento enzimático y otras reacciones metabólicas asociadas con la maduración. Igualmente, se promueve la conservación de las propiedades mecánicas y se conservan las características sensoriales, ya que se retarda la maduración y se incrementa la vida útil de la fruta. Lo anterior, debido a que los recubrimientos y películas proporcionan una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua; además, pueden actuar como portadores de ingredientes funcionales y agentes antimicrobianos o antioxidantes (Vázquez y Guerrero, 2013).

## Conclusiones

Las biopelículas o recubrimientos plásticos elaborados a partir de desechos agroindustriales son una alternativa sustentable que disminuye en gran medida la pérdida económica y de la salud humana generadas por el deterioro de frutas y hortalizas, aumentando la vida de anaquel de éstas sin perder sus propiedades sensoriales.

## Bibliografía

- Araujo L., J. A. (2014), “Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de quitosano a partir de exoesqueleto de camarón sobre las características físicas y microbiológicas del chorizo pamplona”, Universidad Autónoma del Estado de México, México, 61 pp.
- Arias V., C. J., y J. Toledo Hevia (2000), “Técnicas mejoradas de poscosecha, procesamiento y comercialización”, 136 pp.
- Badui, D. S. (1999), “Química de los alimentos”, Alhambra Mexicana, 736 pp.
- Belitz, H. D. y W. Grosch (1997), “Química de los alimentos”, Acricbia, 1134 pp.
- FAO (2011), “De la huerta a la mesa: promoción del consumo de frutas y vegetales a partir de huertas familiares”.
- FAO (2012), *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Alcance, causas y prevención*, Roma.
- Giraldo G., M. I. (1999), “Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos”, 106 pp.
- Granda R., D., Y. Medina P., M. Culebras R. y C. Gómez C. (2014), “Desarrollo y caracterización de una película activa biodegradable con antioxidantes (alfa-tocoferol) a partir de las proteínas del lactosuero”, *Vitae*, revista de la Facultad de Química Farmacéutica, vol. 21, núm. 1, pp. 11-19.
- Jay, M. J., J. M. Loessner y A. D. Golden (2005), *Modern Food Microbiology*, 7ª ed., Springer, Nueva York, 790 pp.
- Leyva López, Nayely, J. Basilio Heredia1, Laura Aracely Contreras Angulo, María Dolores Muy Rangel, Juan Pedro Campos Saucedo e Irma González Lizárraga (2011), “Sales de calcio mejoran vida de anaquel y aceptabilidad general de papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol) fresca cortada”, *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
- López de L., A. M. (2013), “Diseño, desarrollo y aplicación de envases comestibles potencialmente bioactivos”, tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España 400 pp.
- Morin A., C. S. (2010), “Elaboración y caracterización de películas comestibles a base de almidón de maíz ceroso y mucílago de nopal (*Opuntia ficus*)

- usando la tecnología de extrusión termoplástica”, tesis de grado, Universidad Autónoma de Querétaro, 83 pp.
- Mossel, D. A. A., B. Moreno y C. B. Struijk (2003), *Microbiología de los alimentos*, Acribia, Zaragoza.
- Nerín de la p., C. (2009), “Seguridad alimentaria en materiales en contacto con los alimentos”, en Nerín de la Puerta, *Seguridad alimentaria e higiene de los alimentos*, Instituto Tomás Pascual Sanz para la Nutrición y la Salud, Madrid, pp. 127-146.
- Núñez F., R. (2013), “Desarrollo de películas activas de gelatina con incorporación de lignina y su aplicación alimentaria”, tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid, 15 pp.
- OMS y FAO (2007), “Codex alimentarius. Frutas y hortalizas”, Roma.
- Pelayo Z., C. (2003), “Las frutas y hortalizas como alimentos funcionales”, UAM, 20 pp.
- Rubio, A., M., y B. J. A. Guerrero (2012), “Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables”, *temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6-2, pp. 173-181.
- Téllez M., A. (2012), “La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá”, tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, 120 pp.
- Vázquez B., M. C., y J. A. Guerrero B. (2013), “Recubrimiento de frutas con biopelículas”, *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7-2, pp. 5-14.



# El acompañamiento agroempresarial como motor de desarrollo sustentable: caso de estudio Destilado de Agave de la Comunidad de Santa María Asunción, Zumpahuacán, Estado de México

ANTONIO DÍAZ VÍQUEZ,<sup>1\*</sup> JESÚS HERNÁNDEZ ÁVILA,<sup>1</sup>  
AMALIA PÉREZ HERNÁNDEZ<sup>1</sup> y PEDRO SALDÍVAR IGLESIAS

## Resumen

La globalización en los agronegocios es un panorama más complejo por el aumento de competidores, el acceso a nuevos mercados y el desarrollo de nuevas tecnologías que han llevado a éstos a centrar esfuerzos en la construcción de una identidad que fortalezca sus competencias; enmarcadas en la sustentabilidad que ha tomado un papel clave como estrategia global, basada en la prosperidad económica, el balance ecológico y el bien común para el desarrollo social. En la mayor parte de los países se realizan iniciativas y proyectos orientados a fomentar el desarrollo rural. La extensión rural hace referencia a la transferencia de los adelantos científicos y tecnológicos por medio de agentes denominados extensionistas rurales. El acompañamiento agroempresarial es un concepto genérico que incluye las diferentes actividades de suministro de información y de asesoramiento; comprende conocimientos técnicos y facilita la intermediación y la capacitación de los diferentes actores; es un proceso de trabajo con el productor agropecuario, orientado al desarrollo sostenible de sus capacidades para mejorar el acceso al mercado, abordando la evolución de las modalidades de riesgos y la protección del medio. Toda empresa integra un conjunto de actividades interrelacionadas, como el diseño del producto, la obtención de recursos productivos, la programación y puesta en marcha de la producción, la gestión del personal, las operaciones de logística o la distribución del producto a los clientes, entre otras. A su vez, la empresa obtiene una ventaja competitiva en la medida en que se desempeña con un costo menor o de manera más eficiente que sus competidores en aquellas actividades de la cadena de valor que son estratégicamente importantes. La competitividad de la actividad agropecuaria se ve afectada en la rentabilidad por la carencia de marcos normativos, políticas públicas y estrategias que promuevan y apoyen esta actividad primaria para la

1 Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIEAF), Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo, Piedras Blancas, municipio de Toluca, Estado de México, km. 15.5, carretera Toluca-Ixtlahuaca, C. P. 50200.

\* Autor para correspondencia: adiazv@uaemex.mx; Tel. (722) 2965518, ext. 137.

generación de oportunidades y formas innovadoras de producción y comercialización. La construcción de conocimiento, el reconocimiento y rescate de las identidades productivas y tecnológicas y por lo tanto el conocimiento en el tejido productivo y organizativo, representa una fuerza importante de desarrollo rural, lo que demanda extensionistas facilitadores en los procesos de innovación, adoptando nuevos conceptos y formas de ver lo rural para contribuir y acceder a nichos de oportunidad y mercados. El acompañamiento agroempresarial tiene un enfoque hacia la inclusión y el desarrollo sustentable, para que se promuevan las innovaciones en los sistemas productivos de la agricultura familiar; rescate de valores, capacitación y gestión. La propuesta de valor tiene como finalidad solucionar un problema o satisfacer la necesidad de un cliente, lo que implica una serie de ventajas que un agronegocio puede ofrecer a sus clientes repercutiendo en el desarrollo sustentable de una comunidad.

*Palabras clave:* extensionismo, cadena de valor, cadena de producción, desarrollo rural.

## Introducción

En la actualidad las empresas enfrentan día a día el reto de sobrevivir debido a las crecientes necesidades materiales, la escasez de recursos naturales y las desigualdades. La sustentabilidad tomó un papel clave como estrategia global, basada en la prosperidad económica, el balance ecológico y el bien común. La globalización en los negocios ha vuelto el panorama más complejo; el aumento de competidores, el acceso a nuevos mercados y el desarrollo de nuevas tecnologías han llevado a los negocios a centrar esfuerzos en construir una identidad que fortalezca sus competencias (Velázquez *et al.*, 2012).

La agricultura sustentable es el manejo y conservación de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnológicos e institucionales para asegurar la satisfacción de las necesidades humanas en forma continua de generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo sustentable conserva el suelo, el agua y los recursos genéticos animales y vegetales; no degrada al medio ambiente, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable. A esta definición se agrega que la agricultura sustentable equilibra equitativamente intereses relacionados con la calidad ambiental, la viabilidad económica y la justicia social entre todos los sectores de la sociedad (Bautista y Smit, 2012).

En la mayor parte de los países se realizan iniciativas y proyectos orientados a fomentar el desarrollo rural. La extensión rural hace referencia a la transferencia de los adelantos científicos por medio de agentes denominados extensionistas rurales.

Se concibe al extensionista como un acompañante de procesos que aporta sus conocimientos, habilidades y percepciones en función de la búsqueda de

condiciones que satisfagan vivir. En este sentido, implica vislumbrar la actividad agrícola como un medio para la generación de desarrollo (Méndez, 2006).

El extensionista debe transitar de un modelo vertical a uno horizontal; de tal manera que los campesinos y los pequeños productores sean los protagonistas y forjadores de su propio presente y futuro. Esto involucra rescatar el valor de la cultura cotidiana, del conocimiento popular y la idiosincrasia rural como símbolo de identidad; labor implícita del agente de cambio (Méndez, 2006).

La extensión es acción con otros, orientada a la dinamización de espacios donde el intercambio de información y conocimientos impulsa procesos de innovación. Ésta responde a las necesidades de un territorio como construcción social e identifica las oportunidades de transformación al incorporar los saberes e intereses locales. El objetivo es incrementar las capacidades de gestión de los recursos disponibles para alcanzar el desarrollo sustentable del individuo y convertir en un sujeto y no en el objeto de las acciones e intervenciones (Méndez, 2006).

La extensión rural es un proceso de trabajo y acompañamiento con el productor; dicho trabajo de colaboración está orientado al desarrollo sostenible de sus capacidades; esto requiere el uso de capacidades institucionales para el abordaje interdisciplinario, que permitan llevar a cabo diagnósticos con visión sistémica, estudios prospectivos de demandas, evolución de escenarios, evaluación de efectos e impactos de las intervenciones, sistematización de las prácticas, dinamización de procesos grupales, comunitarios, asociativos, gestión interinstitucional, investigación-acción, procesos de educación no formal, formación de los profesionales de asistencia técnica y extensión rural (Procisur, 2014).

Al motivar el intercambio de bienes, conocimientos y servicios, dichas dinámicas favorecen la formación de múltiples canales de relación, por lo que el quehacer de los extensionistas deja de limitarse a acompañar procesos absolutamente asociados a la producción agrícola directa. La producción agropecuaria no se limita a la actividad primaria en sí. La nueva concepción de lo rural enfatiza que los ámbitos rurales realicen múltiples actividades; muchas de ellas tienen origen en la propia producción agropecuaria como las cadenas productivas, la comercialización y las cadenas de valor (Méndez, 2006).

La extensión con enfoque hacia la inclusión y el desarrollo promueve innovaciones en los sistemas productivos de la agricultura familiar, en la creación de más y mejores oportunidades de trabajo para que las personas más vulnerables alcancen una variedad de estrategias de subsistencia y medios de vida. El intercambio de saberes son objetivos de la extensión rural; es decir, ampliar una visión e ir más allá de la tecnología agropecuaria para abrir oportunidades y acceder a mercados con la finalidad de mejorar la seguridad alimentaria, reducir las restricciones en el sistema financiero y contribuir a mitigar sus vulnerabilidades ambientales; así como aumentar su representatividad en las arenas políticas y sociales, con el fin de modificar las prácticas convencionales y así brindar servi-

cios que promuevan un abordaje multidisciplinario e interdisciplinario, enfocado a metodologías participativas que hagan uso de conocimientos locales como elementos claves (Relaser, 2013).

A partir de este enfoque, la extensión se enfrenta a ciertas vicisitudes, entre ellas, el entendimiento de las prioridades y características específicas de las personas en condición de pobreza. La ampliación de los servicios que incluyen aspectos no tradicionales, como el fortalecimiento de las organizacionales, las condiciones sanitarias y medioambientales, el conocimiento de las exigencias de los mercados, la búsqueda de esquemas innovadores enfocados al financiamiento de prestaciones de servicios, donde cada actor aporte y logre sinergia hacia un mismo objetivo.

Aunado a lo anterior, la extensión involucra una visión rural cuyo enfoque es de carácter multidimensional, ya que contribuye a una apertura de crecimiento al sector más vulnerable de la población: el agricultor. En este sentido, el mejoramiento involucra la participación en mercados de trabajo, acceso a organizaciones, a cadenas de valor y, en general, a mejoras en los medios de vida para lograr el desarrollo rural inclusivo (Relaser, 2013).

Si consideramos que la extensión comparte conocimientos técnicos, que facilitan la intermediación y la capacitación de los diferentes actores para mejorar el acceso al mercado, la evaluación de riesgos y la protección del medio ambiente, entonces estos son elementos claves en servicios tales como la difusión de información sobre nuevas tecnologías, la investigación de mercados, los insumos, los servicios financieros, el clima y el tiempo, la capacitación y el asesoramiento a los distintos agricultores, los grupos y las organizaciones de agricultores cooperativas y otras agroindustrias de la cadena de comercialización; por lo tanto, la extensión es una inversión necesaria para potenciar el capital humano y social de la población rural en pro del desarrollo sustentable (Christoplos, 2010).

Sin embargo, la competencia afecta la rentabilidad de la labor agropecuaria por la carencia de marcos normativos, políticas públicas y estrategias que promuevan y apoyen esta actividad primaria para la generación de oportunidades y formas innovadoras de producción y comercialización. La construcción de conocimiento, el reconocimiento y rescate de las identidades productivas y tecnológicas y por lo tanto el conocimiento en el tejido productivo y organizativo, representa una fuerza importante de desarrollo (Procisur, 2014).

Las ciencias económicas y administrativas modernas cuentan con herramientas innovadoras y de gran impacto que permiten analizar cómo las empresas pueden:

1. Mejorar su situación estratégica observando su entorno.
2. Conocer cómo su comportamiento y sus acciones afectan a sus competidores y hacen eficientes a sus aliados.

3. Llevar a cabo innovaciones que cambien su forma de hacer negocios al generar ventajas de competencia significativas; e inclusive
4. Saber cuáles son las ventajas de asociarse con sus competidores para lograr una meta en común.
5. Impulsar un sistema de producción sustentable y con enfoque de protección al medio ambiente.

Estas herramientas constituyen un potencial real para incrementar la competitividad de la empresa rural<sup>2</sup> (Caballero, 2013). Para explicar dicho fenómeno de comportamiento es importante entender el concepto de “valor” definido como la cantidad que los compradores están dispuestos a pagar por lo que la empresa les proporciona. Se mide mediante el ingreso total. El valor total consta de las actividades de valor y del margen. Las actividades de valor que realiza una empresa son físicas y tecnológicas. El margen es la diferencia entre el valor total (ingreso) y el coste de desempeñar las actividades de valor (Fernández, 2006).

La propuesta de valor reconoce el grado de importancia e implicación de cada eslabón en una cadena de producción agropecuaria, con la finalidad de solucionar un problema o satisfacer la necesidad de un cliente. Esto implica que la propuesta constituye una serie de ventajas al concepto de agronegocio. Entre los elementos que pueden contribuir a crear valor para cada cliente:

- Novedad. Se relaciona directamente con la tecnología ya que permite ofrecer propuestas de valor para satisfacer necesidades inexistentes.
- Mejorar el rendimiento. Forma típica de crear valor, aumentando el rendimiento de un producto y de manera armónica con el medio ambiente minimizando la contaminación.
- Diseño. Un producto puede destacar por la calidad de su diseño.
- Accesibilidad. También se puede generar valor poniendo a disposición de los clientes productos a los cuales antes no tenía acceso.

Las materias primas tienen precios porque ponemos un precio a todo lo que necesitamos o utilizamos, aun cuando todavía se encuentran en su estado origi-

<sup>2</sup> Se define la empresa agropecuaria como [...] una unidad microeconómica de producción en la cual debe hacerse un uso racional, ordenado y equilibrado de los recursos disponibles para lograr resultados técnicos, físicos y económicos que permitan el mejoramiento de los niveles de vida del productor y su familia, su integración efectiva y real al proceso de desarrollo y la comprensión de la responsabilidad social, acompañada por la promoción de una capacidad empresarial creciente, puesta al servicio de la agricultura (Mora Rendón, Sol Bibiana, 2012). “Las empresas del sector agropecuario: racionalidad económica y gestión”, AD-Minister, julio-diciembre, pp. 87-99.

nal; la obtención de materias primas involucra trabajo, elemento que genera el valor de las materias primas. El trabajo de extraer las materias primas de donde se encuentran y después transportarlas ya les confiere un valor agregado (Marcuse, 2012). El valor es erróneamente visto como una propiedad de los bienes y servicios. El valor es mucho más que una propiedad del objeto: es una fuerza que gobierna nuestro comportamiento (Ramírez, 2007).

El valor se incrementa si el desempeño mejora o si el costo se reduce. Según el enfoque de la empresa, se pueden clasificar los métodos de valor en los que:

- Incrementa el valor mejorando el desempeño de los productos o servicios que ofrece la empresa.
- Mejoran el valor de la compañía.
- Se enfocan en el futuro y plantean estrategias para mejorar el valor de nuevos productos o servicios que apenas se encuentran en la etapa de diseño.

Actualmente se hace hincapié en el análisis de valor, que tiene como misión proporcionar los beneficios de un producto existente a un costo menor sin sacrificar el desempeño del mismo.

El mejoramiento de un producto por medio de la utilización de disciplinas de valor es el resultado de la aplicación de un sistema de técnicas que identifican las funciones básicas de un producto y aseguran que éstas sean realizadas al menor costo total.

A su vez, la cadena de valor es el uso explícito, formal y consciente de la información de costos para el desarrollo de estrategias encaminadas al logro de una ventaja competitiva sostenible para la empresa (Ramírez, 2007), que a través del análisis de ésta se puede detectar cómo reducir los costos, cómo diferenciar los productos de la empresa con los productos de la competencia, así como las diferencias procesos/actividades, donde es conveniente cuantificar los costos de cada proceso e identificar sus generadores de valor, lo cual genera un panorama estratégico que demanda realizar esfuerzos para agregar valor y controlar los costos (Fernández *et al.*, 2006).

Toda empresa integra un conjunto de actividades interrelacionadas, como el diseño del producto, la obtención de recursos productivos, la programación y puesta en marcha de la producción, la gestión del personal, las operaciones de logística o la distribución del producto a los clientes, entre otras. A su vez la empresa obtiene una ventaja competitiva en la medida en que se desempeña con un costo menor o de manera más eficiente que sus competidores en aquellas actividades de la cadena que son estratégicamente importantes.

Cuando se trate de producir al menor costo, la forma de utilizar la cadena de

valor consiste en establecer la contribución de cada fase al costo total del producto a partir de una contabilidad de costos tradicional que no registra los costos de no producir, tales como la baja calidad, una máquina dañada o las partes que se requieren para la producción que no han sido enviadas. Aun así, estos costos no registrados y no controlados llegan en algunos casos a ser tan altos como los costos que la contabilidad tradicional sí registra. En contraste, un nuevo método de contabilidad de costos, llamado costeo, basado en actividades, registra todos los costos y los relaciona, a diferencia de la contabilidad tradicional, con el valor agregado (Ramírez, 2007). Un sistema de costos primero acumula los costos de cada actividad y luego aplica los costos de las actividades a los productos con el objeto de controlar o vigilar los costos de cada producto/actividad en lugar de asignarlos de una manera arbitraria sin una toma de decisiones pensada en estrategias en pro de la empresa.

Los diferentes estudios de la administración han evolucionado. Se iniciaron pensando sólo en la reducción de costos, fijándose como objetivo reducir o sustituir partes sin cambiar significativamente el diseño del artículo.

Actualmente se hace hincapié en el análisis de valor, que tiene como misión proporcionar los beneficios de un producto existente a un costo menor sin sacrificar el desempeño del mismo. En la cadena de valor se consideran los diferentes procesos/actividades, en donde es conveniente cuantificar los costos de cada proceso e identificar sus generadores de valor, lo cual genera un panorama estratégico que demanda realizar esfuerzos para agregar valor y controlar los costos.

La competitividad de la red de valor radica en su capacidad para generar riqueza entre los actores que la integran mediante su incursión sostenible en el mercado. Para analizar la competitividad de la red es necesario conocer las variables económicas involucradas: las ganancias, los ingresos, el volumen y los costos de producción; las ganancias económicas son la diferencia de los ingresos menos los costos de operación; los ingresos son producto del precio multiplicado por el volumen de producción, en donde la primera variable es determinada por la oferta y la demanda del mercado y sobre el cual sólo se puede incidir mediante estrategias genéricas como la diferenciación o segmentación del mercado; mientras, el volumen de producción está determinado por los recursos y la frontera de posibilidad de producción.

Los costos de producción representan la variable con mayor control por parte de la empresa. Los precios están integrados por los costos explícitos que corresponden a los pagos que la empresa realiza por activos y pasivos y los costos implícitos que representan el importe de oportunidad de los recursos con los que cuenta. Por lo tanto, la empresa tiene dominio en áreas estratégicas que pueden incidir directamente en los ingresos y costos de producción e incrementar sus ganancias y ampliar la cobertura de su mercado (Barrera *et al.*, 2013).

Las variables económicas de la cadena de valor se pueden evaluar desde los enfoques del desarrollo sustentable y el acompañamiento agroempresarial en las cuatro áreas de la empresa (producción, recursos humanos, finanzas y comercialización), enfoques que permiten detonar procesos administrativos basados en la construcción de soluciones o estrategias para atender problemas específicos y/o comunes (Roldán, 2015).

## Caso de estudio

El presente caso de estudio se aborda desde el desarrollo sustentable y el acompañamiento agroempresarial que se desarrolla en la comunidad de Santa María la Asunción del municipio de Zumpahuacán, Estado de México, con productos propietarios de una superficie cultivada con agave silvestre cuyo aprovechamiento es el destilado de agave conocido también como mezcal, bebida alcohólica que se elabora en forma artesanal, apegada estrictamente al proceso cultural, tecnológico-regional que se ha construido a lo largo de su historia.

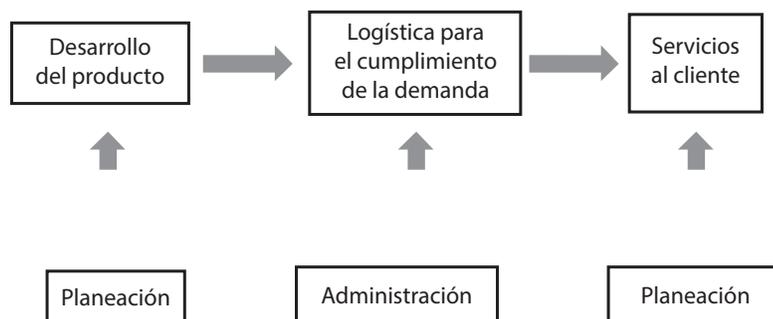
El acompañamiento con el grupo se inició en el año de 2009, constituyendo una Sociedad Cooperativa de Responsabilidad Limitada y un diagnóstico estratégico para determinar la situación que prevalecía a través de un análisis FODA; se elaboró un plan estratégico de acción a corto, mediano y largo plazos para atender las necesidades más apremiantes considerando decisiones estratégicas.

Para la elaboración de este documento se utilizó un enfoque cualitativo, con entrevistas directas para medir los resultados del acompañamiento agroempresarial, que a partir de habilidades, conocimientos y formación académica identifica y propone nuevas tecnologías, y el impacto generado en la sociedad cooperativa que explora, aplica y adapta nuevos conocimientos de acuerdo a las cuatro funciones de la extensión: el cambio tecnológico, la educación no formal, el cambio institucional, la provisión de créditos o subsidios y trabajo asociativo.

Asimismo, se evaluó el impacto que genera la cadena de valor de la producción de destilado de agave en el margen de utilidad bruta, considerando el proceso productivo del mismo, desde el mantenimiento del cultivo hasta el envase para su distribución, por lo cual se consideraron los siguientes pasos:

1. Definir la cadena de valor de la empresa y asignar los costos y los activos correspondientes a cada proceso de la cadena.
2. Identificar los generadores de costo que impulsan el valor de cada “gran proceso”.
3. Identificar los generadores de valor de cada “gran proceso”.
4. Explorar las posibilidades de lograr una ventaja competitiva.

FIGURA 1. *Proceso para identificar la cadena de valor*



Fuente: Ramírez, 2007

CUADRO 1. *Diagnóstico de fortalezas y oportunidades*

<i>Fortalezas</i>	<i>Oportunidades</i>
Estado de México productor de destilados de agave	Apertura del mercado nacional y de exportación
20 ha de agave silvestre en diversas etapas de desarrollo	Dependencias y organizaciones con personal calificado para brindar asesoramiento y capacitación
Bebida considerada como patrimonio gastronómico	Infraestructura tecnológica apropiada para el proceso productivo
Producto 100% natural	Actividad considerada en el Plan de Desarrollo Rural 2003
Proceso de producción artesanal, transmitido de generación en generación	Estrategia considerada en el Plan Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018
Alambiques de destilados	Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (Comercam) <sup>a</sup>
Materia prima con valor agregado	Norma Oficial Mexicana NOM-070
Empresas familiares en donde las mujeres tienen una participación activa	Existen tecnologías de comunicación e información
Mano de obra calificada y suficiente	Nicho de mercado de alto poder adquisitivo
Costo de producción bajo	Cercanía a los nichos de mercados
	Región considerada de alta marginación

Fuente: Elaboración propia, 2016.

<sup>a</sup> Consulte el proceso de certificación del mezcal en <http://www.crm.org.mx>.

CUADRO 2. *Diagnóstico de debilidades y amenazas*

<i>Debilidades</i>	<i>Amenazas</i>
Se desconocen las especies botánicas con las que se elaboran el destilado de agave	Cercanía con entidades federativas con denominación de origen
Grupo informal sin organización	Incipiente investigación sobre la especie y variedades
Infraestructura vieja	Compra de la materia prima por tequileros y mezcaleros de otras zonas productoras
Sólo acceden al mercado local	Lejanía a los centros de comercio de insumos auxiliares
Venta a granel, que le resta calidad comercial	Los recursos no renovables empleados como energéticos no tienen manejo sustentable
Proceso de producción no estandarizado	Erosión del suelo
Producto no estandarizado	Marbete de alto costo
Sin marca registrada	Establecimiento del precio a través del método status quo
El producto terminado carece de diseño de imagen para su comercialización	Desechos y subproductos contaminantes NOM 199, cambio de nombre de mezcal a komil, para considerar la denominación de origen
Materia prima escasa	
El producto carece de innovación	
Falta de estrategias de promoción y publicidad del producto	
Se desconocen los costos de operación	
Sin controles del proceso de producción y administrativos	
Liderazgo parcial	
Producción estacional	
Falta de estrategias de distribución	

Fuente: elaboración propia, 2016.

Los resultados en el caso de estudio de la sociedad cooperativa se apoyaron en un análisis estratégico identificando las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (cuadros 1 y 2).

Derivado del análisis anterior se establecieron tres líneas de acción: administración y gestión, producción y mercado, definiendo para cada una de las accio-

nes que lleven a la empresa al desarrollo de un sistema de producción sustentable, del destilado de agave, enmarcado en el acompañamiento agroempresarial; para los cual se han llevado a cabo acciones con las que se han obtenido los siguientes resultados:

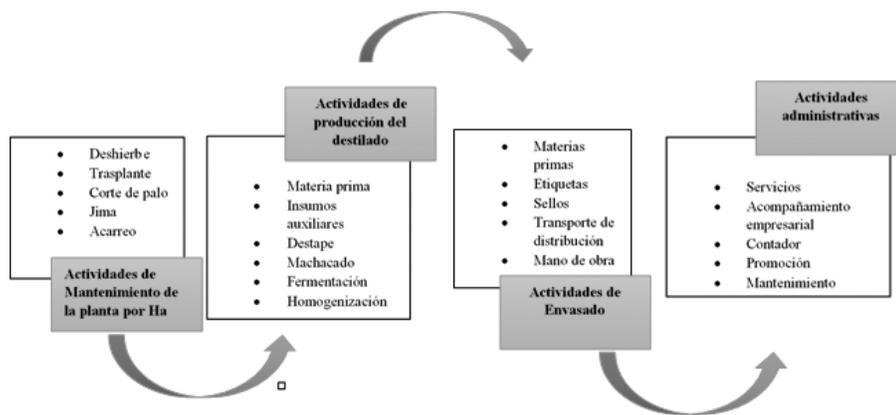
Con los resultados obtenidos y las acciones por realizar se considera que los extensionistas son agentes facilitadores y formadores en los procesos de innovación, responsables de adoptar nuevos conceptos y formas de ver lo rural.

En cuanto al uso de herramientas administrativas para determinar el margen de utilidad bruta se tomó en cuenta el análisis situacional para elaborar un plan de trabajo a fin de otorgar valor agregado al producto por reunir la calidad necesaria y comercializarlo en un nicho de mercado específico en el que se valoren los productos artesanales y naturales.

Se identificó la cadena de valor para la producción de destilado de agave, agrupando las actividades de acuerdo con las diversas etapas de la cadena; se identificaron los costos de cada una de las actividades de los procesos establecidos; es importante aclarar que se consideró la superficie establecida por cada uno de los productores, así como su capacidad de operación para llevar a cabo la determinación de los costos.

La primera actividad identificada dentro de la cadena de valor es la del mantenimiento del cultivo, la cual se lleva a cabo durante ocho meses y consiste en el deshierbe del terreno para evitar la competencia con malezas; la reproducción natural del agave o maguey silvestre tomando los hijuelos o brotes producto de la floración del tallo central conocido como “quiote”, y el trasplante cerca de la planta madre para asegurar su correcto desarrollo, que puede variar entre

FIGURA 2. Cadena de valor del destilado de agave



Fuente: elaboración propia, 2016.

CUADRO 3. Resultados por líneas de acción

<i>Línea de acción</i>	<i>Acciones concluidas</i>	<i>Acciones en proceso</i>
	Se constituye la Sociedad Cooperativa de Responsabilidad Limitada y se nombra representante	Capacitación a las mujeres de la sociedad para la elaboración de papel de agave
	Se registra ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público	Gestión de recursos ante las instancias gubernamentales
	De acuerdo con la superficie en proceso se elabora un programa de producción	Trámite del marbete
	Se elabora un proyecto de inversión para la instalación de una envasadora, equipo de calidad alimenticia y la renovación de los alambiques con una TIR de 29 por ciento	
Administración y gestión	Se gestionan los apoyos económicos ante las instancias respectivas y se otorgan apoyos para dos alambiques, a fondo perdido	
	Se determina la cadena de valor para el cálculo del costo de operación unitario y el margen de utilidad bruta que resulta de 55.69 por ciento	
	Establecen controles de producción y administrativos	
	Con el apoyo de estudiantes de la UAEM. Se desarrolla el proceso para la elaboración de papel de agave	
	Se elabora proyecto de género para establecer un taller para la elaboración de papel de agave	
	Semiautomatización del proceso de destilación y envase	Con alumnos de la UAEM se encuentra en proceso dos tesis para la caracterización morfológica y organoléptica de las variedades utilizadas
	Determinación de las características organolépticas del producto de cada socio	Programa de propagación vegetativa de las variedades
Producción	Proceso de producción y producto estandarizado, manteniendo sus características de producto artesanal y 100% natural	Proyecto de cultivos intensivos
	Se establece el sistema de producción°	Proyecto de elaboración de compostas con los desechos orgánicos

CUADRO 3. Resultados por líneas de acción

<i>Línea de acción</i>	<i>Acciones concluidas</i>	<i>Acciones en proceso</i>
	Registro de marca del producto	Denominación de origen, sin considerar la norma propuesta
	Se establecen estrategias de promoción y publicidad con la asistencia a ferias, exposiciones y catas en restaurantes, página web y redes sociales como facebook	
	Se diseña la imagen del producto	
	Se envasa el producto en botella de 750 ml	
Mercado	Se agrega valor al etiquetarlo con papel de agave	
	Se reconoce el producto en la zona por su calidad	
	Se sigue vendiendo a granel con un incremento en precio de 100 por ciento	
	Se buscaron nuevos nichos de mercado estando presente en la actualidad en distribuidoras de mezcales y restaurantes de la Ciudad de México, Toluca, Puebla y Ciudad del Carmen, Quintana Roo, lo que representa un incremento, en relación con la venta a granel, de 32 por ciento	

Fuente: elaboración propia, 2016.

CUADRO 4. Costos del mantenimiento del cultivo por hectárea

<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>		<i>Costo unitario (\$)</i>	<i>Costo total (\$)</i>
Deshierbe	10	Jornales	160.00	1 600.00
Trasplante	5	Jornales	160.00	800.00
Corte de palo	1	Jornales	160.00	160.00
Corte de la planta o jima	3	Jornales	160.00	750.00
Acarreo	4	Jornales	160.00	1 000.00
			<i>Subtotal</i>	<i>4 310.00</i>

Fuente: elaboración propia, 2016.

5 y 12 años aproximadamente; corte de palo de los agaves maduros para el desarrollo de la piña; corte de la planta o jima y acarreo al alambique; todas estas labores se llevan a cabo con mano de obra propia a la que se le asignó el salario ajustado a la zona (cuadro 4).

Como segunda actividad en la cadena de valor se encuentra la producción del destilado de agave, actividad principal que requiere que el proceso sea homogéneo en cada uno de los productores, el cual consiste en el horneado, seguido del machado, fermentación, destilación y ajuste de riqueza alcohólica (cuadro 5).

Una vez identificados los costos por actividad, se procedió al cálculo del costo de operación por litro, considerando para esto la producción de 800 litros de destilado de agave que representan el producto obtenido de una horneada de agave.

La cadena de valor incluye llevar a cabo la comercialización del producto y sobre todo agregar mucho más valor con la intención de que el producto sea identificado en el mercado; por lo que dentro de esta actividad es importante considerar que el producto cuenta con marca, la cual ya se encuentra diseñada; cada productor firma las botellas y su destilado es caracterizado y mencionado en cada una; por otro lado, el producto resulta del siguiente flujo productivo: se pesa el destilado obtenido, se filtra para eliminar impurezas, se envasa, etiqueta, sella, se distribuye; es importante mencionar que el envasado y etiquetado se realizan en forma manual, ya que a la fecha la sociedad no cuenta con una planta envasadora (cuadro 6).

Como parte de la cadena de valor las actividades administrativas tienen una gran importancia ya que a través de éstas se lleva a cabo la gestión y la comercialización del producto (cuadro 7).

CUADRO 5. Costo de producción de destilado de agave

Concepto	Unidades		Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Leña	48	Carga	70.00	3 360.00
Acarreo	3	Un	1 000.00	3 000.00
Rejilla	1.5	Jornal	160.00	240.00
Arena	1.5	Jornal	160.00	240.00
Tierra	2	Jornal	160.00	960.00
Palma	3	Jornal	160.00	960.00
Destape	6	Jornal	160.00	960.00
Machacado	21	Jornal	160.00	3 360.00
Fermentación	6	Jornal	160.00	960.00
Destilación	2	Jornal	250.00	5 000.00
Homogeneización	1	Jornal	160.00	160.00
Envasado	1	Jornal	160.00	160.00
Acarreo	1	Jornal	160.00	160.00
<i>Subtotal</i>				<i>19 520.00</i>

Fuente: elaboración propia, 2016.

El costo de operación total se representa en el cuadro 8, que resulta de la suma de los costos por actividad de los eslabones de la cadena de valor, con lo que se obtiene el costo de operación por litro considerando que la producción por horneada es de 800 litros, por lo tanto el costo de operación es de \$165.41/l.

La presentación del producto es en botella de 750 ml por lo que se convierte el costo de operación a costo de operación por botella. Actualmente se vende la botella a un precio de \$280.00, con lo que se determina la utilidad bruta por botella (cuadro 9).

El margen de utilidad bruta mide el porcentaje de cada unidad monetaria de ventas que queda después de que la empresa pagó sus productos y la fórmula contable empleada es:

$$MUB = \frac{(Utilidad\ bruta)}{(Precio\ de\ venta)}$$

CUADRO 6. *Costo del envasado*

<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Costo total (\$)</i>	
Botella 750 ml	1 056	Piezas	7.65	8 078.40
Agua purificada	1 056	Un	0.01	15.36
Cajas de cartón	88	Piezas	14.90	1 311.20
Etiquetas	1 056	Piezas	12.32	13 009.92
Corcho	1 056	Piezas	2.00	2 112.00
Marbetes	1 056	Piezas	0.23	242.88
Sello	1 056	Piezas	0.20	211.20
Transporte distribución	1	Un	5 000.00	5 000.00
Mano de obra permanente	10	jornal	250.00	7 500.00
Mano de obra temporal	24	jornal	160.00	11 520.00
			<i>Subtotal</i>	<i>49 000.96</i>

Fuente: elaboración propia, 2016.

Con lo que resulta un margen de utilidad bruta de 55.69%, es decir que por cada peso que ingresa a la empresa \$0.56 son utilidad, considerado como un amplio margen en relación con el que la sociedad obtenía vendiendo a granel la producción en su localidad a un precio de \$60.00/l, lo que ha permitido buscar un nuevo nicho de mercado con el que se han visto beneficiados.

El análisis estratégico del caso de estudio: *Destilado de Agave de la Comunidad de Santa María Asunción, Zumpahuacán, Estado de México* permitió declarar las siguientes conclusiones:

El acompañamiento empresarial ha permitido:

- Proporcionar servicios integrales de innovación y extensión rural para incrementar la productividad.
- Establecer, a través de la transversalidad de la extensión e innovación rural, cadenas productivas y de valor afines a las dinámicas locales y regionales en las que se encuentra involucrado, como parte de un todo.
- Desarrollar en los productores capacidades productivas, competitivas y empresariales.

CUADRO 7. *Costos fijos o indirectos*

<i>Concepto</i>		<i>Unidades</i>	<i>Costo total (\$)</i>
Teléfono	1	Mes	1 000.00
Papelería	1	Paquete	500.00
Combustibles	1	Un	5 000.00
Agua potable	1	Mes	300.00
Energía eléctrica	1	Mes	1 200.00
Sueldos	1	Mes	25 000.00
Contador	1	Mes	12 000.00
Viajes y viáticos	1	Mes	4 000.00
Promoción y publicidad	1	Paquete	8 000.00
Mantenimiento	1	Paquete	2 500.00
		<i>Subtotal</i>	<i>59 500.00</i>

Fuente: elaboración propia, 2016.

- Reconocer en el desarrollo rural su carácter multidimensional; además de económico y productivo, es social, cultural, político y ambiental.
- Ver la actividad agropecuaria como parte de un todo más amplio, inserto en dinámicas territoriales que dinamiza las economías locales y regionales.
- Permitir que el productor comprenda que la actividad que desarrolla es el principal medio para asegurar la reproducción económica y social tanto propia como familiar y/o empresarial.
- Fomentar la participación directa de los sujetos involucrados como estrategia tendiente a asegurar la viabilidad social de los proyectos emprendidos.
- Reconocer los resultados de experiencias pasadas (no sólo positivas, sino también negativas) como punto de partida para la presentación de propuestas de desarrollo.
- Asumir su papel como un actor más y no como el líder único o supremo de los procesos de mejoramiento que acompaña.
- Capacidad para formular y gestionar programas y proyectos de desarro-

CUADRO 8. *Costo de operación*

<i>Concepto</i>	<i>Costo total (\$)</i>
Costos del mantenimiento del cultivo	4 310.00
Costo de producción de destilado de agave	19 520.00
Costo del envasado	49 000.96
Costos fijos o indirectos	59 500.00
Total costo de operación	132 330.96
Producción de destilado de agave en litros	800.00
Costo de operación por litro	165.41

Fuente: elaboración propia, 2016.

llo agrícola y rural, así como para identificar las distintas agencias financiadoras existentes.

- Establecer acciones de representación democrática efectiva, buscando que los diferentes tipos de actores participen activamente en los procesos de toma de decisiones y tengan mayor acceso a la información pertinente.
- Potenciar y viabilizar el surgimiento de propuestas ligadas a las nuevas funciones ambientales de lo rural, como alternativa de diversificación y/o reconversión productiva; velando por el uso sostenible de los recursos involucrados.
- Los agentes de extensión, ligados a lo local, y comprometidos, actúan como facilitadores del cambio, con un papel educativo y formativo.
- Motivar a los productores para que se enfrenten a los retos que existen en el sector rural y aprovechen las oportunidades que ofrecen el desarrollo humano y la promoción social.
- Ha considerado la asociatividad como una oportunidad y un mecanismo esencial para mejorar la inclusión económica y social, promoviendo la participación activa de los miembros de las familias rurales.
- Ha permitido integrarse a mercados con productos de mejor calidad y responder a las altas exigencias con lo que han mejorado su productividad y fortalecerse empresarialmente para la gestión económica y social.
- Ser considerada como una actividad de desarrollo rural importante para la región en busca de beneficios económicos, sociales, ambientales

CUADRO 9. *Utilidad bruta*

<i>Concepto</i>	<i>Porcentaje de utilidad (%)</i>
Costo de operación por litro	165.41
Costo de operación por botella	124.06
Precio por botella	280.00
Utilidad bruta	155.94
MUB	55.69%

Fuente. Elaboración propia, 2016.

y de patrimonio cultural en los planes de desarrollo locales, estatales y nacionales.

En cuanto a la determinación del margen de utilidad bruta se puede concluir:

- La aplicación de herramientas administrativas que generen valor han beneficiado a la sociedad cooperativa.
- La cadena de valor aplicada a la presentación final y comercialización del producto ha generado en la sociedad una ventaja competitiva en relación con los competidores de la zona.
- La cadena de valor ha permitido establecer nuevos nichos de mercado y buscar mejores precios de venta.
- Los procesos productivos de cada actividad se han homogeneizado entre los productores de la sociedad.
- Lo que ha repercutido en la calidad del producto logrando uno homogéneo, sin perder las características de cada uno de los productores, con aceptación y reconocimiento en el mercado.
- Se comprueba que la cadena de valor proporciona beneficios sin sacrificar el desempeño del producto ya que el proceso artesanal de la producción de destilado de agave, se ha conservado. Sin embargo, las condiciones de la infraestructura se han mejorado, y el proceso de producción se ha ajustado de tal forma que el producto cumpla las normas establecidas para este tipo de bebidas alcohólicas.
- Al aplicar la metodología de costos por actividad se identificaron los costos de operación de cada uno de los eslabones de la cadena de valor, determinando un costo de operación por litro y por presentación.

- El costeo por actividad ha permitido generar controles que permiten identificar los costos de cada proceso, los generadores de valor y tomar decisiones para establecer estrategias de producción y comercialización.
- El costo de operación determinado por litro considera el valor agregado al producto, por lo que en números absolutos se puede considerar como un costo de operación alto; sin embargo, de acuerdo con el ingreso por botella representa 44%, es decir, por cada peso que ingresa \$0.44 se dedican a la producción.
- El margen de utilidad bruta resulta no sólo atractivo sino competitivo ya que esto permite contar con un amplio margen para poder negociar en otros nichos de mercado conservando un precio justo para los productores.
- Conocer el margen de utilidad bruta permite medir el impacto que generan los beneficios de la cadena de valor al contar con una visión más amplia de las demandas del mercado.

## Conclusiones

El acompañamiento agroempresarial, al proporcionar servicios integrales permite detectar las necesidades de los productores para desarrollar las capacidades productivas, competitivas y empresariales, a través de la implantación de herramientas administrativas que permitan identificar los eslabones de la cadena de valor que permite eficientizar los sistemas productivos y ofrecer productos innovadores de acuerdo a la dinámica económica de la región que conllevan a un desarrollo rural sustentable basada en la prosperidad económica, el balance ecológico y el bien común.

## Bibliografía

- Barrera R., A. I., M. J. Baca D., H. V. Santoyo C. y J. R. Altamirano C. (2013), “Propuesta metodológica para analizar la competitividad de redes de valor agroindustriales”, *Revista Mexicana de Agronegocios*, xvii (32), pp. 231-244.
- Bautista, J. A., y A. Smit M. (2012), “Sustentabilidad y agricultura en la ‘región del mezcal’ de Oaxaca”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (5), pp. 5-20.
- Caballero G., M. A. (2013), “La innovación en modelos de negocios en empresas rurales”, primera parte, *Claridades Agropecuarias*, 239, pp. 7-20.

- Christoplos, I. (2010), "Cómo movilizar el potencial de la extensión agraria y rural", Instituto Danés de Estudios Internacionales, FAO, Roma, Italia, 38 pp.
- Fernández, S. E., L. Avella C., M. Fernández B. (2006), "Estrategia de producción", 2ª edición, McGraw-Hill, España, 327 pp.
- Marcuse, R. (2012), "Economía para todos: cómo hacer fácil lo difícil", Granica, Buenos Aires, Argentina, 35 pp.
- Méndez, S. M. J. (2006), "Los retos de la extensión ante una nueva y cambiante noción de lo rural", *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 59 (2), pp. 3407-3423.
- Procisur (2014), "Rol de la extensión rural en la gestión de innovaciones", Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur, *Revista Claridades Agropecuarias*, 245, pp. 14-24.
- Ramírez, P. D. N. (2007), "Contabilidad administrativa", 7ª ed., McGraw-Hill Interamericana, México, 122-126 pp.
- Relaser (2013), "Extensión rural con enfoque para la inclusión y el desarrollo rural", Red Latinoamericana para Servicios de Extensión Rural, *Revista Claridades Agropecuarias*, 243, pp. 42-48.
- Roldán, S. E., B. Hernández H., R. Rendón M. y P. Cadena Í. (2015), "Los procesos de extensión rural en México", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, pp. 151-161.
- Velázquez Á., L.V., J. G. Vargas H. (2012), "La sustentabilidad como modelo de desarrollo responsable y competitivo", *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, enero-diciembre, pp. 97-107.



## Sustentabilidad sociocultural de la cestería en Tenancingo, Estado de México, 2005 y 2015

PEDRO SALDÍVAR IGLESIAS,<sup>1</sup>  
GRACIELA NOEMÍ GRENÓN CASCALES,<sup>1\*</sup>  
ANACLETO GONZÁLEZ CASTELLANOS,<sup>1</sup>  
FRANCISCO GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ<sup>1</sup>  
ANTONIO DÍAZ VÍQUEZ<sup>1</sup>

### Resumen

La técnica de elaborar cestería con tallos u otros materiales es común en muchas comunidades de México. El objetivo de esta investigación fue documentar la elaboración de cestería de manera sustentable, tanto social como culturalmente, en tres localidades de Tenancingo, Estado de México, durante los años 2005 y 2015. En el primer año se determinaron las especies vegetales y se aplicó una encuesta a 38 artesanos; para 2015 sólo a 26. Los datos se reportan en forma descriptiva con ANOVA y correlaciones. Durante los periodos de estudio se documentó que los entrevistados recolectan y usan tallos de 10 especies de plantas para cestería; lo hacen de manera sustentable ya que no impacta en el deterioro de las especies colectadas; el número de especies distribuye la presión de recolecta y evita que se centre en una o dos, ya que los artesanos sólo aprovechan los tallos y no provocan la pérdida de las especies colectadas. Por otra parte, son depositarios de conocimientos tradicionales de la técnica. Los materiales están disponibles durante 10 meses, pero pocos jóvenes se interesan en la actividad y ha disminuido el número de artesanos; en las mujeres recae la elaboración, comercialización, enseñanza y participación en concursos. Hay pérdida de identidad gremial, pero la actividad es importante social y culturalmente, ya que en las comunidades estudiadas los artesanos gozan de prestigio como depositarios de conocimientos y experiencia en la elaboración de cestería.

*Palabras clave:* sustentabilidad sociocultural, artesanos, cestería, conocimiento tradicional.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C. P. 50200. Tel./Fax (722) 296-5518.

\* Autor para correspondencia: grace\_grenon@hotmail.com.

## Introducción

El uso de fibras y productos vegetales para elaborar cestería está muy extendido en México y puede considerarse, junto con la cerámica, dentro de las artesanías más antiguas (Espejel, 1972; Ugent, 2000). Entre estos productos, los que tienen el uso más común y más diversas formas son las canastas. Cada región tiene sus propios tipos de cestos especialmente adaptados a las necesidades o preferencias locales. En el centro de México los estados de Puebla, México, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Querétaro son importantes productores de canastas elaboradas con mimbre y bambú (Murillo, 1982). Además de su uso práctico, las cestas se pueden usar como objetos de intercambio social; por ejemplo, envases para regalos tradicionales, en caso de piezas excepcionales; pueden convertirse en regalo para una persona estimada, como un cumplido, para una boda, como objetos ceremoniales, sobre todo para llevar ofrendas a los templos (Medina y Quezada, 1975).

Se pueden distinguir dos tipos de cestería: la rústica, elaborada para actividades agrícolas o para transportar mercancías, y la fina, que comprende gran variedad de objetos de tamaño reducido y con un acabado cuidadoso, y son de uso común en las poblaciones rurales y en las ciudades pequeñas de México, siendo su elaboración de manera sustentable (Gámez, 1999). La comercialización de cestería sigue diferentes caminos: 1) el propio artesano lleva su producción y la ofrece en el mercado local; 2) el artesano vende en los mercados regionales y compra o toma de otros artesanos algo de producto para transportar un mayor volumen; 3) algunos artesanos ofrecen sus productos a intermediarios establecidos en la misma ciudad o pueblo, y 4) algunos artesanos entregan su producción en puestos de mercados o en tiendas de artesanía de diferentes ciudades (Novelo, 1993; Mastache y Morett, 1997; Gámez, 1999).

El Estado de México tiene uno de los catálogos de artesanías más extendidos en México; éste fue uno de los aspectos fuertes de las culturas prehispánicas, porque además de la satisfacción de las necesidades sociales y religiosas de las grandes ciudades, los productos fueron utilizados para el intercambio de bienes en toda Mesoamérica. Este patrimonio técnico y cultural pasó a los descendientes de la etnia náhuatl, mazahua y otomí que aún viven en el estado (Tommasi y Tarazona, 1987).

Todas las artesanías son producidas en talleres familiares ubicados en pequeñas ciudades y pueblos, utilizando técnicas tradicionales, en algunos casos con más de 400 años de antigüedad (UAEM, 1962). Las canastas se pueden fabricar en cualquier lugar y en cualquier momento; cuando la lluvia arrecia o el clima es frío, los campesinos, hombres, mujeres y niños tienen la oportunidad de elaborar cestería. En el México precolombino, la cestería fue muy apreciada debido a que gran variedad de productos fueron elaborados con fibras blandas y duras,

ya sea para vestido o para el almacenamiento y transporte de mercancías (GEM, 2006). Ugent (2000) indica que desde tiempos prehispánicos, en la región de Toluca se han utilizado diversas fibras de plantas acuáticas (principalmente de los géneros *Cyperus*, *Scirpus* y *Juncus*) para elaborar cestas, sombreros y otros productos de cestería.

Desde el siglo XVII se elaboran artesanías en Tenancingo; hoy en día, la cestería es reflejo de conocimientos transmitidos de padres a hijos; los artesanos han desarrollado una actividad donde se involucran habilidad, destreza, simbolismo y expresiones artísticas (IICA, 2013). En esta región, la cestería se caracteriza por el uso de tallos de especies vegetales que crecen en el bosque y la vegetación circundante; en esta actividad se utilizan de una manera sustentable los recursos forestales no maderables renovables ya que las especies son parte de la vegetación natural propia de la zona; se autorreproducen y no son desbastados durante su recolecta. Los artesanos producen cestas, sombreros y paneras, especialmente en las comunidades de Chalchihuapan, San Martín Coapaxtongo, Santa Ana Ixtlahuatzingo, barrio El Carrizal y La Mesita (López, 2001).

La línea de producción funciona de la siguiente manera: adquisición de materias primas, producción, comercialización y consumo. En cada etapa son diferentes los actores que intervienen: los proveedores de materia prima, los artesanos y los consumidores. Los artesanos adquieren la materia prima de diferentes maneras: la cultivan, la recolectan del bosque cerca de sus comunidades, la compran a las personas dedicadas a la recolección o combinan las compras con la recolección (IICA, 2013).

El objetivo de esta investigación fue documentar y analizar la sustentabilidad social y cultural de la cestería elaborada con tallos duros en tres localidades de Tenancingo, Estado de México.

## Localización geográfica del área de estudio

### *El municipio de Tenancingo*

Se localiza en la porción sureste del Estado de México, en el centro sur de la República Mexicana, entre los 18°57'05" y 19°02'25" de latitud norte y 98°35'45" y 99°38'37" de longitud oeste; tiene una extensión de 160.2 km<sup>2</sup>. Su capital es la ciudad de Tenancingo de Degollado. La altitud varía desde 2060 a 2490 msnm (SNIM, 2010).

En la zona prevalece el clima templado subhúmedo con lluvias en verano la temperatura anual es de 17.3° C y la precipitación de 1 262.6 mm (García, 1988; INEGI, 2010). La vegetación natural se compone de bosques de pino en las partes más altas y de bosques de pino-encino en las inferiores. Los bosques de pino

están representados por especies que van de 15 a 30 metros de alto, siendo las más comunes *Pinus leiophylla* Schltdl. & Cham., *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus montezumae* Lamb. f., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus rudis* Endl., *Pinus michoacana* Martínez, *Pinus teocote* Schltdl. & Cham., *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., *Pinus ayacahuite* Eren. ex Schltdl. y *Pinus pringlei* Shaw ex Sarg. Los bosques de robles están dominados por especies con alturas de cuatro a 30 metros, y en su mayoría constituidos por *Quercus magnoliifolia* Née, *Quercus laurina* Humb. & Bonpl., *Quercus candicans* Née, *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl., *Quercus rugosa* Née, *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl., *Quercus urbanii* Trel., *Quercus microphylla* Née, *Quercus castanea* Née, *Quercus mexicana* Bonpl. y *Quercus laeta* Liebm. El bosque mixto, además de las especies anteriores, incluyen *Pinus douglasiana* Martínez, *Clethra mexicana* A. DC., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Arbutus xalapensis* Kunth., *Juniperus* sp., *Leucaena* sp., *Ternstroemia pringlei* Rose, *Cupressus* sp. y *Alnus firmifolia* Fern. (Rzedowski, 1994; INEGI, 2001).

Bonilla-Barbosa (2004) menciona que las especies vegetales del bosque de galería o perennifolio ripario de esta comunidad se encuentran a lo largo de los lechos de ríos, cañadas y arroyos temporales o permanentes y están representadas principalmente por *Taxodium mucronatum* (ahuehuete o sabino), *Salix bonplandiana* (sauce) y *S. humboldtiana* (sauce). Al sur de la zona de estudio y en los afluentes del río San Jerónimo o río Tenancingo se presenta el bosque de galería, frecuente en climas cálidos de menores altitudes (1 600 msnm), donde se aprecian árboles del bosque tropical con abundancia de *Sideroxylon capiri*, *Bursera grandifolia*, *Ficus maxima* y *Amphiterygium adstringens* (López Patiño *et al.*, 2012).

## Población

La población reportada en 2005 fue de 80 183 habitantes con una densidad de 557 personas por kilómetro cuadrado y de acuerdo con el PNUD (2014) presentó un nivel medio de desarrollo humano. Sedesol-Coneval (2010) mencionan que el municipio está clasificado como de mediana marginalización, aunque existen zonas de alta y muy alta marginación. El Censo General de Población y Vivienda 2010 reportó 90 946 habitantes, población asentada en 60 centros; esta cantidad sólo representa 0.6% de la población del Estado de México (GEM, 1996; López, 2001; SNIM, 2010; Unidad de Microrregiones, 2015).

## Sitios de estudio

El Carrizal es un barrio de la ciudad de Tenancingo, Estado de México, con una población de 14 174 habitantes, 6 779 hombres y 7 395 mujeres; el nivel de po-

breza es baja. La comunidad de Chalchihuapán se localiza en el noreste de la zona urbana de Tenancingo; tiene una población de 1 479 habitantes, 772 hombres y 707 mujeres, con grado de marginación medio. La comunidad de La Mesita está situada al norte de Tenancingo, con 588 habitantes, 284 hombres y 304 mujeres; esta comunidad tiene un alto grado de marginación (Unidad de Microrregiones, 2015). Para los propósitos de este estudio, los sitios mencionados son considerados urbanos, suburbanos y rurales, respectivamente.

## Material y métodos

Durante el año 2005 y para lograr el objetivo se consiguió información mensual a través de trabajo de campo, observación y documentación de los hechos, entrevistas informales y la aplicación de una encuesta a 38 artesanos asentados en el barrio El Carrizal, en Chalchihuapán y en La Mesita. La encuesta incluía preguntas como edad y sexo del entrevistado; escolaridad y tamaño de familia; experiencia, organización laboral, participación en concursos, extensión y enseñanza de la técnica de tejido; recolecta y acondicionamiento de las plantas utilizadas en cestería. Para el año 2015 la encuesta sólo se aplicó a 26 artesanos todavía en activo de los participantes originales en las comunidades estudiadas. Los datos derivados de la primera y segunda encuestas se reportan en forma numérica o porcentual, y cuando la naturaleza de los datos lo permitió se realizó un análisis de varianza, una prueba de separación (diferencia mínima significativa) y un análisis de correlación.

## Resultados y discusión

### *Especies vegetales, periodo, acondicionamiento y regulación de la recolecta*

Entre las especies que proveen tallos para la cestería (anexo 1) están como las más importantes: “romerillo” (*Dalea lutea* [Cav.] Willd.); “chocolatero” (*Viburnum elatum* Benth.); “sazal” (*Gymnosperma glutinosa* Less.); “tlalixtlacote” (*Cornus excelsa* Kunth); “sauce blanco” (*Salix alba* L.); “sauce llorón” (*Salix babilónica* L.); “sauce rojo” (*Salix bonplandiana* Kunth); “escobilla” (*Baccharis ramulosa* [D. C.] A. Gray); “clamate” (*Sida rhombifolia* L.) y las raíces del “sabino” (*Taxodium mucronatum* Ten.) (López *et al.*, 2008). Los ejemplares colectados fueron depositados en el Herbario Eizi Matuda (CODAGEM) de la Universidad Autónoma del Estado de México (Saldívar *et al.*, 2006).

Como se muestra en el cuadro 1, el periodo de recolecta de tallos se inicia en

CUADRO 1. *Periodo de colecta de tallos usados en cestería.  
Tenancingo, México, 2012*

Especie	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Gymnosperma glutinosa</i>					-	-	-	-				
<i>Baccharis ramulosa</i>			-	-	-	-						
<i>Sida rhombifolia</i>						-	-	-	-			
<i>Viburnum elatum</i>						-	-	-	-	-		
<i>Dalea lutea</i>							-	-	-	-		
<i>Cornus excelsa</i>			-	-	-							
<i>Salix alba</i>				-	-	-						
<i>Salix babilonica</i>				-	-	-						
<i>Salix bonplandiana</i>				-	-	-						
<i>Taxodium mucronatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

la primavera, durante el mes de marzo, cuando los brotes de *B. ramulosa* y *C. excelsa* alcanzan la longitud y flexibilidad para ser utilizados en cestería; están listos y el periodo se extiende hasta el mes de octubre cuando se presenta la floración de *D. lutea*. La estación de lluvias determina el punto máximo de colecta. Los hombres colectan los tallos en los bosques cercanos a sus comunidades y raras veces se acompañan de mujeres y niños; la técnica es simple: consiste en separar el tallo de la planta con un corte de navaja y cargar los tallos para transportarlos (figuras 2a y 2b).

Para la recolección en campo se requiere poca herramienta; basta solamente una navaja o un cuchillo para separar los tallos de la planta (figuras 1a y 1b). Posterior a la recolecta se usan dos métodos para remover la corteza: 1) a los tallos gruesos y largos (*V. elatum*; *C. excelsa* y *Salix* spp.) los recolectores les raspan la corteza con un cuchillo; 2) para los tallos delgados y cortos (*D. lutea*, *S. rhombifolia* y *B. ramulosa*) usan un descortezador rústico inventado en la zona (figura 1c). Después de descortezados, los tallos son expuestos al sol para su secado y blanqueo (figura 1d); una vez preparados, se utilizan inmediatamente o son almacenados para ser usados durante la estación de secas. Para obtener las raíces de *T. mucronatum*, los artesanos escarban y cortan las raíces superficiales, las secan y cortan en tiras cuadrangulares de aproximadamente dos milímetros por lado.

Los artesanos combinan la flexibilidad y resistencia de los diferentes tallos

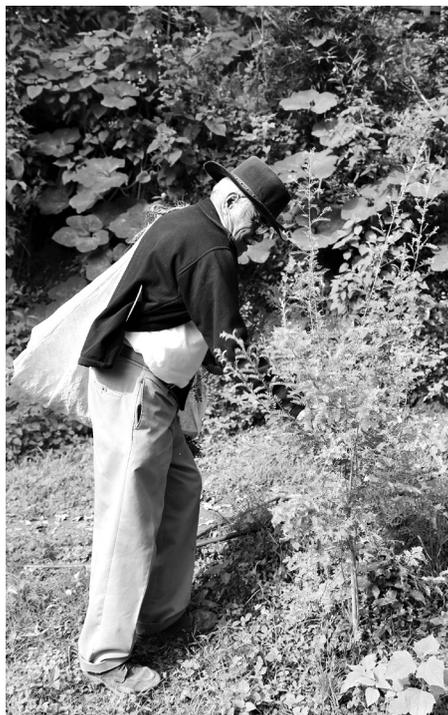
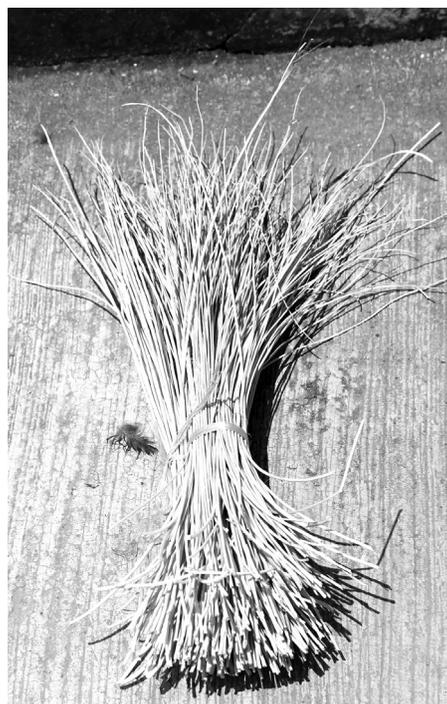
FIGURA 1a. Colecta de tallos de *D. lutea*.

FIGURA 1b. Corte con navaja.

para elaborar la cestería; a simple vista parece que la pieza fue elaborada con los tallos de una sola especie, pero es posible distinguir por color, grosor y longitud los tallos de *D. lutea*, *G. glutinosa*, *V. elatum*, *Salix* spp. y las raíces de *T. mucronatum*. Especies como *B. ramulosa* y *S. rhombifolia* son poco usadas, excepto cuando la disponibilidad de otras especies disminuye. La especie más escasa y vulnerable es *Taxodium*, porque sus raíces son usadas para elaborar el fondo de las cestas.

Los recolectores han desarrollado una serie de tradiciones para el aprovechamiento de los tallos; éstos pueden ser colectados en bosques cercanos, parcelas agrícolas, jardines públicos, orillas de ríos o cuerpos de agua, huertas o terrenos abandonados. De otra manera, también pueden cultivar o proteger las especies en sus propios terrenos. Los recolectores de comunidades ajenas requieren permiso de las autoridades locales, lo cual incluye un costo monetario. Los ancianos colectan en áreas cercanas a sus viviendas. Los recolectores de las tres comunidades estudiadas poseen permiso que los autoriza para colectar tallos.

La riqueza natural de la zona ha permitido a esta y anteriores generaciones la observación y uso de diferentes especies aptas para la cestería y no dependen de una o dos especies, como lo artesanos de los estados de Querétaro, Hidalgo, Oa-

FIGURA 1c. *Descortezador rústico.*FIGURA 1d. *Secado y blanqueado de tallos.*

xaca, Sonora y Yucatán (Cohen *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2013), los cuales usan carrizo, sauce y palmas; la diversidad de especies utilizadas en la zona denota un amplio conocimiento tradicional del medio ambiente regional. Los artesanos conocen las especies útiles, el lugar donde crecen y la época del año cuando pueden ser aprovechadas, así como las técnicas de cosecha, transporte, descortezado y almacenamiento de tallos. En lo social, se han generado acuerdos ente los artesanos y los propietarios de los recursos vegetales para estandarizar la colecta de tallos, minimizar los conflictos con y entre comunidades.

#### *Aspectos técnicos de la cestería*

Para elaborar el fondo de la canasta se utilizan tallos de *C. excelsa* y *G. glutinosa*, entretejidos con tiras de *T. mucronatum*; las paredes borde y asa son terminadas con tallos de *Salix* spp., *D. lutea*, *V. elatum* y *C. excelsa*. Los artesanos de la zona desarrollaron un estilo característico, conocido como “olán”, para terminar la canasta y consiste en entretejer los tallos hacia afuera y hacia abajo de la canasta (figura 2). Una vez terminada la pieza, los artesanos la someten a vapores de

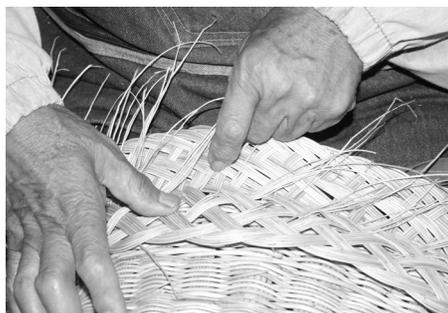


FIGURA 2. *Elaboración del borde de la canasta u “olán”.*



FIGURA 3. *Herramientas (aguja, “regla”, hueso pulido, navaja y tijeras).*

azufre con el objeto de eliminar el color verde y permitir que los tallos adquieran un color blanco aperlado. El terminado en “olán” de la canasta es un estilo particular de la región, y de acuerdo con los artesanos, el uso de los recursos vegetales y las técnicas de elaboración de cestería se iniciaron a principios del siglo xx, cuando se avicindaron familias provenientes de los estados de Puebla y Tlaxcala (comunicación personal Efraín Franco Bernal, 2015).

Las herramientas utilizadas por los artesanos son pocas y fáciles de elaborar o comprar; consisten en tijeras para podar, navajas o cuchillos, puntas de hueso o madera, destornilladores y reglas, etc. (figura 3). Con muy pocas diferencias, las herramientas son muy similares a las utilizadas por otros artesanos del ramo en diferentes partes de Mesoamérica (Manzanilla, 2006) y de acuerdo con expertos, pocas herramientas y una técnica depurada son la parte más importante del trabajo artesanal (Martínez, 1982).

Los artesanos producen piezas de alta calidad, usan herramientas simples a las que suman habilidad, conocimientos y experiencias para lograr obras artesanales. El terminado de las canastas es similar al usado en los estados de Puebla y Tlaxcala, de donde provinieron los primeros artesanos hace un siglo

## Aspectos socioculturales de la cestería

### *Género y actividad artesanal*

La característica distintiva de la cestería como actividad artesanal es la de incluir la participación de mujeres y hombres. La dinámica por género se muestra en el cuadro 2; para el año 2005 participaron 38 artesanos dedicados a la cestería, 14 mujeres y 24 hombres (37 y 63%, respectivamente); la localidad que reportó el mayor porcentaje de artesanas fue La Mesita con 10, mientras que en Chalchi-

CUADRO 2. *Participación por género en la actividad artesanal. Periodo 2005-2015. Tenancingo, Estado de México, México*

<i>Sitio de estudio</i>	<i>Año 2005</i>		<i>Año 2015</i>	
	<i>Mujer</i>	<i>Hombre</i>	<i>Mujer</i>	<i>Hombre</i>
El Carrizal	0	5	0	4
Chalchihuapán	4	16	1	10
La Mesita	10	3	6	5
Total	14	24	7	19

huapán sólo cuatro mujeres se dedicaban a la cestería; la representación femenina estuvo ausente en el barrio El Carrizal. Para el año 2015 y con una muestra de 26 entrevistados, se reportó 73% de hombres y 27% de mujeres. En ambos años se observa que en la comunidad de La Mesita la participación de mujeres en la actividad artesanal es más importante que en los otros lugares de estudio. Desde el primer año de muestreo del barrio El Carrizal no se cuenta con información de mujeres dedicadas a la cestería. El trabajo de las mujeres está generando bienestar para la familia; además de tejer la artesanía son también comerciantes; este fenómeno a menudo está presente entre los artesanos rurales.

#### *Asociación gremial*

En el año 2005, 28 (73%) de los entrevistados estuvieron afiliados a alguna de las cinco asociaciones de carácter gremial y sólo 10 (27%) de ellos se consideraron como artesanos libres; para el año 2015, de los 26 entrevistados solamente uno (4%) dijo pertenecer a alguna de las asociaciones existentes en el año 2005, el resto (96%) se autoconsideró como artesano libre. Este fenómeno se puede explicar por el cambio de políticas económicas y de apoyo a los artesanos que ofrecían las autoridades de los tres niveles de gobierno para impulsar la elaboración de artesanías en lo general y la cestería en particular; en el año 2005 fluían recursos económicos y facilidades para la comercialización fuera de la zona. Actualmente las autoridades han abandonado a los artesanos dedicados a la cestería y ya no apoyan la actividad; por su parte, los artesanos no se sienten representados por las organizaciones aún existentes (cuadro 3).

#### *Cultura de la cestería*

En el cuadro 4 se puede observar que para el año 2005 los artesanos de La Mesita (11) se consideraron como los más propositivos en la elaboración de nuevas

CUADRO 3. *Organización y pertenencia gremial. Periodo 2005-2015, Tenancingo, Estado de México, México*

<i>Sitio de estudio</i>	<i>Año 2005</i>		<i>Año 2015</i>	
	<i>Asociado</i>	<i>Libre</i>	<i>Asociado</i>	<i>Libre</i>
El Carrizal	3	2	0	4
Chalchihuapán	15	5	1	10
La Mesita	10	3	0	11
Total	28	10	1	25

CUADRO 4. *Propuesta de nuevos productos, enseñanza a no familiares y participación en concursos artesanales. Periodo 2005 y 2015, Tenancingo, Estado de México, México*

<i>Sitio de estudio</i>	<i>Año 2005</i>			<i>Año 2015</i>		
	<i>Novedad</i>	<i>Enseña</i>	<i>Concursa</i>	<i>Novedad</i>	<i>Enseña</i>	<i>Concursa</i>
El Carrizal	3	2	5	1	2	2
Chalchihuapán	0	3	18	2	1	4
La Mesita	11	4	8	8	4	9
Total	14	9	31	11	7	15

piezas o variantes de las existentes; por otro lado, las comunidades urbana y suburbana lo fueron menos; en el barrio El Carrizal sólo tres artesanos y ninguno en Chalchihuapán. En cuanto a la transmisión de conocimientos y técnicas de aprovechamiento y uso de tallos duros para elaborar cestería a personas ajenas a la familia, existe concordancia en las tres comunidades, ya que nueve de 38 entrevistados lo llevó a cabo. En cuanto a la participación en concursos de artesanos, durante ese año existió mayor interés por acudir a los concursos regionales y nacionales.

Para el año 2015 se conservaron las actividades de propuesta de nuevas piezas y la enseñanza de la actividad a personas no familiares directos, pero disminuyó el interés por acudir a los concursos de artesanos; sin embargo, las mujeres fueron más proactivas en generar cambios y nuevos productos, enseñar y transmitir sus experiencias; además, fueron las que obtuvieron los primeros lugares en concursos nacionales (Sedesol-Fonart, 2015).

## VARIABLES SOCIALES POR AÑO DE ESTUDIO

### *Edad*

El cuadro 5 muestra que durante el año 2005 el promedio de edad de los artesanos entrevistados en las tres comunidades fue de 48 años, con una desviación estándar de 15.3 años, valor que no difiere significativamente del registrado durante la segunda evaluación (año 2015), donde la media de edad y desviación estándar incrementaron a 53.2 años y 17.4%, respectivamente. Los datos reflejan un envejecimiento de la población dedicada a la cestería y lo poco atractivo de la actividad para las personas jóvenes. De acuerdo con lo anterior, en la segunda etapa algunos artesanos emigraron, otros cambiaron a actividades más lucrativas o fallecieron.

### *Escolaridad*

El valor conocido para el año 2005 fue de 4.1 esta variable se incrementó a 5.6 años de escolaridad para 2015, aun cuando entre los artesanos mayores de edad y ancianos prevalecen bajos niveles de estudio; la incorporación de artesanos jóvenes con seis y nueve años de escolaridad permitió la elevación de esta variable (cuadro 5).

### *Experiencia*

En el cuadro 5 se nota que los años dedicados a la actividad artesanal entre el primero y segundo estudio; no difirieron significativamente entre sí; durante 2005 se reportó un promedio de 30.6; aumentando a 34.9 años para 2015, con

CUADRO 5. Valores medios de edad, escolaridad, experiencia y tamaño de familia de artesanos dedicados a la cestería. Periodo 2005 y 2015, Tenancingo, Estado de México, México

Variable	Año 2005		Año 2015	
	Media	D. estándar	Media	D. estándar
Edad	48.0 a	15.3	53.2 a	17.6
Escolaridad	4.1 a	4.02	5.6 a	4.9
Experiencia	30.6 a	16.5	34.9a	19.0
Tamaño de familia	6.1 a	2.9	5.2 a	3.7

Valores medios con la misma literal en línea, no difieren entre sí, LSD  $\alpha = 0.05$ .

desviaciones estándar de 16.4 y 19.0 años respectivamente. Como la mayoría de los artesanos entrevistados se han dedicado por largos años a elaborar cestería, adquieren mayor capacidad para el desempeño de su labor. La experiencia y los conocimientos adquiridos y transmitidos por los artesanos representan una enorme riqueza cultural, representada por el conocimiento de las especies utilizadas, los métodos de preparación de los materiales y la técnica de elaboración de la cestería.

### *Tamaño de familia*

De acuerdo con la prueba de separación de medias, no hubo diferencias significativas entre los valores obtenidos para el año 2005 y el año 2015; los datos iniciales reportaron un promedio de 6.1 miembros, valor que disminuyó a 5.2 para la evaluación de 2015, por lo que se puede decir que la familia del artesano se mantiene entre cinco y seis miembros, considerándose como familias nucleares; esto es explicable por el hecho de que las familias tienden a ser más pequeñas en respuesta a programas de educación social, pero mayores a las medias reportadas para el municipio y el Estado de México de 4.4 y 4.1 miembros por familia (Sedesol-Coneval, 2010).

## VARIABLES SOCIALES POR LOCALIDAD

### *Edad*

Como se indica en el cuadro 6, la media general de edad de los artesanos fue de 50.5 años, sin que hubiera diferencias significativas entre los valores reportados por los artesanos entrevistados de la zona urbana y suburbana (63.1 y 51.5 años); pero entre el barrio El Carrizal y La Mesita (43.5 años) sí hubo diferencias significativas debido a que la segunda comunidad es considerada rural y con promedio de edad menor; lo cual se debe a que en La Mesita existen familias donde la mayoría de sus miembros se inician en la cestería desde muy jóvenes. Los artesanos de mayor edad están ubicados en las zonas urbana y suburbana, donde las condiciones de desarrollo económico son mejores, facilidades que en la zona rural no existen.

### *Escolaridad*

De acuerdo con la prueba de separación de medias no existe diferencia estadística entre los años de estudio reportados para las localidades urbana y suburbana, pero sí hay diferencia numérica, ya que en Chalchihuapán se reportan 4.3

años, mientras que en el barrio El Carrizal solamente 1.33, lo que hace una diferencia de tres años de estudio, diferencia que se reduce a dos años entre el promedio presente en La Mesita (6.41 años); el valor medio de esta última localidad y la primera tienen diferencias estadísticas significativas por cinco años de estudios; esto se debe a que en el barrio El Carrizal viven artesanos con menores niveles de instrucción o casi analfabetas. Es destacable que en la localidad de La Mesita, aun cuando en este estudio se le considero como área rural, tiene artesanos con niveles de educación media superior y universitaria, tanto por la juventud de los artesanos como por las oportunidades académicas existentes en la zona (cuadro 6).

### *Experiencia*

Para esta variable se pueden observar diferencias significativas entre la localidad urbana y la suburbana y rural. Los artesanos del barrio El Carrizal tienen un promedio de 50.5 años dedicados a la cestería, mientras que los promedios de experiencia en Chalchihuapán y La Mesita fluctuaron entre 30.38 y 28.16, respectivamente, donde la experiencia en años es menor. De acuerdo con los presentes datos, es probable que los primeros artesanos se originaron o asentaron en el área urbana y posteriormente sus sucesores se extendieron a las otras dos comunidades; esto debido a que entre los artesanos de Chalchihuapán y La Mesita existen vínculos familiares muy estrechos (cuadro 6).

### *Tamaño de la familia*

El tamaño de la familia por localidad urbana, suburbana y rural no presenta diferencias significativas entre sí; las medias son de 6.3, 5.6 y 5.0 miembros para Chalchihuapán, La Mesita y barrio El Carrizal, respectivamente; numéricamen-

CUADRO 6. *Valores medios de edad, escolaridad, experiencia y tamaño de familia de artesanos dedicados a la cestería en tres localidades de estudio en Tenancingo, Estado de México, México*

<i>Variable/Localidad</i>	<i>Barrio El Carrizal</i>	<i>Chalchihuapán</i>	<i>La Mesita</i>
Edad	63.1 <sup>a</sup>	51.5 <sup>ab</sup>	43.5 <sup>b</sup>
Escolaridad	1.33 <sup>b</sup>	4.38 <sup>ab</sup>	6.41 <sup>a</sup>
Experiencia	50.55 <sup>a</sup>	30.38 <sup>b</sup>	28.16 <sup>b</sup>
Tamaño de la familia	5.0 <sup>a</sup>	6.3 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>

Valores con la misma literal en líneas, no son significantes, LSD  $\alpha = 0.05$ .

te las familias de artesanos más numerosas se encuentran en la zona suburbana y rural (cuadro 6). El tamaño de la familia, aunque no es un factor determinante en la continuación de la tradición cesterá, representa la oportunidad de hacer extensivo el aprendizaje de la actividad.

#### *Análisis de correlación muestreo 2005*

Como se indica en el cuadro 7, el análisis de correspondiente mostró que la variable edad estuvo correlacionada de manera negativa con escolaridad ( $-0.8727$ ), pero de manera positiva con experiencia ( $0.8282$ ). Visto de manera lógica, conforme el artesano reporta mayor edad acumula mayor experiencia. La escolaridad se correlacionó negativamente con la experiencia ( $-0.7535$ ), ya que a mayor escolaridad menor experiencia. El factor sexo se correlaciona negativamente con la duración de la jornada ( $-0.8292$ ); las mujeres se dedican a la cestería de tiempo parcial, ocupando la tarde y la noche para elaborar cestería.

#### *Análisis de correlación muestreo 2015*

El análisis de correlación para este año (cuadro 8) reportó significancia positiva entre la edad contra la experiencia y el estado civil ( $0.868$  y  $0.724$ ) y negativa con base en la escolaridad ( $-0.759$ ). El estado civil se correlacionó positivamente con experiencia ( $0.595$ ) y negativamente con escolaridad ( $-0.633$ ); a mayor escolaridad menor experiencia ( $-0.700$ ). El tipo de taller tiene correlación positiva con enseñar la artesanía a personas ajenas a la familia ( $0.475$ ); esto se debe principalmente a que los espacios, patios o corredores de las casas se convierten en puntos de socialización, facilitando el intercambio de experiencias artesanales.

### Conclusiones

La cestería en el municipio de Tenancingo, Estado de México, se conserva como actividad artesanal tradicional, ya que la demanda de los diferentes estilos tiene aceptación en el mercado regional y estatal, conservando mejores condiciones que la cestería elaborada en San Juan Guelavia, Oaxaca, donde tiende a desaparecer (Cohen *et al.*, 2011).

Los artesanos, hombres y mujeres, ostentan una edad superior a 60 años, con amplia experiencia y baja instrucción escolar, pero son depositarios de la tradición cesterá que ha evolucionado y mejorado al paso de las generaciones, dándole un carácter particular a las piezas actualmente elaboradas.

La cestería de Tenancingo, Estado de México, ofrece ventajas porque su valor

CUADRO 7. *Matriz de correlación de las variables analizadas en artesanos dedicados a la cestería en Tenancingo, Estado de México, 2005*

	Estado civil	Escolaridad	Tamaño familia	Experiencia	Taller	Propone	Enseña	Concursa	Jornada	Agremiado		
Edad	1.000	-0.3375	0.5437	-0.8727	-0.0151	0.8284	-0.0130	-0.2979	0.4278	0.0061	0.3466	-0.1991
Sexo	1.0000	-0.344	0.1995	-0.1661	-0.2621	-0.2722	0.3214	-0.0848	-0.3407	-0.8292	-0.0391	-0.2799
E. civil	1.0000	-0.5228	-0.3588	0.4546	-0.0084	-0.0344	0.2799	-0.2110	0.1274	-0.2799	0.2566	0.0888
Escolaridad	1.0000	1.0000	0.0513	-0.7535	-0.0207	0.1995	-0.4220	0.1493	-0.3579	0.0900	0.0888	-0.2291
T. familia	1.0000	1.0000	1.0000	-0.1065	0.2278	-0.1098	-0.2947	0.0215	0.0900	0.2267	0.1118	0.0848
Experiencia	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-0.0919	-0.0309	0.4494	0.1193	0.2267	0.2664	0.1118	0.0848
Taller	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-0.0136	-0.1118	0.2498	0.2664	0.1790	-0.1857	0.1785
Propone	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1630	-0.2000	-0.3692	0.0848	0.1790	0.1785
Enseña	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1298	0.1790	0.1790	0.1790	0.1785
Concursa	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2297	0.1785	0.1785	0.1785
Jornada	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Agremiado	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

CUADRO 8. Matriz de correlación de las variables analizadas en artesanos dedicados a la cestería en Tenancingo, Estado de México, 2015

	Edad	Sexo	Estado civil	Escolaridad	Tamaño familia	Experiencia	Taller	Propone	Enseña	Concursa	Jornada	Agremiado
Edad	1.000	-0.0382	0.7240	-0.7591	0.3494	0.8686	-0.0622	-0.2904	0.1723	-0.2090	0.4343	-0.0720
Sexo		1.0000	0.0985	-0.1310	0.5011	-0.1323	0.1502	0.3768	0.2180	0.3443	-0.7088	-0.1214
E. civil			1.0000	-0.6334	0.4559	0.5950	-0.2576	-0.1894	-0.0844	-0.1389	0.1894	0.0324
Escolaridad				1.0000	-0.4403	-0.7007	0.2020	0.3096	-0.2924	0.0446	-0.3417	-0.1909
T. familia					1.0000	0.1154	-0.1398	0.1074	0.0977	-0.1074	-0.1713	-0.1242
Experiencia						1.0000	-0.2696	-0.1717	0.0815	-0.1204	0.4221	0.0008
Taller							1.0000	0.0449	0.4756	-0.0449	-0.0449	-0.0577
Propone								1.0000	0.1823	0.4182	-0.5273	0.2335
Enseña									1.0000	0.1688	-0.0068	-0.1214
Concursa										1.0000	-0.4182	0.1713
Jornada											1.0000	0.1713
Agremiado												1.0000

es artístico, estético y manual y permite al comprador adquirir piezas únicas, tanto por su funcionalidad como por la calidad ornamental.

Los artesanos de Tenancingo, Estado de México, conocen y usan tallos de 10 especies vegetales para elaborar cestería; lo hacen de una manera sustentable porque no deterioran el medio ambiente con la recolecta.

Las tres comunidades en estudio han desarrollado estrategias para la estandarización y niveles técnicos de aprovechamiento.

Aunque la mayor parte de la producción artesanal de la zona proviene de talleres individuales, la función del taller familiar es muy importante porque son el espacio donde se transmiten experiencias de manera directa.

Actualmente la cestería de tallos duros es característica de la zona y está “presionada” por artículos similares, industrializados, artificiales, de importación y más baratos.

## Reconocimientos

Nuestra gratitud para el doctor José Antonio López Sandoval por la identificación de las especies vegetales utilizadas en cestería.

## Bibliografía

- Cohen J., H., A. Browning y F. A. Montiel I. (2011), “La caída de una artesanía: cestería en San Juan Guelavia, Oaxaca”, *Chungara* 43 (2), pp. 257-266.
- Espejel, C. (1972), “Las artesanías tradicionales en México”, SEP/Setentas, Secretaría de Educación Pública, México, p. 158.
- Gómez M., A. P. (1999), “La cestería de carrizo en los valles centrales de Oaxaca”, en R. E. Cortes y L. C. Rodríguez (eds.) *Tejedores de la naturaleza. la cestería en cinco regiones de México*, editada por , Conaculta/INAH, México, p. 179.
- García, E. (1988), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 133.
- GEM (1996), “Información básica de población e índices de marginación por localidad”, Secretaría General de Gobierno, Estado de México, Consejo Estatal de Población, Toluca, Estado de México.
- GEM (2006), *Artesanía mexicana. La magia de nuestra gente. Fibras vegetales*, colección mayor, Laura Barrera y Alejandro Naime (eds.), Gobierno del Estado de México, Toluca, Estado de México, pp. 61-66.
- Hernández, R. L. M. J., J. López A. C., C. López B., C. Velázquez R. (2013), “La

- cestería y el aprovechamiento de las fibras naturales en Jalcomulco, Veracruz”, CONABIO, *Biodiversitas*, 109, pp. 16-26.
- IICA (2013), “Activación territorial con enfoque de sistemas agroalimentarios localizados (SIAL)”, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Tenancingo, México.
- INEGI (2001), “Síntesis de información geográfica del Estado de México”, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Aguascalientes, México, p. 139.
- INEGI (2011), Censo de Población y Vivienda 2010, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en <http://www.inegi.org.mx>. Consultado el 12 de septiembre de 2015.
- López, M. J. (2001), “Monografía municipal Tenancingo”, Gobierno del Estado de México, Toluca Estado de México, México, pp. 19-65.
- López, S., J. A., P. Saldívar I., A. Farías B., E. J. Morales R. y A. Domínguez L. (2008), “Especies vegetales utilizadas en la cestería en Tenancingo, México”, *Revista Ciencias Agrícolas Informa*, 17, pp. 18-27.
- Manzanilla, L. (2006), “La producción artesanal en Mesoamérica”, *Arqueología Mexicana*, 80, pp. 28-35.
- Martínez, P. (1982), “Arte popular de México. La creatividad artística del pueblo mexicano a través de los tiempos”, Panorama Editorial, S. A., México, pp. 152.
- Mastache F., A. G., y E. M. Morett S. (1997), *Entre dos mundos: artesanos y artesanías en Guerrero*, Col. Científica, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, p. 263.
- Medina, A., y N. Quezada (1975), *Panorama de las artesanías otomías del Valle del Mezquital*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, México, pp. 122.
- Murillo, C., G. (1982), *Las artes populares de México*, reeditado de la obra publicada en 1922, Instituto Nacional Indigenista, México, p. 448.
- Novelo, V. (1993), “Las artesanías en México”, Gobierno del Estado de Chiapas, Instituto Chiapaneco de Cultura, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, p. 85.
- PNUD (2014), “Indicadores de desarrollo humano y género en México: nueva metodología”, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México, Estado de México, pp. 108-111.
- Rzedowski, J. (1994), *Vegetación de México*, Limusa-Grupo Noriega Editores, México, p. 432.
- Saldívar, I. P., A. Laguna C., C. Esquivel A. y E. González C. (2006), “Plantas silvestres con uso artesanal en el Centro de México”, *Mesoamericana*, 10 (4), pp. 8-14.
- Sedesol-Coneval (2010), “Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago

- social, Tenancingo, México”. Disponible en [www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Informes\\_pobreza/2014/municipios/Mexico/Mexico\\_088.pdf](http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Informes_pobreza/2014/municipios/Mexico/Mexico_088.pdf). Consultado el 10 de noviembre de 2015.
- Sedesol-Fonart (2015), “Gran Premio Nacional de Arte Popular 2015, XL Edición del Concurso Nacional, catálogo de piezas ganadoras, categoría tejidos de fibras duras, México”. Disponible en [www.fonart.gob.mx/web/imagenes/pdf/catalogos\\_2015/catalogo\\_gran\\_premio\\_2015\\_01.pdf](http://www.fonart.gob.mx/web/imagenes/pdf/catalogos_2015/catalogo_gran_premio_2015_01.pdf). Consultado el 25 de mayo de 2016.
- SNIM (2010), Sistema Nacional de Información Municipal, Tenancingo, Datos generales. Disponible en <http://www.snim.rami.gob.mx/>. Consultado 18 de septiembre de 2015.
- Tommasi de M., W., y A. Tarazona Z. (1987), Atlas cultural de México: *artesanías*, Secretaría de Educación Pública/Instituto Nacional de Antropología e Historia/Grupo Editorial Planeta, México, p. 189.
- UAEM (1962), Catálogo de Artesanías del Estado de México, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.
- Ugent, D. (2000), “Special Report. The Master Basket Weavers of the Toluca Market Region (Mexico)”, *Economic Botany*, 54 (3), pp. 256-266.
- Unidad de Microrregiones (2015), Municipio Tenancingo, Clave 15088, Secretaría de Desarrollo Social, Cédulas de Información Municipal. Disponible en [www.Microrregiones.gob.mx/zap/datGenerale.aspx?entra=pdzp](http://www.Microrregiones.gob.mx/zap/datGenerale.aspx?entra=pdzp) Consultado el 22 de septiembre de 2015.

ANEXO 1. Plantas utilizadas para cestería en el municipio de Tenancingo, Estado de México, 2005

Nombre científico	Nombre del colector	Núm. de registro*	Nombre común	Localidad	Localización geográfica	Altitud (msnm)
<i>Dalea lutea</i>	Farias Bote, A.	BOTE001	romerillo	Chalchihuapán	18° 58'47"N; 99° 33'58"W	2159
<i>Viburnum elatum</i>	Farias Bote, A.	BOTE002	chocolatero	Chalchihuapán	18° 58' 50.7"N; 99° 33'52.7"W	2117
<i>Gymnospera glutinosa</i>	Farias Bote, A.	BOTE003	sazal	Chalchihuapán	18° 58'47.4"N; 99° 33'58.1"W	2155
<i>Cornus excelsa</i>	Farias Bote, A.	BOTE004	tlalixtlacote	Tepoxtepec	18° 57'44.3"N; 99° 33'46.8"W	2031
<i>Salix alba</i>	Farias Bote, A.	BOTE005	sauce blanco	Tepoxtepec	18° 57' 44.4"N; 99° 33'42.4"W	2038
<i>Salix babylonica</i>	Farias Bote, A.	BOTE006	sauce llorón	Tepoxtepec	18° 57'44.3"N; 99° 33'42.1"W	2036
<i>Salix bonplandiana</i>	Farias Bote, A.	BOTE007	sauce rojo	Tetitlan	18° 58'48"N; 99° 33'53.7"W	2130
<i>Baccharis ramulosa</i>	Farias Bote, A.	BOTE008	escobilla	Chalchihuapán	18° 58'47.3"N; 99° 33'59.1"W	2150
<i>Sida rhombifolia</i>	Farias Bote, A.	BOTE009	clamate	Chalchihuapán	18° 58'42.3"N; 99° 33'55.9"W	2132
<i>Taxodium mucronatum</i>	Farias Bote, A.	BOTE010	sabino	Zumpahuacán	18° 51'03.8"N; 99° 35'16.8"W	1670

\* Registro preliminar en el Herbario Eizi Matuda (CODAGEM) de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.



*Sustentabilidad agropecuaria*, publicado por la  
Universidad Autónoma del Estado de México y  
Colofón, se terminó de imprimir en noviembre de 2017,  
en los talleres de Eddel Graph, S. A. de C. V. El tiro consta de  
300 ejemplares impresos mediante offset en papel cultural ahusado  
de 75 gramos. El cuidado editorial estuvo a cargo del departamento de  
Colofón Ediciones Académicas, un sello de Colofón, S. A. de C. V.

